

# ESCENARIOS DE DEMANDA HÍDRICA AGRÍCOLA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL RIEGO DE LOS PEQUEÑOS PRODUCTORES DE LA ZONA PLANA DE LA CUENCA DEL RÍO GUABAS.

*Valentina Muñoz A, Andrés Echeverri S.*

Universidad del Valle. Santiago de Cali, Colombia.

## RESUMEN

La asociación de usuarios de la cuenca del río Guabas (ASOGUABAS) en convenio con el grupo de investigación REGAR (Universidad del Valle), realizaron un estudio para la determinación de la demanda hídrica de los pequeños productores de la zona plana de la cuenca hidrográfica del Río Guabas, como primer paso para plan de uso eficiente del agua.

Se acopió información climática y cartográfica de zona plana de los municipios de Guacarí y Ginebra, departamento del Valle del Cauca. Posteriormente se determinó la zona agrícola de cada predio mediante el uso de tecnología de geoposicionamiento global. Se calcularon las necesidades hídricas de los cultivos, el aporte de la precipitación, las necesidades de riego y la demanda hídrica a nivel mensual.

Los resultados indican que de acuerdo al comportamiento de la evapotranspiración y la precipitación de la zona de estudio, se presentan dos épocas de necesidades de riego asociadas a los periodos de lluvia (comportamiento bimodal). Además se identificó que la demanda actual es alta debido a la deficiente infraestructura de conducción y distribución de agua existente; es así como a pesar de tener métodos de riego localizado a nivel predial se presenta un módulo crítico de riego de  $0,85 \text{ ls}^{-1}$ . En función de lo anterior se realizó una simulación de un escenario de demanda mejorando las eficiencias del sistema de conducción y distribución de agua para riego y se obtuvo un módulo crítico de  $0,4 \text{ ls}^{-1}$ .

**Palabras clave:** *demanda hídrica, eficiencias de riego, pequeños productores rurales*

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente se vive una competencia intensa por los escasos recursos hídricos. Muchas cuencas hidrográficas no tienen agua suficiente para atender a todas las demandas. La producción de alimentos y otros productos agrícolas absorbe el 70% de las captaciones de agua dulce de ríos y napas subterráneas, razón por la cual la agricultura se convierte en el sector económico que más demanda hídrica requiere. Esto debido a que la irrigación es la actividad que más consume agua dulce del Planeta. Al asegurar el abastecimiento de agua, el regadío garantiza los cultivos y anima a los agricultores a invertir en un tipo de agricultura más productiva (FAO, 2008).

A partir de esto se han creado instituciones que velan por el manejo integral del recurso hídrico, las cuales son encargadas de responder a las necesidades de los agricultores, de disponer de un suministro flexible y seguro de agua, una gestión

más transparente y un equilibrio entre eficiencia y equidad en el acceso al recurso hídrico. Para ello, es necesaria la modernización de las infraestructuras, una reestructuración institucional, y una mejora de las capacidades técnicas de los agricultores y de los gestores del agua. Por esta razón ASOGUABAS, asociación a cargo del manejo de la hidrocuena de Río Guabas, ubicada en el centro del Departamento del Valle del Cauca (municipios de Ginebra y Guacari); emprendió el proyecto de conservación y recuperación de la cuenca para lograr la optimización del recurso hídrico, del cual hace parte el presente estudio que pretende aportar elementos al desarrollo de un mini distrito de riego y de manera específica realizar una aproximación integral y técnica a la cuantificación de la demanda hídrica agrícola y su variación temporal en función de los cultivos, las variables climáticas y las eficiencias de los métodos de riego.

Esta iniciativa responde a los lineamientos planteados en el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca hidrográfica del Río Guabas (CVC y ASOGUABAS, 2009) que identifica la gestión y optimización del uso del agua en el sector agrícola como prioritario. El objetivo general del presente estudio fue determinar de manera integral la demanda hídrica para la actividad agrícola de los pequeños productores de la zona plana de la asociación ASOGUABAS, como herramienta para la planificación del recurso hídrico en la Cuenca del Río Guabas. Y específicamente, determinar el área agrícola de los pequeños productores de la zona plana, recolectar información cartográfica y climática de la zona de estudio y calcular la demanda hídrica de los pequeños agricultores de la asociación ASOGUABAS.

## **2. METODOLOGÍA**

El procedimiento metodológico que se llevó a cabo se describe a continuación paso a paso tal cual como se realizó de manera lógica y secuencial, con las especificaciones técnicas pertinentes para cada fase. Inicialmente se acopió la siguiente información secundaria de la zona de estudio: Datos mensuales multianuales de Temperaturas, Brillo solar, Humedad relativa, evaporación, velocidad del viento de al menos 11 años, datos diarios de precipitación de al menos 11 años a nivel diario o decadal y cartografía básica y temática de la cuenca.

Se llevó a cabo el levantamiento predial de la zona agrícola del predio de cada usuario de la zona plana que fue considerado por ASOGUABAS como pequeño productor (extensión menor a 5 ha). Este levantamiento se realizó con tecnología GPS (*Global Positioning System*). Los puntos levantados se encontraban en el sistema de coordenadas geográficas y para poder realizar el dibujo de predios (polígonos) en el software "*AutoCAD Civil 3D Land Desktop Companion 2009*" fue necesario transformar los puntos al sistema cartesiano de coordenadas planas (x,y); para realizar esta conversión se utilizó el software "*The Geographic Calculator (GEOCAL) versión 3.05*". Después se determinaron las áreas y se generaron los planos prediales.

Se seleccionaron estaciones con datos de precipitación que cumplieron los siguientes criterios: ubicadas en la cuenca guabas, ubicadas en las cuencas vecinas, registro de información mayor a 10 años, polígonos de Thiessen con área de influencia sobre la cuenca. Las estaciones que cumplieron los 4 criterios fueron: Aují, La Ceja, Costa Rica, La Selva, Acueducto de Buga y La Patagonia, con información del periodo 1988 a 2009. La definición de estaciones para el cálculo de

la evapotranspiración potencial se realizó mediante la aplicación de los siguientes criterios: estaciones ubicadas en la cuenca guabas, estaciones ubicadas en cuencas vecinas, estaciones con periodos de información mayores a 10 años, estaciones con información de mínimo las siguientes variables: Humedad Relativa y Temperatura, estaciones cuyo polígono de Thiessen presente área de influencia en la cuenca del Río Guabas Las estaciones que cumplieron los criterios fueron las siguientes: Monteloro, Ginebra y Guacarí, con información del periodo 1990 a 2009.

Constantemente los datos obtenidos a partir de estaciones climatológicas presentan una inconsistencia o faltantes debido a los imprevistos que se pueden presentar durante la obtención diaria de datos. El método seleccionado para complementar los datos faltantes es conocido como "Completación por Regresión Lineal" o Análisis de Dobles Masas. Este método es uno de los más utilizados y consiste en estimar los datos faltantes de una estación Y a partir de los datos de una estación confiable X (Jiménez, 1992). La estación de referencia para la estimación de datos faltantes fue la estación La Selva ubicada en la cuenca del Río Guabas. La precipitación efectiva se calculó de acuerdo a la USDA (Ven Te Chow, 2000) con la siguiente expresión:

$$= \frac{125 - (0,2 )}{125}$$

Donde: Pe: Precipitación efectiva (mm/mes); P: Precipitación media mensual para cada periodo (mm/mes). Sobre las series mensuales multianuales de precipitación efectiva resultantes de los anteriores cálculos se realizó un análisis de probabilidad de excedencia tipo Weibull (Urrutia y Echeverri, 2007). El modelo se define con la siguiente expresión:

$$= \frac{1}{1 + 1} \times 100$$

Donde: Pb: probabilidad de excedencia de un evento (%); n: Número de orden de cada fila de la serie mensual multianual ordenada de mayor a menor; m: Número de años de información mensual multianual.

Para el cálculo de la Precipitación efectiva representativa de la cuenca se seleccionó la serie de precipitación con probabilidad de excedencia más cercana al 80% de cada estación seleccionada y utilizando el software ArcGis 9.2 se aplicó la metodología de polígonos de Thiessen, la cual se define por la siguiente expresión matemática:

$$\frac{\sum}{\underline{\underline{\quad}}}$$

Donde: Pe: precipitación efectiva representativa de la cuenca (mm/mes); AT: Área total del cuenca (ha); Pi: Precipitación de la estación i (mm/mes); Ai: área del polígono correspondiente a la estación i (ha).

La evapotranspiración potencial (ETo) se calculó por el método de García López (Jiménez, 1992). La expresión para su cálculo se presenta a continuación:

$$= 1.21 \times 10 \times (1 - 0.01 ) + 0,21 - 2.3$$

Donde: ETo: Evapotranspiración de referencia en mm/día; T: Temperatura media mensual en °C; FT: Factor de temperatura; HR = Humedad relativa media de las horas diurnas. La evapotranspiración del cultivo (ETc) se calculó de acuerdo a la expresión de la FAO (2004), la cual se presenta a continuación:

$$= \times$$

Donde: ETc: Evapotranspiración del cultivo (mm/día); ETo: Evapotranspiración potencial (mm/día); Kc: coeficiente del cultivo.

Sobre las series mensuales multianuales de de ETc se realizó el mismo análisis probabilístico realizado sobre la precipitación efectiva. El cálculo de la ETc representativa de la cuenca se realizó aplicando de igual manera la metodología de polígonos de Thiessen. La serie de ETc seleccionada fue la del 50% de probabilidad de excedencia. La necesidad de riego se definió como la diferencia entre el requerimiento del cultivo y el aporte de la precipitación (Urrutia y Echeverri, 2007). El cálculo se realizó de acuerdo a:

$$= -$$

Donde: NRn: Necesidad de riego neta (mm/mes); ETc: Evapotranspiración del cultivo representativa de la cuenca con 50% de probabilidad de excedencia (mm/mes); Pe: Precipitación efectiva representativa de la cuenca con 80% de probabilidad de excedencia (mm/mes).

El caudal neto requerido en un proyecto de riego, debe ser incrementado en una cantidad adecuada, de tal forma que se puedan compensar las pérdidas por aplicación, distribución, conducción y almacenamiento del agua de riego (Jaramillo, 2010). La eficiencia del proyecto (Ep) se calcula a partir de las eficiencias de conducción (Ec), distribución (Ed) y aplicación (Ea). Estos valores están en función del tipo de conducción y el método de riego. De acuerdo a lo anterior se tiene que:

$$= * *$$

A partir de las necesidades netas de riego y de la eficiencia del proyecto, se calcula las necesidades totales de riego (NRt). Mediante la siguiente relación:

$$= \frac{\quad}{\quad}$$

Para el cálculo del caudal demandado para la actividad del riego por unidad de área se utiliza la expresión de caudal de flujo continuo, la cual se presenta a continuación.

$$= 0.1157 \times$$

Donde: Mfc: Módulo de riego (lt/seg-ha); NRt: Necesidad de riego total (mm/día). El caudal en flujo continuo es la demanda de agua necesaria para que determinado cultivo se desarrolle en óptimas condiciones, se calcula para cada década y es la relación entre el modulo de riego y el área del proyecto. La expresión por la cual se halla es la siguiente:

= \*

Donde: A: Área del proyecto (ha); Mfc: Módulo de riego (lt/seg-ha); Qfc: Caudal demandado en flujo continuo (lt/seg).

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En total en el levantamiento predial se georrefenciaron **147 predios**, 90 en el municipio de Ginebra y 56 en Guacarí; que suman un área total de **113,265 ha**. El 98,5 % de los predios tienen áreas menores a 5 ha y el 75% tienen áreas menores a 1 ha. De acuerdo al levantamiento predial, los cultivos predominantes en la zona de estudio son uva isabella que representa el 27,27 % Maracuyá 18,18 %, Maíz con el 10,05 %, Pasto de corte 7,18% y Cítricos que comprende los cultivos de (limón, mandarina y Naranja) con 6,22%. De acuerdo a la ponderación de los coeficientes de los cultivos mencionados (tomados de FAO, 2004), el valor estimado para Kc es de 0,97 (Muñoz y Paz, 2011).

Por otro lado, el análisis de precipitación muestra que en la zona de estudio se presenta un comportamiento bimodal, típico del sur occidente del país (Ver Figura 1); el cual se caracteriza por dos épocas de lluvias en el año, que en este caso específico va desde Marzo a Mayo y desde Octubre a Noviembre.

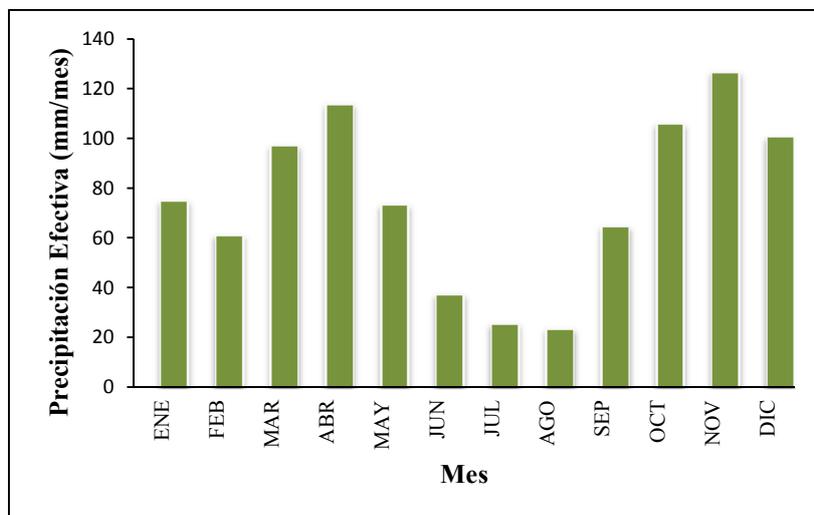


Figura 1. Precipitación efectiva cuenca Guabas

Los resultados del cálculo de la evapotranspiración muestran un comportamiento relativamente constante con valores pico en los meses de julio y agosto (Ver Figura 2), los cuales a su vez son los de menor precipitación. En la Figura 3 se presentan los resultados de descontar la precipitación efectiva de los requerimientos hídricos del cultivo. De acuerdo a estos resultados se puede asegurar que se presentan dos periodos marcados de necesidad de riego (Enero-Febrero y Mayo-Septiembre), los cuales, están fuertemente asociados a las dos temporadas secas identificadas en el análisis de precipitación y a los mayores valores de evapotranspiración.

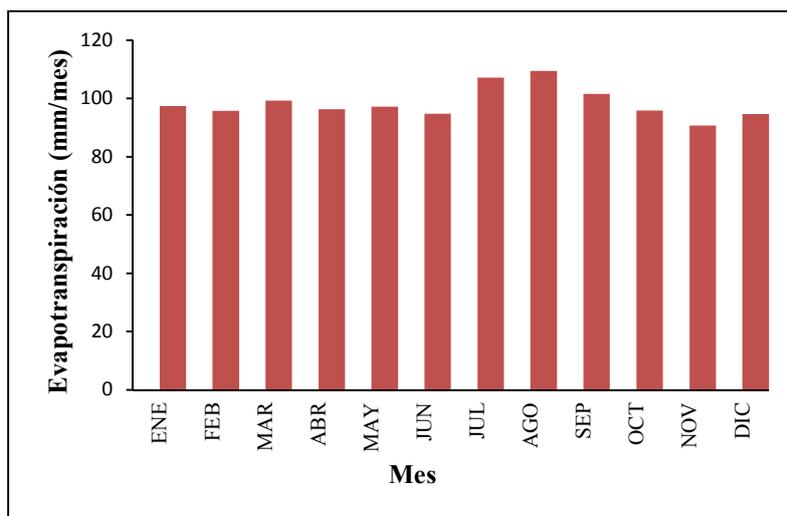


Figura 2. . Evapotranspiración real cuenca Guabas

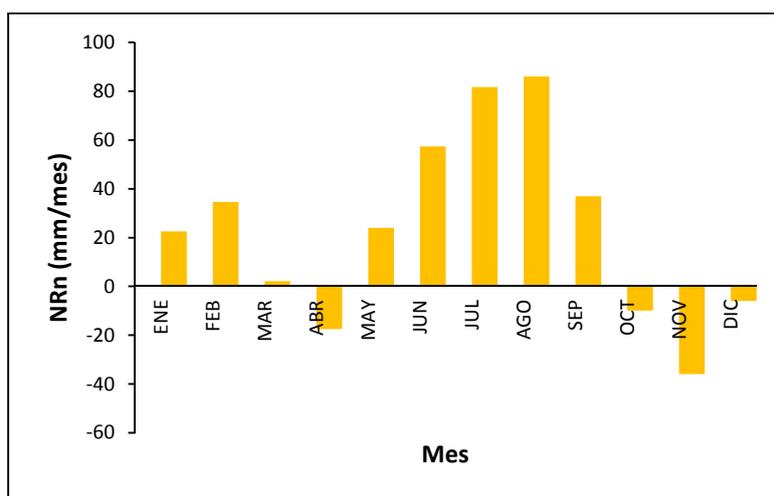


Figura 3. Necesidades netas de riego en mm/mes

### 3.1. DEMANDA HIDRICA ACTUAL

En la Tabla 1 se presentan las eficiencias del proyecto de acuerdo a las características técnicas actuales de la conducción, distribución y aplicación de agua. De acuerdo a la tabla, la eficiencia del proyecto se estima en **37,8%**, valor el cual se considera bajo, pero se explica en el contraste de una alta eficiencia de aplicación a nivel predial con una baja eficiencia de conducción y distribución en canales abiertos sin recubrimiento. En la Tabla 2 se presentan las Necesidades Totales de Riego (NRt), considerando la eficiencia del proyecto en las condiciones actuales. Los valores conservan el comportamiento de las necesidades netas de riego (NRn), es decir dos periodos de demanda con valores críticos en los meses de julio y agosto.

**Tabla 1. Eficiencias del proyecto**

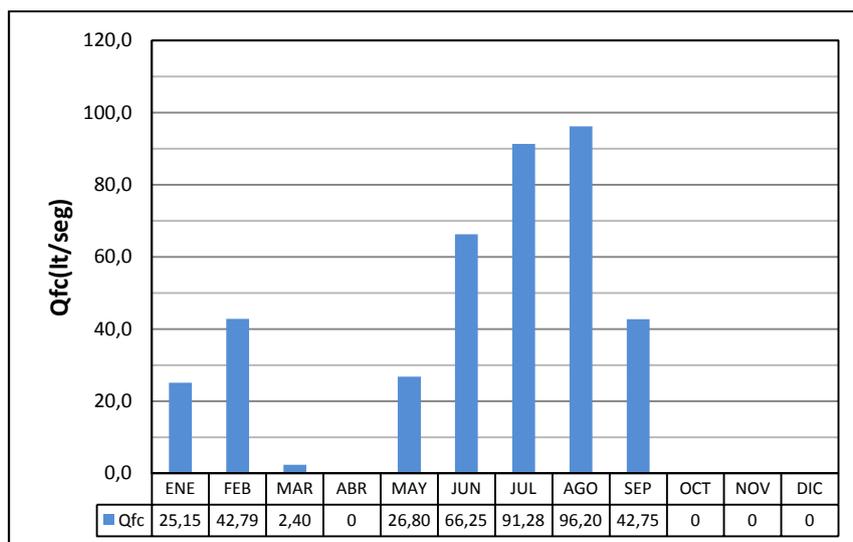
COMPONENTE	OBSERVACIONES	EFICIENCIA
Conducción	Conducciones abiertas (Canales en tierra) con secciones irregulares	60%
Distribución	Conducciones abiertas (Canales en tierra) con secciones medianamente regulares	70%
Aplicación	Riego localizado de alta frecuencia (goteo)	90%

De igual manera, en la Tabla 2 se presentan los módulos de caudal para cada mes bajo las condiciones actuales. Se puede observar que crítica de demanda hídrica es el mes de Agosto, en el que se presenta un módulo de riego de **0,85 lt/seg-ha**.

**Tabla 2. Módulo de riego actual**

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ETc	97,3	95,7	99,2	96,2	97,1	94,7	107,1	109,4	101,6	95,9	90,6	94,5
Pe	74,9	61,2	97,1	113,7	73,2	37,4	25,5	23,4	64,6	105,8	126,5	100,5
NRn	22,4	34,5	2,1	-17,4	23,9	57,3	81,6	<b>86,0</b>	37,0	-9,9	-35,8	-5,9
Ep	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	<b>0,38</b>	0,38	0,38	0,38	0,38
NT	59,5	91,4	5,6	-46,0	63,4	151,6	215,9	227,5	97,8	-26,1	-94,8	-15,6
Mfc	0,22	0,38	0,02	0,00	0,24	0,58	0,81	<b>0,85</b>	0,38	0,00	0,00	0,00

El valor de módulo de demanda obtenido para el periodo crítico es un indicador de la baja eficiencia de conducción y distribución del recurso hídrico. En la Figura 4 se presentan los datos del caudal total demandado en flujo continuo para cada mes.



**Figura 4. Caudal demandado por el proyecto en flujo continuo.**

Con lo observado en la Figura 4 se reconfirma que la demanda hídrica está asociada a los periodos de menores precipitaciones, concentrándose en los meses de Enero-Febrero y Mayo- Septiembre; siendo agosto el mes de mayor demanda (0,85 lt/seg-ha). Así mismo se identificó que la demanda hídrica del proyecto es alta si se tiene en cuenta el método de riego utilizado para la aplicación del riego a nivel predial. Lo anterior conlleva a la inminente necesidad de aumentar la eficiencia de conducción y distribución de agua para uso agrícola.

## ESCENARIO DE DEMANDA HIDRICA DESEADA

Para disminuir las necesidades totales de riego se requiere la optimización de la infraestructura que posee actualmente los usuarios de ASOGUABAS, es decir mejorar el sistema de conducción, distribución y aplicación del agua para riego. A continuación se presenta la evaluación para un sistema cerrado (tuberías PVC) en el cual las pérdidas de agua son mínimas (Muñoz y Paz, 2011). En la Tabla 3 se presentan las nuevas eficiencias de cada componente.

**Tabla 3. Eficiencias del sistema para escenario de demanda deseada**

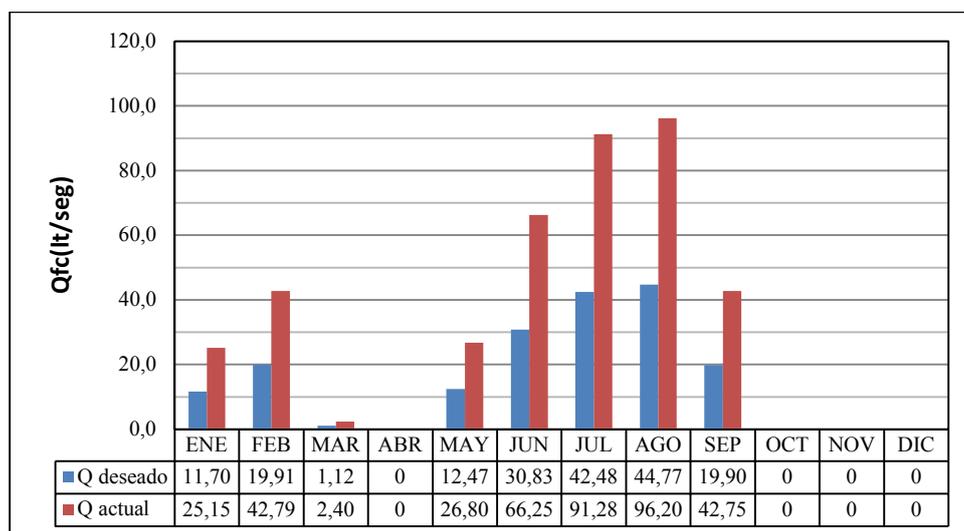
COMPONENTE	OBSERVACIONES	EFICIENCIA
Conducción	Conducciones cerradas (Canales recubierto o tubería de pvc) con secciones irregulares	95%
Distribución	Conducciones cerradas (Canales recubierto o tubería de pvc) con secciones medianamente regulares	95%
Aplicación	Riego localizado de alta frecuencia (goteo)	90%

La nueva eficiencia general del sistema sería 81,22%. Este valor tiene implicaciones directas en las necesidades totales de riego (NTr), el módulo de riego (Mr) y el caudal en flujo continuo (Qfc). En la Tabla 4 se presentan los módulos de riego obtenidos para el escenario de demanda deseada.

**Tabla 4. Módulo de riego escenario de demanda deseada**

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ETc	97,39	95,76	99,25	96,29	97,17	94,73	107,12	109,43	101,60	95,90	90,66	94,59
Pe	74,90	61,20	97,10	113,70	73,20	37,40	25,50	23,40	64,60	105,80	126,50	100,50
NRn	22,49	34,56	2,15	-17,41	23,97	57,33	81,62	<b>86,03</b>	37,00	-9,90	-35,84	-5,91
Ep	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	<b>0,81</b>	0,81	0,81	0,81	0,81
NT	27,69	42,55	2,64	-21,43	29,51	70,58	100,49	<b>105,91</b>	45,55	-12,18	-44,12	-7,27
Mfc	0,10	0,18	0,01	0,00	0,11	0,27	0,38	<b>0,40</b>	0,18	0,00	0,00	0,00

Comparando los valores obtenidos en las Tablas 2 y 4 se puede observar que un mejoramiento de la infraestructura de conducción y distribución de agua disminuye la demanda de agua. El módulo de riego del escenario de demanda deseada es de 0,4 lt/seg-ha, aproximadamente el 50% de la demanda actual. Lo anterior indica que un mejoramiento de la infraestructura de conducción y distribución de agua significaría un ahorro del 50% del agua requerida para el riego. En la Figura 5 se muestra gráficamente el caudal de flujo continuo demandado actualmente y el resultante del escenario de demanda deseada.



**Figura 5. Caudal demandado actual y deseado (flujo continuo)**

#### 4. CONCLUSIONES

Los cultivos predominantes de la zona de estudio son uva Isabella que representa el 27,27 %, Maracuyá 18,18 %, Maíz con el 10,05 %, Pasto de corte 7,18% y Cítricos que comprende los cultivos de (limón, mandarina y naranja) con 6,22%.

La precipitación de la zona de estudio presenta el comportamiento típico del suroccidente del país, es decir, obedece a un comportamiento bimodal (dos periodos de sequia y dos de lluvia). En contraste, la evapotranspiración por su parte se comporta relativamente constante, lo cual, la demanda hídrica crítica está asociada a los periodos de menores precipitaciones (entre Enero y Febrero y entre Junio y Agosto).

La demanda hídrica del proyecto es alta si se tiene en cuenta el método de riego utilizado para la aplicación del riego a nivel predial, esto debido a la baja eficiencia de la actual infraestructura de conducción y distribución, la cual por sus características permite la pérdida del agua captada en la fuente, haciendo del sistema en general muy poco eficiente (37,8%).

De acuerdo a la simulación del escenario de demanda deseada se concluye que un mejoramiento de la infraestructura de conducción y distribución del agua (conducciones cerradas) disminuiría la demanda en poco más del 50%,

pues en la actualidad se tiene un módulo de riego en flujo continuo de 0,85 lt/seg-ha y con el mejoramiento se demandarían 0,4 lt/seg-ha.

## **5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**CVC; ASOGUABAS. (2009).** Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica del río Guabas 2009-2019. Santiago de Cali: Corporación Autónoma del Valle del Cauca y Asociación de usuarios de la cuenca hidrográfica del río Guabas.

**FAO. (2008).** Agua para la alimentación, Agua para la vida. Roma. Italia.

**FAO. (2004).** Evapotranspiración del cultivo. Guía para determinar los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y drenaje No 56.

**Jaramillo, Javier. (2010).** Diseño de sistema de riego. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Facultad de Ciencias Agropecuarias

**Jiménez, Henry. (1992).** Hidrología Básica. Tomo I. Universidad del Valle. Cali, Colombia.

**Muñoz, Valentina; Paz, Sara. (2011).** Cálculo de las necesidades de agua para riego de los pequeños agricultores de la zona plana de la asociación de usuarios de la cuenca hidrográfica del Río Guabas-ASOGUABAS. Tesis pregrado. Universidad del Valle. Cali, Colombia.

**Urrutia, N; Echeverri, A. (2007).** Estudio de la evaluación del reuso para agricultura del efluente de la PTAR-C. Una aproximación integral al sistema de distribución de agua residual para el sector cañero.

**Ven Te Chow; Maidment, D; Mays, L. (2000).** Hidrología Aplicada. Editorial McGraw Hill Interamericana.