

ZONIFICACIÓN POR BALANCE HÍDRICO DEL CULTIVO DE ARROZ EN LA CUENCA DE RÍO GRANDE¹

*Ruth Del Cid Alvarado*²

RESUMEN

En el manejo de los sistemas agrícolas, el balance hídrico es una herramienta fundamental, en los procesos de toma de decisiones y la planificación de los cultivos. El estudio tuvo como objetivo la zonificación del cultivo del arroz en la cuenca de Río Grande a través de su balance hídrico. Se recopiló toda la información climatológica histórica desde 1955, de las estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la cuenca y en áreas aledañas, proporcionada por la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA). Con la información agroclimática recopilada y ajustada, se realizó el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP), brillo solar, índice de calor mensual y capacidad de campo. En el cálculo de la ETP se utilizó la ecuación de Thornthwaite. Conocidos los valores mensuales del escurrimiento superficial, mediante la aplicación de la ecuación del balance hídrico, la cuenca de Río Grande presenta una precipitación media anual de 2112,9 mm y una evapotranspiración media anual de 637,7 mm, lo que representa un déficit de 131,8 mm. De acuerdo a los resultados, los meses en déficit están entre diciembre y abril; los excedentes y almacenamientos se encuentran de mediados de mayo a diciembre y el uso de la reserva de enero a marzo. La zonificación final se efectuó teniendo en cuenta los excesos que se obtienen del balance hídrico, mapas de fertilidad de suelo, CARTAP y requerimientos del cultivo.

PALABRAS CLAVES: Sistema agrícola, data climatológica histórica, evapotranspiración potencial, déficit, excedentes.

¹Recepción: 26 de noviembre de 2014. Aceptación: 10 de septiembre de 2015. Actividad de investigación del proyecto Investigación e Innovación para el Desarrollo de Germoplasma Mejorado de Arroz para los Sistemas Comercial y a Chuzo.
²M.Sc. en Ciencias Ambientales. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Recursos Genéticos (CIARG).
e-mail: rutis07@yahoo.es

ZONING BY WATER BALANCE OF RICE CROP IN RÍO GRANDE BASIN

ABSTRACT

In the management of agricultural systems, hydric balance is an essential tool, as it helps us in the decision-making process and crops planning. The objective of this study was zoning by water balance of rice cultivation in Rio Grande basin. It was compiled all the climatological historic data since 1955, from weather stations located within and in bordering areas of Rio Grande basin, using information provided for Electric Transmission Company, S.A. (ETESA). With the compiled and adjusted agro climatic information, there were calculated the potential evapotranspiration (ETP), solar brightness, index of monthly heat and field capacity. Thornthwaite's equation was utilized in the ETP calculation. Knowing the monthly values of surface runoff by applying the water balance equation, the Rio Grande Basin has an annual rainfall average of 2112,9 mm and an mean evapotranspiration of 637,7 mm, which means a shortage of 131,8 mm. According to these results, the Rio Grande basin has deficit from December to April, the surplus and storage from mid May to mid-December and reserve from January to March. The final zoning was build up considering the excesses that were obtained from the water balance, soil fertility maps, CARTAP and crop requirements.

KEY WORDS: Agricultural systems, climatological historic data, potential evapotranpiration, deficit, surplus.

INTRODUCCIÓN

El ordenamiento y planificación para el uso del suelo, la zonificación de unidades homogéneas de suelo, la determinación del uso adecuado del suelo, la planificación y manejo de cultivos y forestales, la identificación de áreas con riesgo de degradación, y diseño de sistemas de riego, son estudios que obligatoriamente se deben realizar para proponer los usos recomendables y adecuados para una cuenca hidrográfica.

El balance hídrico es una herramienta fundamental para determinar la aptitud agrícola de una región (Abril y González 2006). Conociendo la precipitación media mensual y la evapotranspiración mensual estimada, podemos estudiar el balance del agua en el suelo a lo largo del año. El conocimiento del balance de humedad (balance hídrico) es necesario para definir la falta y excesos de agua y se aplica para la clasificación climática, definir la hidrología de una zona

y para la planificación hidráulica (Almorox 2003). Estas características son de gran utilidad en la planificación y ordenamiento de una región determinada.

El conocimiento previo del almacenamiento del agua en cada tipo de suelo y de explotación agrícola, en función de la variación temporal de la lluvia, temperatura y evapotranspiración, y de otros atributos del clima, es posible determinar para cada época del año la demanda por mano de obra, tractores e implementos agrícolas, definir épocas de preparación del suelo, siembra, aplicación de agroquímicos, verificar la posibilidad de la utilización de técnicas de riego y estimar el rendimiento agrícola (Arévalo *et al.* 2007).

El cálculo del balance hídrico es una serie de procesos, los cuales provocan cambios a partir de la precipitación, la infiltración y drenajes. Para una región se calcula para un período determinado, por comparación entre los aportes y pérdidas de agua del área (Durand Dastes 2010).

En el crecimiento y producción de rubros agropecuarios, es de vital importancia considerar la disponibilidad hídrica donde se desarrollan los cultivos. Según Thornthwaite y Matter (1957), el balance hídrico climático y el seriado dan una aproximación de la disponibilidad de

agua de una región determinada, es de suma importancia en varios campos de la investigación, como lo es el conocimiento del déficit de humedad que es primordial para determinar la factibilidad del riego y el volumen de agua necesario para cada época del año. La información sobre los excedentes de agua y la capacidad de campo, es fundamental en todo estudio hidrológico, debido a que permite realizar una adecuada planificación de los recursos hídricos de una forma racional y armónica de los recursos naturales.

Por las razones antes expuestas, el estudio tuvo como objetivo la zonificación del cultivo de arroz por balance hídrico de la cuenca hidrográfica de Río Grande, en la provincia de Coclé, utilizando como herramienta el Sistema de Información Geográficas (SIG).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó utilizando la base de datos históricos climáticos de la cuenca hidrográfica de Río Grande, provincia de Coclé, ubicada entre las coordenadas UTM 518662,39 – 595105,99 E y 914414,34 – 962065,48 N.

La cuenca hidrográfica comprende un área de 221 795,45 ha, que abarcan los distritos de La Pintada, Olá, Natá, Penonomé y Antón (Figura 1) y pertenece a las zonas de vida de Bosque Muy

Húmedo Premontano (bmh-P), Bosque Húmedo Premontano (bh-P), Bosque Húmedo Tropical (bh-T), Bosque Muy Húmedo Tropical (bmh-T), Bosque Pluvial Montano Bajo (bp-Mb), Bosque

Pluvial Premontano (bp-P), Bosque Seco Premontano (bs-P), Bosque Seco Tropical (bs-T), según la clasificación de Holdrige en 1947 (Figura 2).



Figura 1. Ubicación de la cuenca de Río Grande.

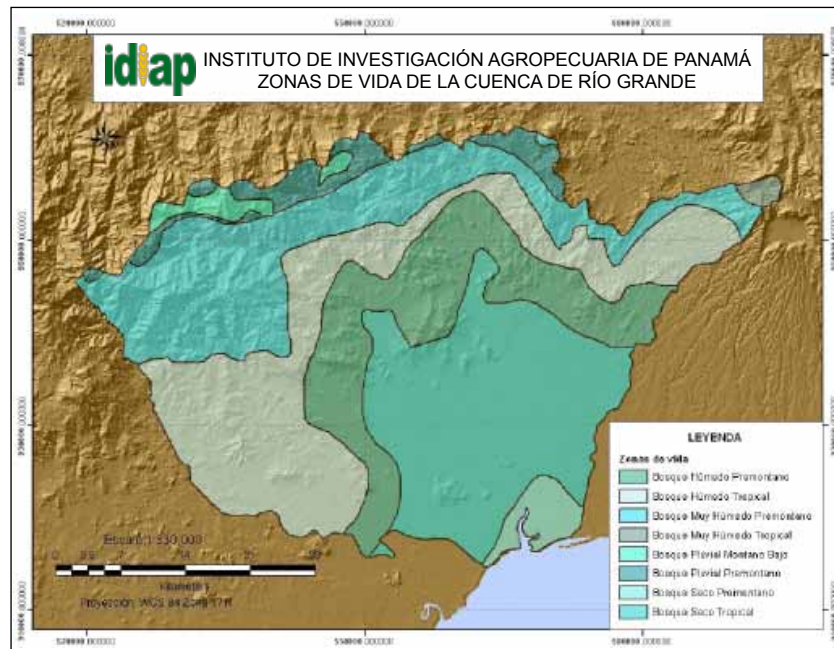


Figura 2. Zonas de vida de la cuenca de Río Grande.

La altitud varía entre 0 y 1400 msnm, con una precipitación anual media anual de 1800 mm y una temperatura media anual de 26° C. El 95% de los suelo de la zona pertenecen a las categorías III,

VII y VIII y el 5% restante pertenecen a suelos tipo II, IV, V y VI (Figura 3), según el sistema de clasificación agrológica del Departamento de Agricultura de los EEUU (USDA 1961).



Figura 3. Tipo de suelo de la cuenca de Río Grande.

Para obtener el balance hídrico de la cuenca de Río Grande, se utilizó

el software InnerSoft – Balance Hídrico ISBH v0.1 Beta, de la Universidad de Chile (Figura 4).

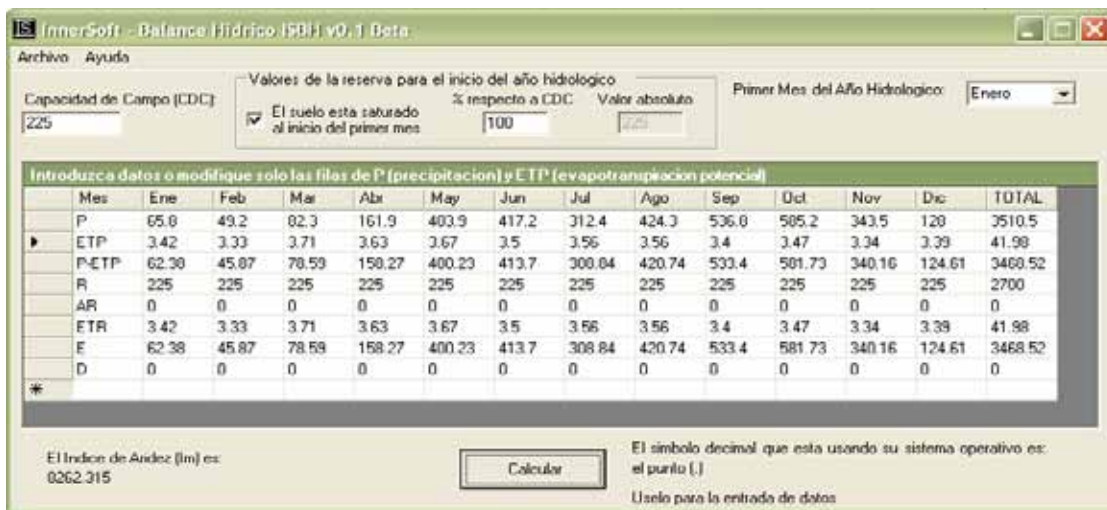


Figura 4. InnerSoft ISBH v0.1 Beta.

Para el análisis del modelo, fue necesario contar con la siguiente información:

1. Precipitación mensual: Los datos fueron proporcionados por la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA) de las estaciones meteorológicas que se encuentran dentro y fuera de la cuenca. Los datos de precipitación fueron de 53 años, lo que hace muy confiable la información.
2. Evapotranspiración potencial (ETP) por mes: Para obtener estos datos, se utilizó la ecuación de Thornthwaite en 1948:

$$ETP = 1.6 \left(\frac{L_1}{12} \right) \left(\frac{N}{30} \right) \left(\frac{10T_a}{I} \right)^{a_1}$$

Donde:

L1: Número de horas reales de sol al día

N: Número de días del mes

Ta: Temperatura media mensual

$$a_1 = 6.75 \times 10^{-7} T^3 - 7.71 \times 10^{-5} T^2 + 1.79 \times 10^{-2} T + 0.49$$

La información requerida por la metodología fue obtenida a partir de las estaciones meteorológicas y calculada (Figura 5). Fue necesario realizar algunos cálculos para poder obtener los datos con las unidades requeridas por la ecuación.

3. Temperatura mensual: Se utilizaron registros de 43 años obtenidos de las

estaciones meteorológicas dentro y fuera de la cuenca en estudio. Esto permitió una alta confiabilidad en los modelos.

4. Brillo solar mensual: Los registros mensuales se transformaron por día proporcionados por las estaciones meteorológicas Enrique Enseñat y Santa Rosa. Para la confiabilidad de los registros se realizó una interpolación utilizando ArcGis 9.3, la herramienta Spatial Analyst Tools – IDW.
5. Capacidad de campo (CDC): Se obtuvo a partir de la textura del suelo, y la información fue proporcionada por el Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA 1968) del mapa y los datos de CARTAP. La cuenca de Río Grande presenta cinco tipos de textura que se pueden observar en el Cuadro 1.

Donde:

Nº: Números de suelos encontrados en la cuenca de Río Grande,

Código: Es el código que se registra en CARTAP de las texturas encontradas en la cuenca de Río Grande,

Descripción: Es el tipo de textura en función a los códigos que se encuentran en CARTAP,

CDC: Capacidad de campo.

CUADRO 1. CAPACIDAD DE CAMPO (CDC) DE LOS SUELOS DE LA CUENCA DE RÍO GRANDE.

TEXTURA			
Nº	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CDC
1	Cf	Arcillosa fina	25
2	Lf	Francosa fina	15
3	Kc	Esqueleto arcillosa	40
4	S	Arenosa	6
5	Sf	Sedimento fino	10

Fuente: MIDA 1968.

6. Primer mes del año hidrológico: Se estableció para reflejar adecuadamente el comportamiento de las precipitaciones sobre una cuenca hidrográfica. En el caso del estudio que se realizó, el primer mes del año hidrológico es septiembre.

**Figura 5. Ubicación de las estaciones meteorológicas en la cuenca de Río Grande.****VARIABLES ESTIMADAS:**

Reserva (R), evapotranspiración real (ETR), variación de la reserva (AR), excedente o escorrentía (E), déficit hídrico

anual (D), el volumen de agua disponible (P-ETP) y el índice de aridez, llamado también índice de humedad o índice hídrico (Im).

Con los resultados obtenidos, se elaboró una base de datos en Access y transformada a lenguaje Gis, para la manipulación de los mismos. Con la base de datos GIS, se elaboraron los mapas base, precipitación, temperatura, fertilidad (IDIAP 2006), suelo, zonas de vida, pendiente, pH y balance hídrico para obtener los mapas finales: zonificación por requerimientos del cultivo y zonificación

del cultivo de arroz de la cuenca de Río Grande.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la data histórica (1970 – 2011) de este estudio, se indicó que la temperatura promedio anual es 26.16°C , siendo los meses críticos de mayor temperatura, marzo, abril y mayo (Figura 6).

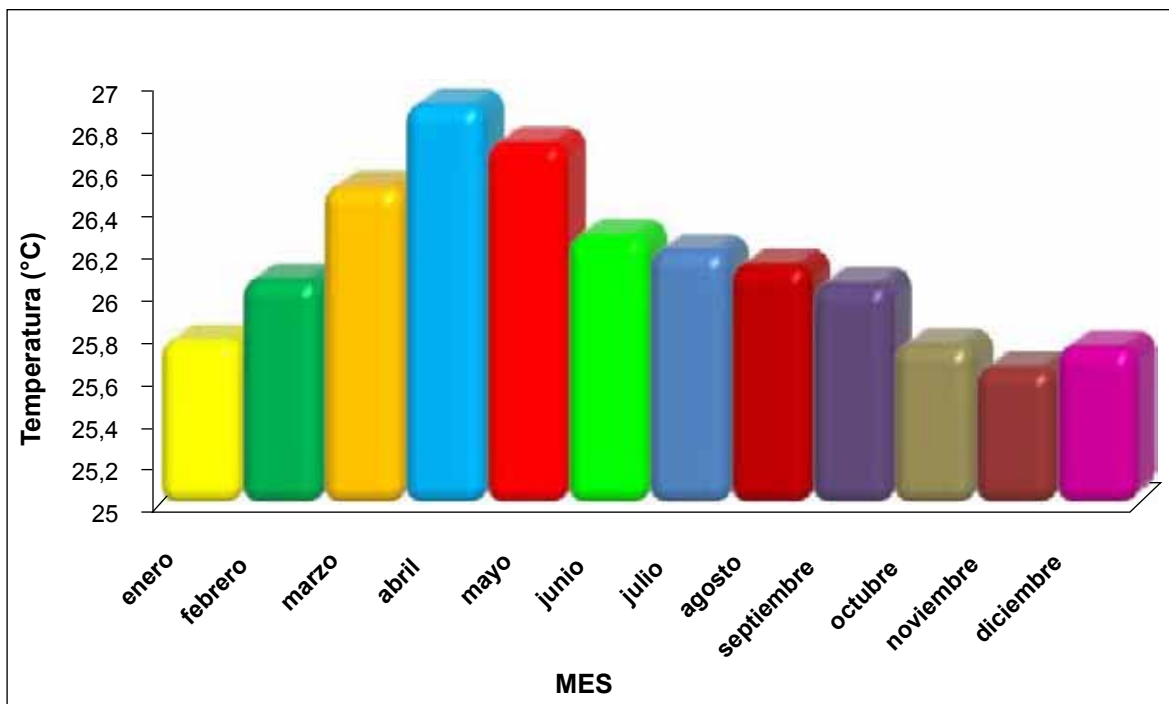


Figura 6. Temperatura media mensual en la cuenca de Río Grande.

El comportamiento de la temperatura se mantiene entre 20° y 24°C , en la mayor parte de la cuenca. Sin embargo, en algunas áreas se registraron temperaturas de 24° a 26°C (Figura 7).

De acuerdo al análisis de la data de brillo solar, resultado que enero, febrero, marzo, abril y diciembre fueron los meses con mayor cantidad de horas luz en el año (Figura 8).

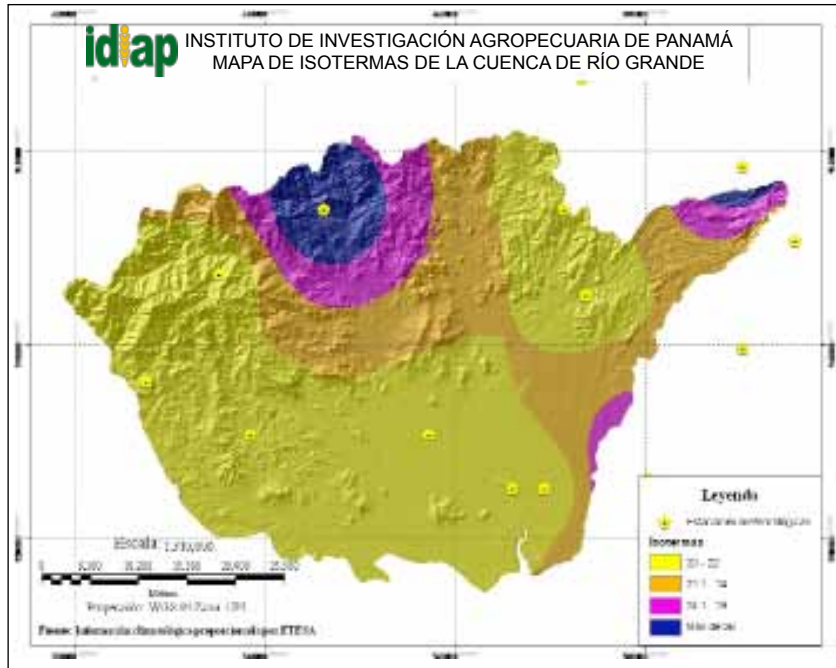


Figura 7. Isotermas de la cuenca de Río Grande.

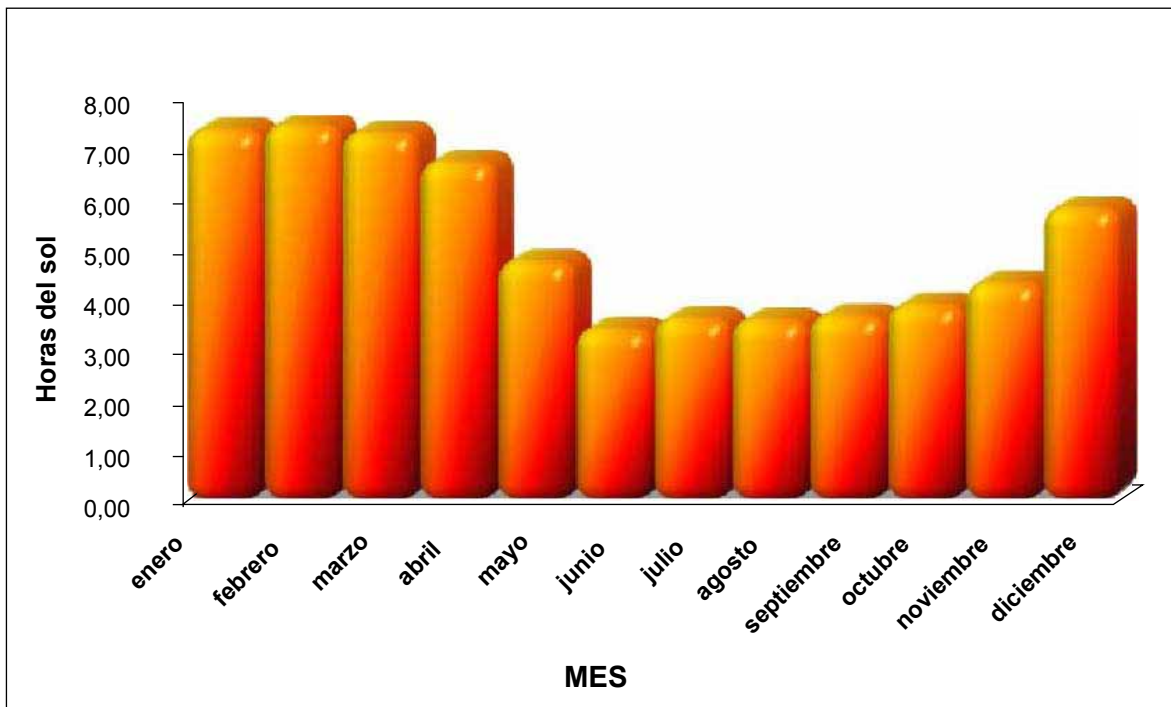


Figura 8. Horas de sol por mes de la cuenca de Río Grande.

La evapotranspiración potencial (ETP) de las plantas es la combinación del agua que se pierde por la evaporación en el suelo y la transpiración del material vegetal. Con los resultados de temperatura y brillo solar, se obtuvo la ETP de la cuenca de Río Grande, dando como resultados los meses de enero, febrero, marzo, abril y diciembre como los más altos (Figura 9).

El balance hídrico se estableció para un lugar y período determinado, por comparación entre los aportes y pérdidas de agua del sitio. Con los datos históricos climáticos se obtuvo la precipitación

promedio anual. De acuerdo a los registros, los meses de mayo a octubre se nota un incremento constante de la precipitación e inicia la disminución en el mes de noviembre (Figura 10).

La parte alta de la cuenca mantiene una precipitación que oscila entre 174 y 282 mm/mes, en la media de 147 a 160 mm/mes y en la baja de 115 a 147 mm/mes. Estos resultados indicaron que en el área de captación de la cuenca (la parte alta), la precipitación mantiene un comportamiento aceptable para la recarga de los acuíferos y afluentes (Figura 11).

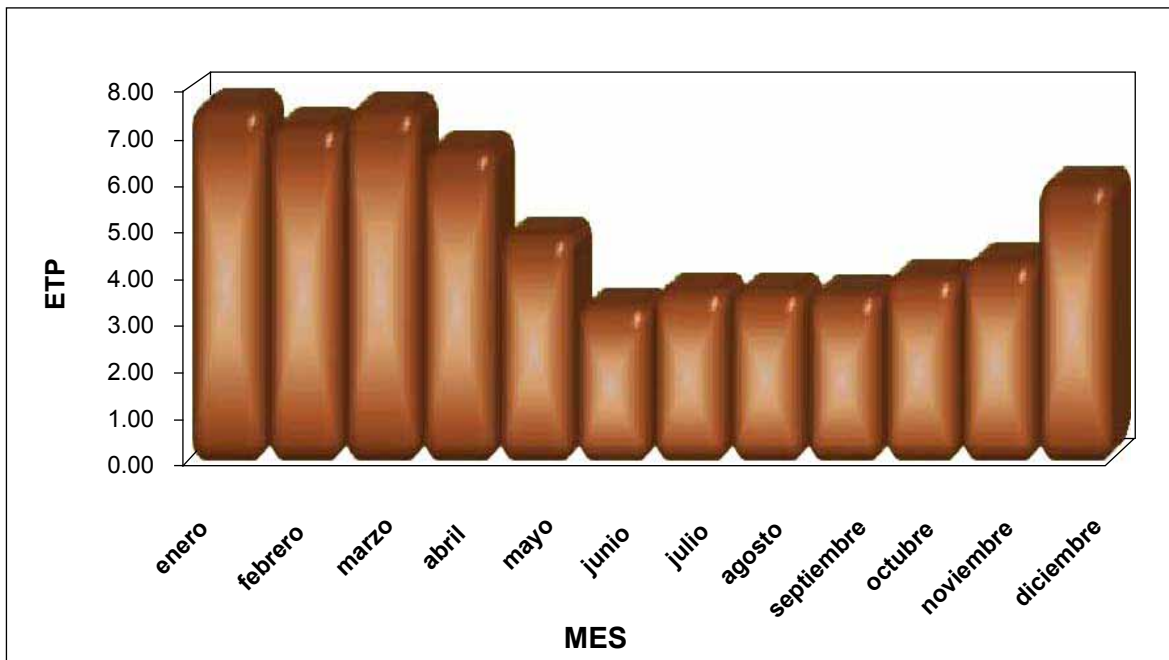


Figura 9. Comportamiento de la evapotranspiración potencial (ETP) por mes de la cuenca de Río Grande.

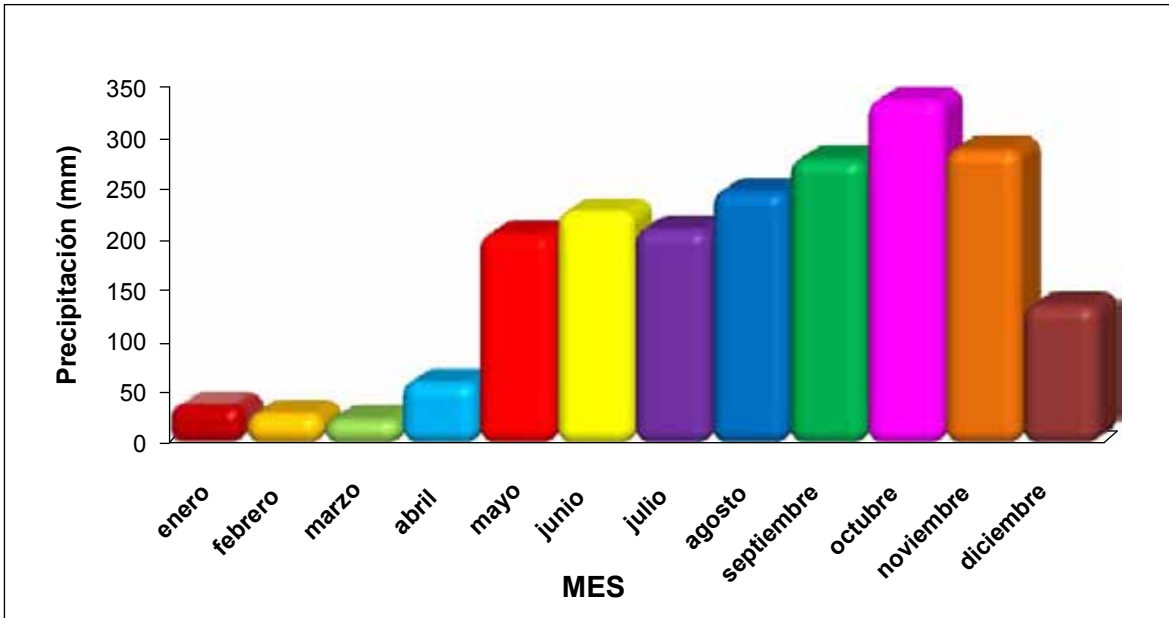


Figura 10. Precipitación media mensual de la cuenca de Río Grande.



Figura 11. Isoyetas de la cuenca de Río Grande.

En la cuenca de Río Grande se presentó una precipitación media anual de 2112,9 mm y una evapotranspiración media anual de 637,7 mm, lo que significa un déficit de 131,8 mm. De acuerdo a estos resultados, la cuenca presenta

como meses de déficit de diciembre a abril (Figura 12); los excedentes y almacenamientos se encuentran en los meses de mediados de mayo a diciembre y el uso de la reserva de enero a marzo (Figura 13).

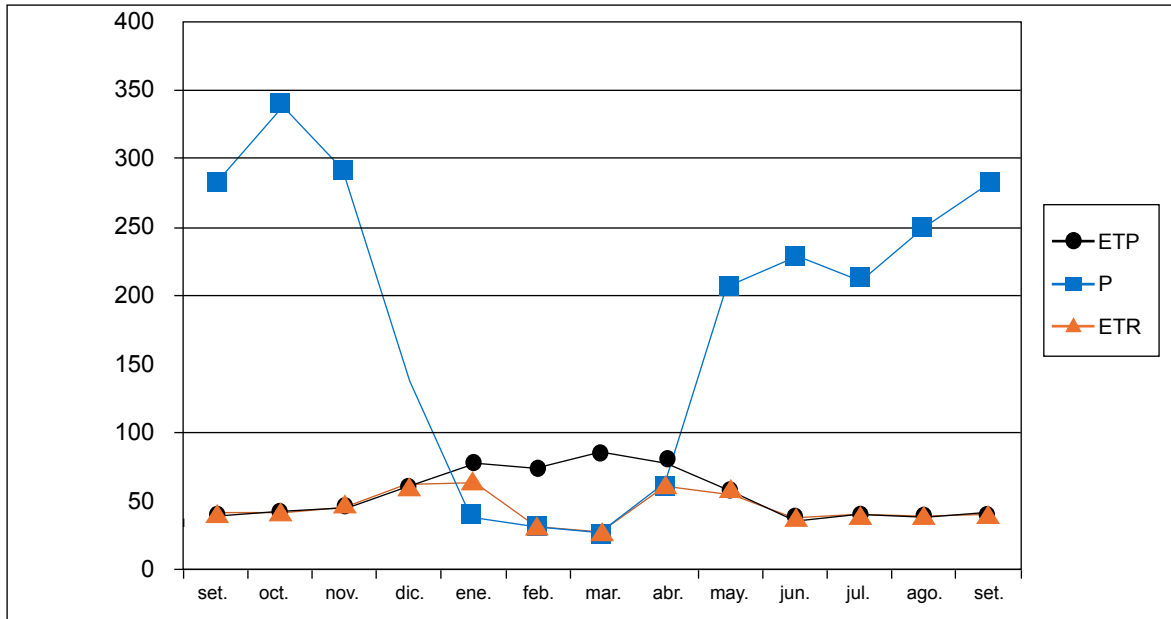


Figura 12. Comportamiento del balance hídrico de la cuenca de Río Grande.

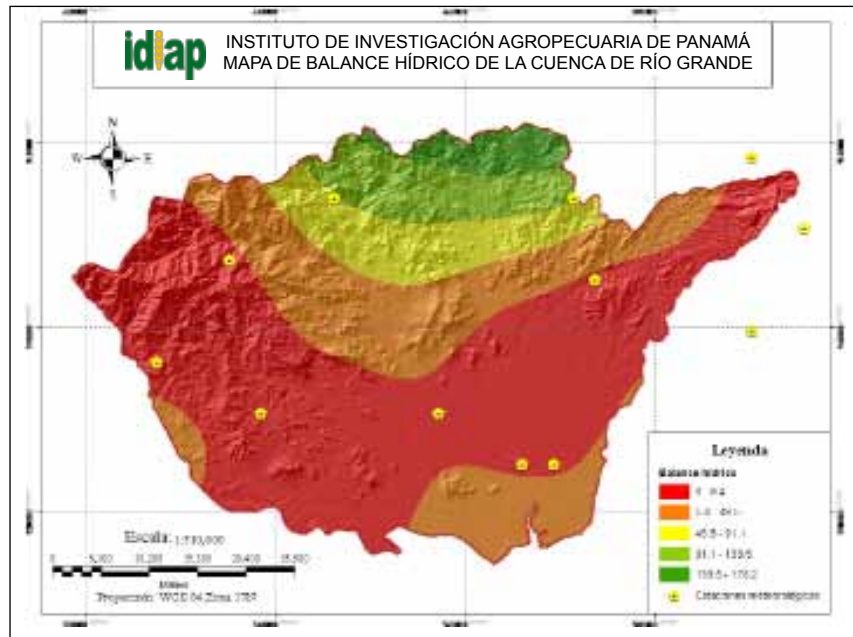


Figura 13. Balance hídrico de la cuenca de Río Grande.

La zonificación de los cultivos a nivel de cuenca hidrográfica es un tema obligado para el mejoramiento de la gestión del sector agropecuario (Tinoco y Acuña 2009), con la finalidad de incrementar la competitividad y sostenibilidad.

El potasio (K) y fósforo (P) se encuentran en niveles bajos para la mayor parte de la cuenca en estudio, como se puede observar en las Figuras 14 y 15, respectivamente. De igual manera, el mapa de pH (Figura 16) presenta áreas donde el suelo es muy ácido, alcalino, neutro, levemente ácido y extremadamente ácido.

Los resultados de pH en su mayoría ácidos, influyen directamente en la etapa vegetativa, reproducción y maduración, y de acuerdo a lo que requiere el cultivo debe ser neutro.

El cultivo de arroz requiere de suelos con textura arcillosa fina, arenosa y francosa fina (infoAgro 1980). De acuerdo a CARTAP, la Figura 17 de textura de suelo dio como resultado que el 63,5% del área de la cuenca corresponde a la textura arcillosa fina, 20,7% a la textura francosa fina y el 4,47% arenosa.

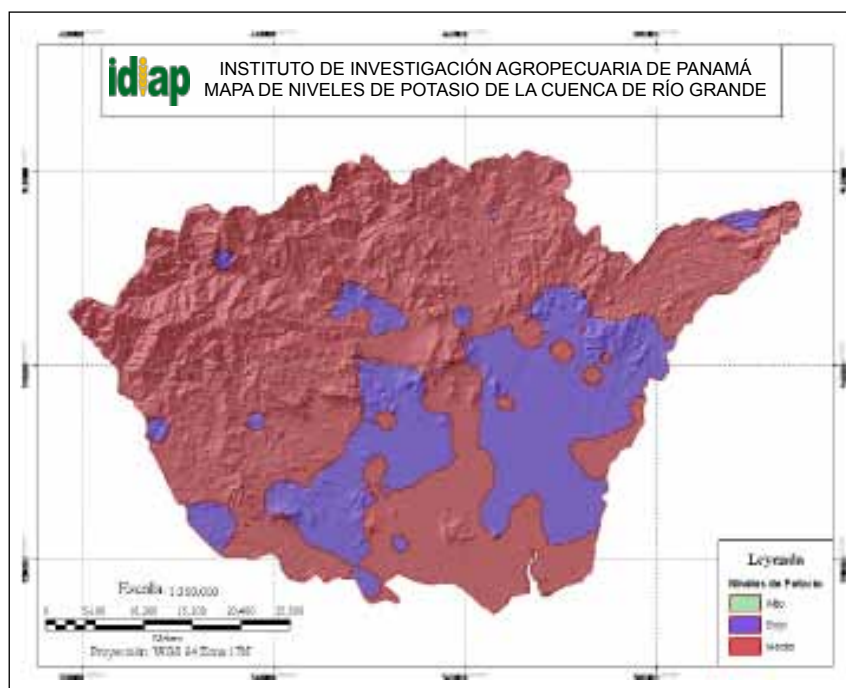


Figura 14. Niveles de potasio en la cuenca de Río Grande.

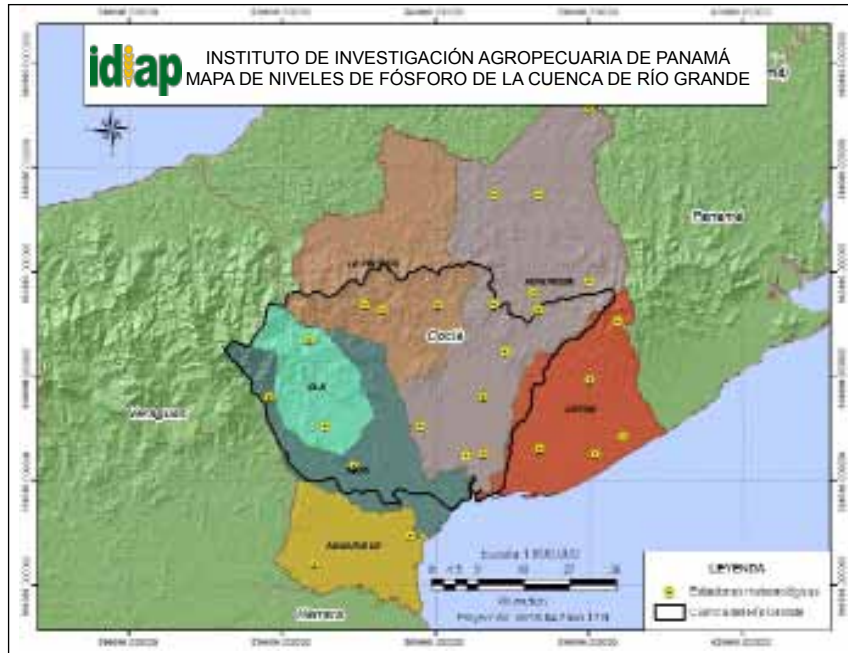


Figura 15. Niveles de fósforo en la cuenca de Río Grande.

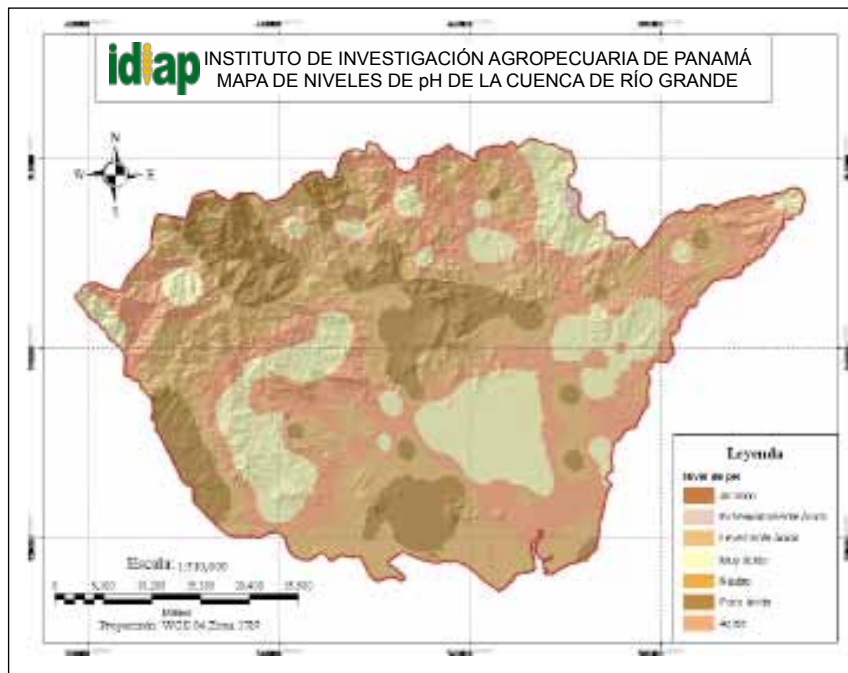


Figura 16. Niveles de pH en la cuenca de Río Grande.

De acuerdo a las características de la cuenca, la pendiente oscila entre 0 y más de 65%. En la parte baja de la cuenca se registran pendientes de 0 a

43%, en la parte media se encuentran entre 25% y 50%, y en la parte alta con más de 65% (Figura 18).



Figura 17. Textura de suelo de la cuenca de Río Grande.



Figura 18. Pendientes de la cuenca de Río Grande.

El drenaje es otro factor muy importante en el desarrollo del cultivo. Los resultados demuestran que los suelos de la cuenca en su mayoría son

bien drenados, esto representa un 60%, seguido de suelos con drenaje imperfecto con un 10% y moderadamente drenado con un 8% (Figura 19).

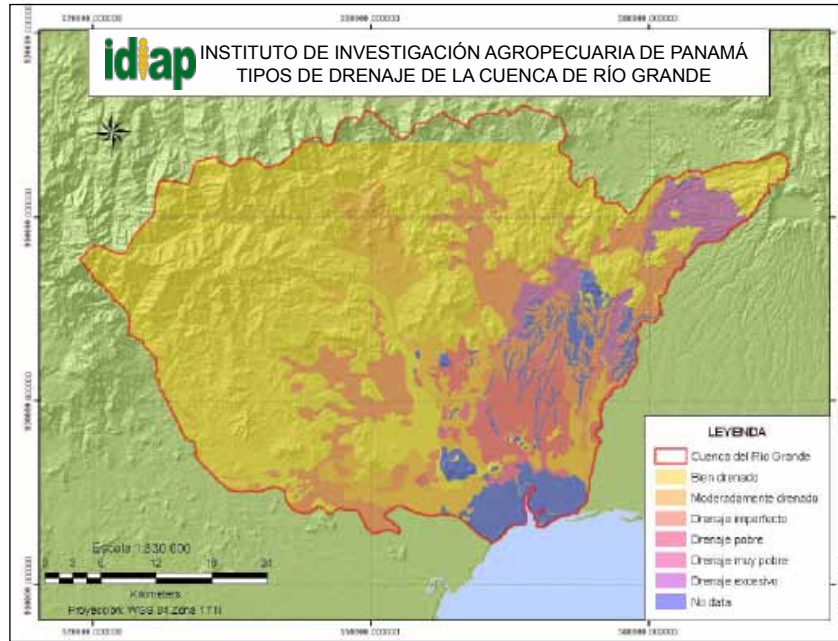


Figura 19. Tipos de drenaje de la cuenca de Río Grande.

Con los resultados de las exigencias agrológicas del cultivo, se obtuvieron tres clases agrológica para la cuenca. Como se puede observar en el Cuadro 2, se tiene la clase 1 = apta, la

clase 2 = moderadamente apta y la clase 3 = no apta, estas clases determinan donde es viable la producción del cultivo en la cuenca (Carmona 2003).

CUADRO 2. CLASES AGROLÓGICAS DEL CULTIVO DE ARROZ PARA LA CUENCA DE RÍO GRANDE.

Parámetros	Clase 1 Apto	Clase 2 Moderadamente apto	Clase 3 No apto
Balance hídrico	< 290	210	> 299
pH	5,5 a 7,0	-	-
Fertilidad	Media	Baja a moderada	Mala
Textura	Limosa (Lf) Arcillosa (Kc)	-	-
Drenaje	Bueno (W)	Imperfecto (N)	Malo (E)
Pendiente	0 a 10% (A)	10 a 20% (C)	> 20% (D)

Producto de las clases agrológicas, se realizó dos tipos de zonificación:

1. Zonificación por requerimientos: De acuerdo a las exigencias del cultivo de arroz, se puede establecer pero con deficiencias, salvo se suplan. Se puede observar en la Figura 20, la zonificación por requerimientos de suelo que abarca 194 520,46 ha, siendo esta la de mayor extensión que tiene la cuenca para el cultivo de arroz. La zonificación por precipitación le sigue en extensión de terreno, con un área de 87 906,58 ha, luego por temperatura con un área de 30 170,93 ha y por fertilidad con 2,68 ha.

2. Zonificación agroecológica: El modelo presenta tanto la clase apta como la moderadamente apta son áreas muy pequeñas dentro de la cuenca que brindan todas las condiciones para el cultivo de arroz en cada una de sus etapas vegetativas, cuentan con las condiciones para su desarrollo y producción. En la Figura 21, se observa que la clase agrológica apta abarca un área de 584,91 ha, ubicada entre los distritos de Natá y Penonomé, y la moderadamente apta 426,40 ha, ubicada en el distrito de Penonomé.

CONCLUSIONES

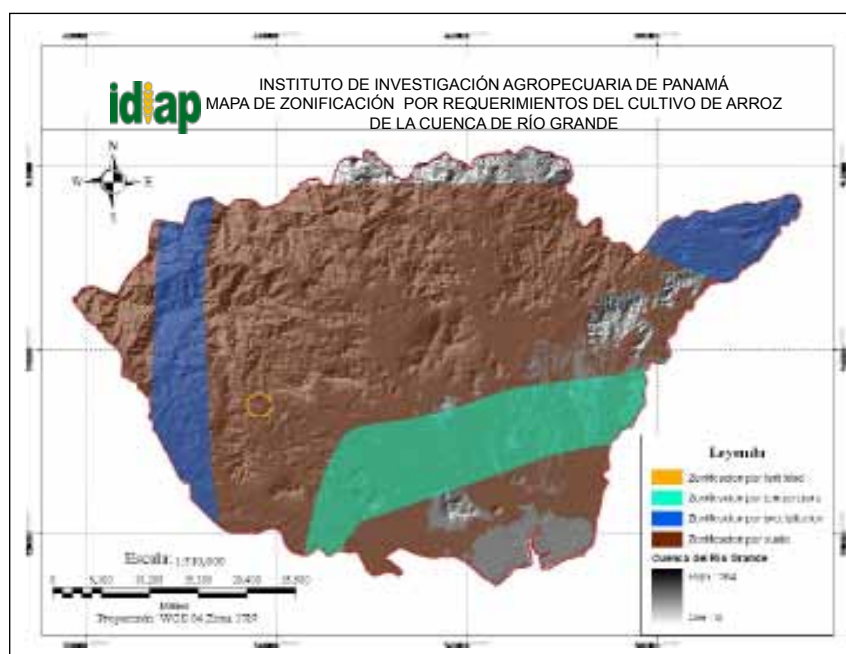


Figura 20. Zonificación por requerimientos de cultivo de arroz.

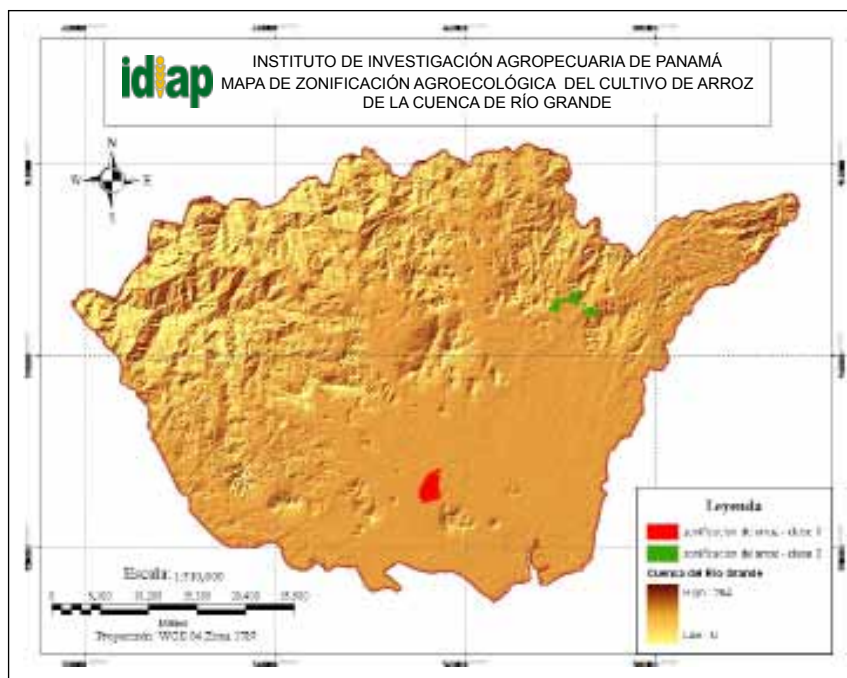


Figura 21. Zonificación agroecológica del cultivo de arroz.

- La zonificación en la cuenca dio como resultado zonas de poca extensión aptas y viables (584 91 ha), para el establecimiento del cultivo de arroz, de acuerdo a los requerimientos y balance hídrico exigidos por el rubro.
- Los resultados de la zonificación se pueden modificar, a través del modelo, supliendo las necesidades y exigencias del cultivo de arroz.
- Con los procedimientos y parámetros se estableció las bases para posteriores estudios a nivel de planeación, administración de recursos y toma de decisiones. Se creó un modelo de zonificación que permite alimentar el sistema, de forma que puede simular situaciones que el cultivo probablemente enfrente, para la posterior toma de decisiones.

BIBLIOGRAFÍA

- Abril F, M; González, CA. 2006. Zonificación por Balance Hídrico de la Cuenca Alta y Media del Río Bogotá, utilizando Sistemas de Información Geográfica. Bogotá, CO. 10 p.
- Almorox, J. 2003. Balance hídrico, método directo (en línea). Metodología de Thornthwaite. Consultado 3 ene. 2010. Disponible en <http://www.eda.etsia.upm.es/climatologia>

- Arévalo, HV; Acuña, J; Yerrén, J. 2007. Balance hídrico superficial de las cuencas de los Ríos Tumbes y Zarumilla. Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos. Ecuador. 12 p.
- Carmona A, JH. 2003. Balance hídrico y clasificación climática para el departamento de caldas - modelo desarrollado en el lenguaje de programación avenue de ArcView. Centro de Investigación y Desarrollo – Facultad de Ingeniería. Manizales, CO. 17 p.
- Durand Dastes, F. 2010. Balance hídrico y descripción de métodos. 2 p.
- ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica S.A). 2010. Datos climáticos de las estaciones meteorológicas de la Cuenca de Río Grande y aledañas. Departamento de Hidrometeorología. Base de datos en formato de Excel. Panamá.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute). 1969. Sistemas de Información Geográfica (SIG) (en línea). ArcGis, versión 9x. California, Estados Unidos. Consultado 19 feb. 2014. Disponible en <http://www.esri.com/>.
- Holdrige, L. 1947. Determination of world plant formation from simple climatic data. Department of Botany, University of Michigan, Ann Arbor. 367 p.
- IDIAP (Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá). 2006. Zonificación de suelos de Panamá por niveles de nutrientes. Laboratorio de suelo – Divisa. PROVIAGRO. Panamá. 24 p.
- Infoagro. 1980. El cultivo del arroz (en línea). Parte 1. Consultado 23 feb. 2012. Disponible en <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/arroz>
- InnerSoft ISBH v0.1. 2012. Software para el cálculo del balance hídrico (en línea). Versión 0.1. Universidad de Chile. Consultado 5 mar. 2010. Disponible en <http://www.uchile.cl>.
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario). 1968. Catastro Rural de Tierras y Aguas de Panamá (CARTAP). Descripción de códigos de la base de datos de los mapas de suelo. Escala 1: 50,000. 2 p.
- Tinoco, R; Acuña, A. 2009. Manual de recomendaciones técnicas del cultivo de arroz (*Oryza sativa*). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. San José, CR. 78 p.

Thornthwaite, CW. 1948. An approach toward a rational classification of climate. University of North Carolina, United States. 94 p.

Thornthwaite, CW; Matter, JR. 1957. Instructions and tables for computing potencial evapotranspiration and the water balance. Drexel Institute of Technology. 311 p.

USDA (United States Department of Agriculture). 1961. Clasificación agrológica de suelo. Departamento de Agricultura de los EEUU.

AGRADECIMIENTO

Se le agradece a ETESA, S.A., por brindar toda la información climática de las estaciones meteorológicas que influyen en la cuenca de Río Grande, para realizar la base del trabajo. También, al Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA), por proporcionar la información de CARTAP, datos necesarios para la elaboración de mapas que sirven de base para el modelo.