

# Balance hídrico en tres fincas de la cuenca media del río Nima, eco-región andina de Colombia.

A. Gómez O.<sup>1</sup>; M. Ramírez N.<sup>2</sup>; H. Tafur, H.<sup>3</sup>

## COMPENDIO

En tres fincas de la cuenca media del río Nima, localizada a 3° 31'48" de latitud norte y 76° 18'13" de longitud oeste, ubicadas entre 1.420 y 1.740 m.s.n.m., con una precipitación anual entre 1.200 y 1.900 mm, y un régimen bi-modal, se determinó el caudal disponible en época de estiaje y se analizó la información histórica de la precipitación de tres estaciones meteorológicas. Un análisis de la precipitación mensual de la zona, con probabilidad del 80%, permitió establecer que el mes de julio es el de menor precipitación (9-14 mm). Sin embargo, el período crítico desde el punto de vista agrícola se presentó entre junio-agosto y parte de septiembre; y agosto es el más crítico por el aumento de la evapotranspiración. De igual manera, enero y febrero fueron meses deficitarios (comparando precipitación y evapotranspiración), aunque de menor valor. Esta situación hace necesaria la utilización de riego complementario a la hora de emprender cualquier actividad agrícola. Los aforos de las fuentes de agua permitieron establecer que es posible suplir los requerimientos hídricos de los cultivos más frecuentes, siempre que se haga un manejo racional del recurso.

**Palabras claves:** balance hídrico, aforo de corrientes, calidad de agua, zonas de ladera, eco-región andina.

## ABSTRACT

In three property of the average river basin of the Nima river, located to 3° 31'48" of North latitude and 76° 18'13" of West longitude, located between 1420 and 1740 m.s.n.m, with an annual precipitation between 1200 and 1900 mm, and a bi-modal regime, determined the volume available at time of low water and the historical information of the precipitation of three weather stations was analyzed. An analysis of the monthly precipitation of the zone, with a probability of the eighty percent (80%), allowed to establish to the month of July like the one of smaller precipitation (9 - 14 mm). Nevertheless the period critic from the agricultural point of view, one appears between June - August and it affects part of September, appearing August as but critic by the increase of the evapotranspiration. Of equal way January and February appear like deficit months (comparing precipitation and evapotranspiration), although of smaller value. This situation makes the use necessary of complementary irrigation at the time of undertaking any agricultural activity. The gaugings of the water sources, of the property evaluated in the zone of study, allowed to establish that it is possible to replace the hydric requirements of the frequent cultivation but, whenever a rational handling becomes of the resource.

**Key words:** Hydric balance, Gauging of currents, Quality of water, Zones of slope, Andean Eco-region.

## INTRODUCCIÓN

El manejo adecuado del agua en las explotaciones agropecuarias constituye uno de los factores que mayor influencia ejercen sobre los niveles de producción y productividad (ICA, 1986). Por ello es necesario dar un uso racional a las fuentes de agua y ejecutar un plan de manejo y conservación, pues de ellas de-

pende el riego suplementario de los cultivos durante las épocas de estiaje.

Para optimizar los recursos hídricos en zonas de ladera se deben utilizar sistemas de riego apropiados que se adapten a las condiciones topográficas, que eviten excesos en la aplicación del agua que puedan generar problemas erosivos.

De igual manera, es importante conocer la cantidad y calidad del agua disponible, de tal forma que los sistemas de riego seleccionados se adapten de manera adecuada a las condiciones de suelos y cultivos.

Con relación al aprovechamiento y manejo del recurso hídrico, la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, con la cofinanciación del Programa Nacional de Tecnología Agropecuaria, PRONATTA, del Ministerio de Agricultura, desarrolla el proyecto "Es-

1. Ingeniero agrícola. Asistente de investigación Universidad Nacional de Colombia sede Palmira e-mail: anjosego@hotmail.com  
2. Zootecnista Msc. Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. e-mail: mramirez@palmira.unal.edu.co  
3. Ingeniero Agrícola. Profesor asociado Universidad Nacional de Colombia sede Palmira e-mail: htafurh@latinmail.com

tablecimiento de Sistemas Productivos Basados en Frutales Andinos y el Manejo Racional del Huerto Habitacional en Laderas de la Cuenca del Río Nima”.

Con la situación descrita fue necesario proponer una metodología para el diagnóstico de la disponibilidad hídrica en fincas de pequeños agricultores, con el propósito de establecer sistemas productivos con base en el cultivo de especies como lulo, mora, tomate de árbol, pastos, etc., y asegurar niveles apropiados de producción que no se vieran afectados por la falta de agua durante las épocas secas o por la disminución extrema en los niveles de los caudales que impidiesen el establecimiento y la aplicación de riego.

Con base en las ideas expuestas se planteó la realización del presente estudio con el objetivo general de diagnosticar la disponibilidad de agua para riego en tres fincas representativas de la región, y con los objetivos específicos de localizar y clasificar las fuentes de agua ubicadas en las fincas; de cuantificar la disponibilidad de agua para uso en riego complementario en las fincas y de evaluar su calidad físico-química para el riego.

### METODOLOGÍA

La cuenca media del río Nima se localiza en la vertiente occidental de la cordillera Central (ramificación de la cordillera de los Andes en Colombia), entre los 1.300 y 2.600 m.s.n.m., tiene una extensión de 13.740 ha y comprende los corregimientos de Potrerillo, Tenjo, Calucé y La Quisquina en el municipio de Palmira, Valle del Cauca, localizado a 3° 31'48" de latitud norte y 76° 18'13" de longitud oeste. La temperatura promedio es de 12°C., la precipitación fluctúa entre 1.200 y 1.900 mm anuales, presenta un régimen bimodal: dos épocas húmedas (marzo-mayo y septiembre-noviembre), y dos épocas secas (enero-febrero y junio-agosto) (Narváz, 1985).

Para el estudio se seleccionaron tres fincas representativas de la zona (Cuadro 1).

Se analizó la información pluviométrica de las estaciones meteorológicas Tenjo, Austria y San Emigdio, de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca-CVC, por encontrarse en el área de influencia (Figura 1).



Figura 1. Ubicación de las fincas y estaciones pluviométricas.

Las curvas de frecuencia se calcularon con el fin de conocer la variación de los efectos de lluvia en función del tiempo y la probabilidad de su ocurrencia. Para obtenerlas, se utilizó la metodología descrita por Jiménez (1986), trabajando la información de veinte años (1981-2000), en períodos mensuales.

Las curvas de variación estacional (CVE) se elaboraron con base en las curvas de frecuencia para conocer los períodos de déficit y exceso de agua en una zona. Los valores de probabilidad del 5, 20, 50, 80 y 90% se graficaron para cada estación. A partir de ellas se puede realizar la proyección de la probabilidad de ocurrencia de un evento y con ello dimensionar el sistema de riego y/o drenaje

Utilizando el programa computacional 3D Field © y la información de precipitación disponible, se trazaron las curvas isoyetas para el período elegido.

Para el aforo de corrientes, el método utilizado fue el de volumen y tiempo que consistió en captar una corriente de agua en un recipiente o tanque que sea capaz de retenerla, en un tiempo reducido; el caudal aforado será la relación entre el volumen captado y el tiempo empleado en la captación.

Cuadro 1. Localización de las fincas para el diagnóstico de la disponibilidad hídrica en la cuenca medio del río Nima, eco - región andina de Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Finca	Agricultor	Corregimiento	Altura (m)	Fuentes de agua	Área (ha)
Villa del Carmen	Leonel Giraldo	La Quisquina	1.740	1	2,56
El Porvenir	Horacio Martínez	Calucé	1.420	4	6,6
La Alejandria	Diógenes López	Tenjo	1.510	2	64

• Caudal = volumen captado / tiempo de captación empleado. (1)

Se recurrió a métodos indirectos para determinar la evaporación, mediante la relación de la temperatura media anual del aire con la altitud para la cordillera Central de Colombia en la vertiente occidental (Flórez, 1986):

$$t = -0.0067(h) + 30.63 \quad (2)$$

Donde  $t$  es la temperatura media del aire y  $h$  la altura sobre el nivel del mar.

La temperatura así definida se reemplazó en la fórmula de Holdridge (Holdridge, 1978), donde evapotranspiración potencial se define como:

$$E_p = 58.93 * t(\text{bio}); \text{ donde} \quad (3)$$

$E_p$ : evapotranspiración potencial anual (mm)

$t(\text{bio})$ : biotemperatura promedia.

La biotemperatura es definida como la temperatura a la cual tiene lugar el crecimiento vegetativo y se ubica entre 0°C y 30°C.

La única información de evaporación confiable en la zona fue la de la estación San Emigdio; se obtuvo para ésta el porcentaje de evaporación para cada mes; estos valores se compararon con otras estaciones climatológicas localizadas en la cordillera Central, vertiente occidental, y a alturas similares (Bastidas, 1996).

Las estaciones comparadas fueron el acueducto del río Tuluá, la estación Magdalena en la subcuenca del río Guadalajara y la estación Tenerife; se observó comportamiento similar en cuanto a los porcentajes evaporados en cada mes del año.

Los valores de evapotranspiración potencial se multiplicaron por el  $K_c$  del cultivo y así se obtuvo la evapotranspiración real. En este caso, y por presentarse varios cultivos en diferentes etapas de desarrollo, el valor de  $K_c$  se tomó como 0.9, para mantener un margen conservacionista

Para determinar las épocas en que se necesita riego se efectuó un balance hídrico. El balance hídrico puede expresarse mediante la ecuación (4) que considera las ganancias de agua en el suelo como precipitación, riego y aportes por capilaridad desde el nivel freático y las pérdidas por el contenido de agua del perfil, debidas a evapotranspiración, escorrentía y percolación profunda (Torres y Yang, 1984).

$$AS = P + LR - ETP - ES \pm U \quad (4)$$

Donde:

AS: Agua almacenada en el suelo (mm);

P: precipitación durante el período;

LR: Lámina de riego;

ETP: evapotranspiración en el período (mm);

ES: escorrentía (mm);

U: Percolación profunda(-) o ascenso capilar (+) (mm).

El concepto de riego suplementario hace que la demanda de riego dependa de las precipitaciones de cada mes. Para garantizar su estimación se efectuó el balance hídrico partiendo de la precipitación mensual con una probabilidad de ocurrencia del 80% calculada a partir de las curvas de variación estacional. Los términos escorrentía y percolación profunda o ascenso capilar se consideran incluidos con esta probabilidad de ocurrencia.

Entre las cualidades físicas de agua para riego se midió el factor temperatura: un agua demasiado fría puede provocar trastornos, sobre todo en plantas jóvenes. La temperatura óptima parece situarse alrededor de los 25°C.

De las cualidades químicas se evaluaron: pH, conductividad eléctrica, sales disueltas como calcio, magnesio, potasio, sodio. Concentraciones superiores a ciertos niveles críticos que dependen del cultivo o de las características fisicoquímicas y mineralógicas de los suelos requieren el diseño y el uso de prácticas de manejo de agua, suelos y cultivos adecuados para cada condición específica (García, 1990).

La relación de adsorción de sodio (RAS) es un índice efectivo del peligro de sodificación de los suelos por agua de riego, en ella se relaciona el  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  por medio de la siguiente fórmula.

$$RAS = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}}{2}}} \quad (5)$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estudio climatológico

El comportamiento de la precipitación fue bimodal en las estaciones Austria, Tenjo y San Emigdio; en la estación Austria el mes de julio fue el de menor precipitación (23mm), seguido por agosto (52 mm) y junio (74mm). De igual manera, en la estación Tenjo julio fue el mes de menor precipitación (43mm), seguido por agosto (45mm) y junio (57mm). Para la estación San Emigdio julio fue el mes de menor precipitación (44 mm), seguido por junio (56mm) y agosto (68 mm). Los meses de mayor precipitación fueron octubre, noviembre y abril, respectivamente, con valores de  $n$  superiores a los 200mm/ mes (Figura 2).

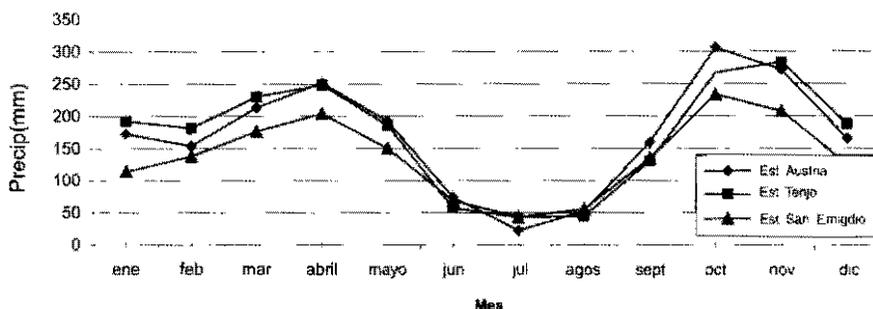


Figura 2. Precipitación mensual multianual para las estaciones Austria, San Emigdio y Tenjo.

En cada estación se observó una distribución bimodal con períodos lluviosos entre marzo-mayo y octubre-noviembre; octubre fue el mes con mayor precipitación en el año (Figura 3).

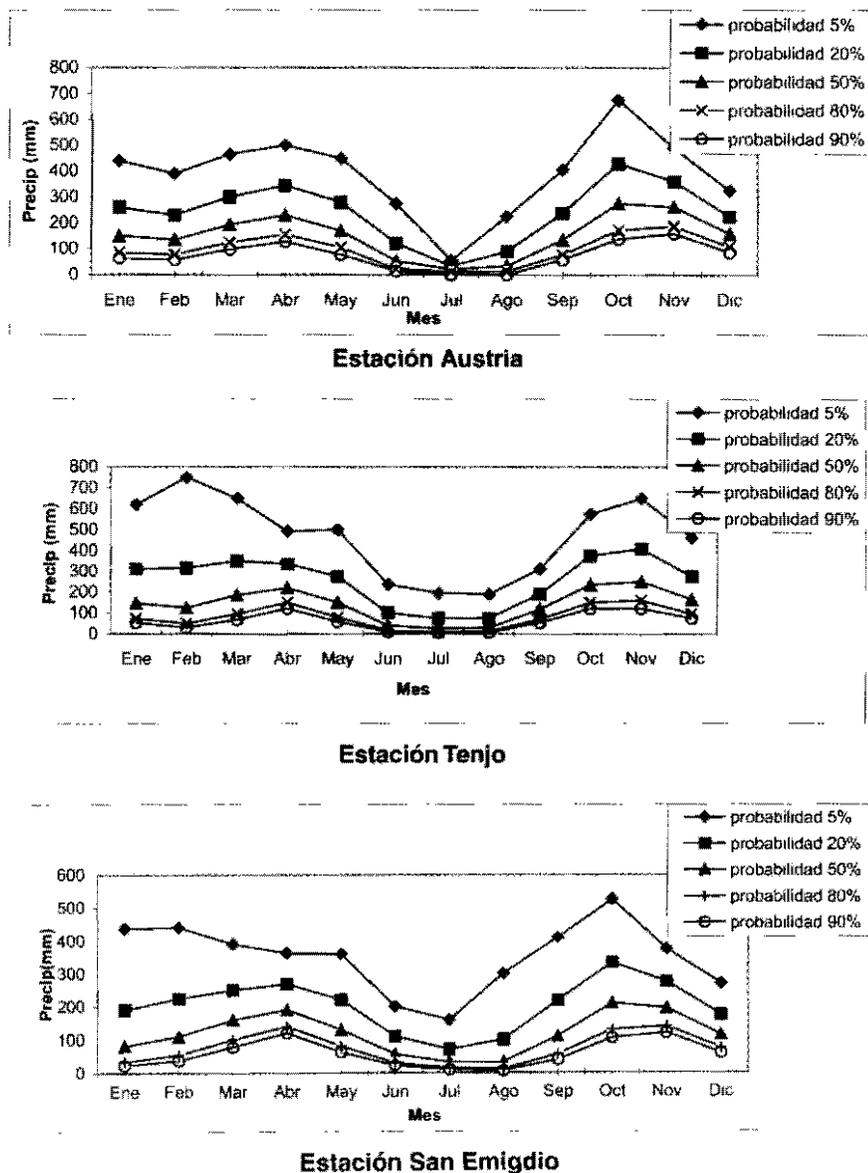


Figura 3. Curvas de variación estacional de la precipitación de las estaciones Austria, Tenjo y San Emigdio.

En la Figura 4 se presentan las curvas isoyetas para los meses de menor precipitación (junio, julio, agosto), con una probabilidad de ocurrencia del 80%.

Los valores de evapotranspiración se determinaron de la siguiente manera:

Ubicación de la finca Villa del Carmen:  $h_1=1740$  m.s.n.m

De la ecuación (2) se tiene:

$$t_1 = -0.0067(h) + 30.63 = 19^\circ\text{C}$$

aplicando ahora la ecuación (3) se halló la evapotranspiración potencial:

$$E_p = 58.93 * t(\text{bio}) = 1118 \text{ mm}$$

El Cuadro 2 resume la evapotranspiración potencial para cada una de las fincas.

Los valores de evapotranspiración potencial anual para cada finca se multiplicaron por los porcentajes correspondientes a cada mes obtenidos de la estación San Emigdio (Cuadro 3).

**Balance hídrico**

El balance hídrico se efectuó en los dos períodos de déficit en donde la evapotranspiración es superior a la precipitación mensual.

Para la finca La Alejandría se presentaron dos períodos de déficit: el primero en enero-marzo (moderado) y el segundo en los meses de junio-agosto (acentuado). La finca Villa del Carmen presentó el primer

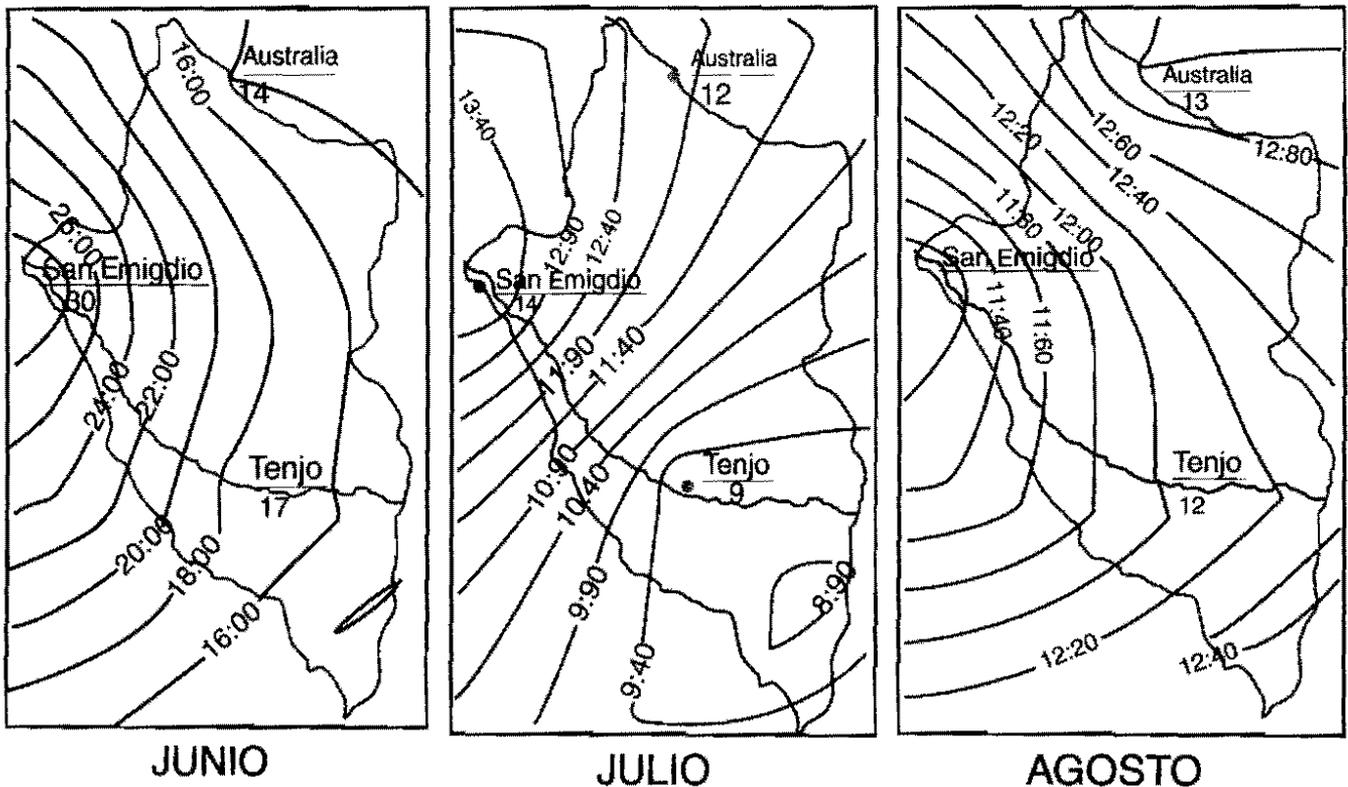


Figura 4. Curvas isoyetas al 80% de probabilidad de ocurrencia en los meses de menor precipitación.

Cuadro 2. Evapotranspiración potencial en las fincas seleccionadas en la cuenca media del río Nima.

Finca	Altura (m.s.n.m.)	Temperatura media anual (°C)	Evapotranspiración potencial anual (mm)
Villa del Carmen	1740	19	1118
El Porvenir	1420	21.1	1245
La Alejandría	1510	20.5	1209

**Cuadro 3. Valor de la evapotranspiración potencial calculada para cada finca de estudio**

Mes de Evtp (*)	Porcentaje Evtp (mm /mes)	Villa del Carmen Evtp (mm /mes)	La Alejandría Evtp (mm /mes)	El Porvenir
Ene	8.9	99.7	107.8	111.0
Feb	8.3	92.6	100.1	103.1
Mar	9.3	103.6	112.0	115.3
Abr	7.8	87.5	94.6	97.4
May	7.5	83.9	90.8	93.4
Jun	7.5	83.8	90.6	93.2
Jul	8.1	91.1	98.5	101.4
Ago	9.2	103.1	111.5	114.8
Sep	8.5	94.5	102.2	105.2
Oct	9.1	102.1	110.4	113.6
Nov	7.8	87.1	94.2	97.0
Dic	8.0	89.1	96.3	99.2
Total	100.0	1118.2	1209.0	1245

(\*) Porcentaje obtenido a partir de la estación San Emigdio.

período de déficit entre enero-febrero y el segundo en junio-agosto (acentuado). La finca El Porvenir presentó el primer período de déficit entre enero-marzo (moderado) y el segundo en junio-septiembre más acentuado.

El balance hídrico de las tres fincas justifica la implementación de riego suplementario para cualquier explotación agrícola (Figura 5).

**Estudio de aguas**

En el Cuadro 4 se muestran los aforos realizados durante la época seca a finales del mes de agosto y comienzos de septiembre.

Las áreas proyectadas para el establecimiento de los respectivos cultivos en cada finca se presentan en el Cuadro 5.

Como el mes de mayor déficit en la zona ocurrió en agosto, se tomó como referencia para estimar el déficit hídrico mensual máximo en términos de volumen (Cuadro 6).

Con el caudal total aforado en cada finca se obtuvo el volumen mensual del que se dispone para ser utilizado en riego; esta información se comparó con el

déficit hídrico máximo (mes de agosto) y de esta forma se determinó si el volumen disponible es suficiente para satisfacer las necesidades del cultivo (Cuadro 7).

**Calidad del agua para cada una de las fuentes**

La temperatura varió entre 18–20°C, valor que no afecta las condiciones de los cultivos de la zona por encontrarse en un rango normal.

El análisis químico mostró condiciones adecuadas de pH que no superó en ninguna de las fincas el rango normal de pH entre 6.5 y 8.4 (García, 1990).

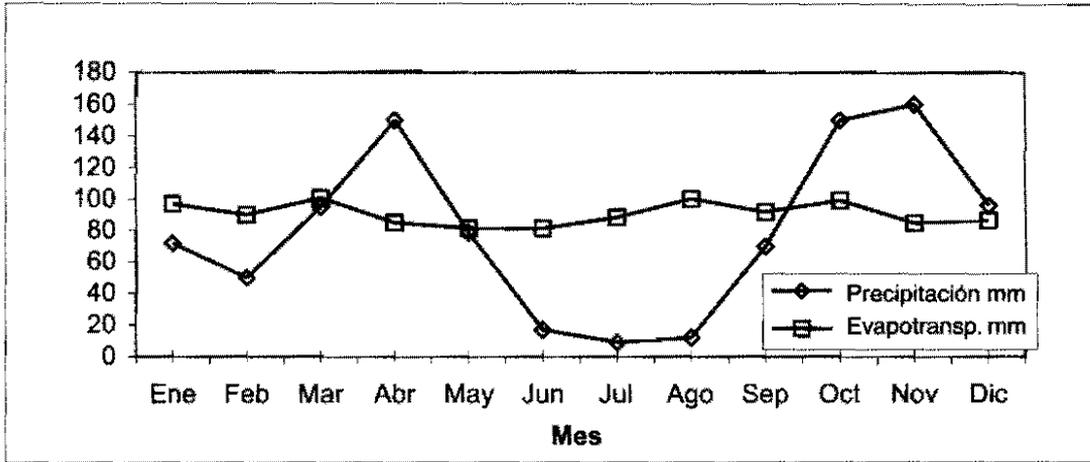
La conductividad eléctrica mostró valores bajos (CE < 0.2 dS/m) en las quebradas Los Naranjos (finca El Porvenir), El Cogollo (finca La Alejandría) y Los Chorros (finca Villa del Carmen); estos valores podrán traer como consecuencia problemas de infiltración, pues tienden a lavar las sales del suelo sin importar cuál sea el valor de la RAS (García, 1990). Las demás fuentes poseen valores bajos pero se encuentran por encima de este valor.

Ninguna de las fuentes posee valores de RAS superiores a 3 me/L (Cuadro 8), estableciendo que no existe restricción en su uso por problemas con sodio según los criterios descritos por Ayers y Wescot (1985).

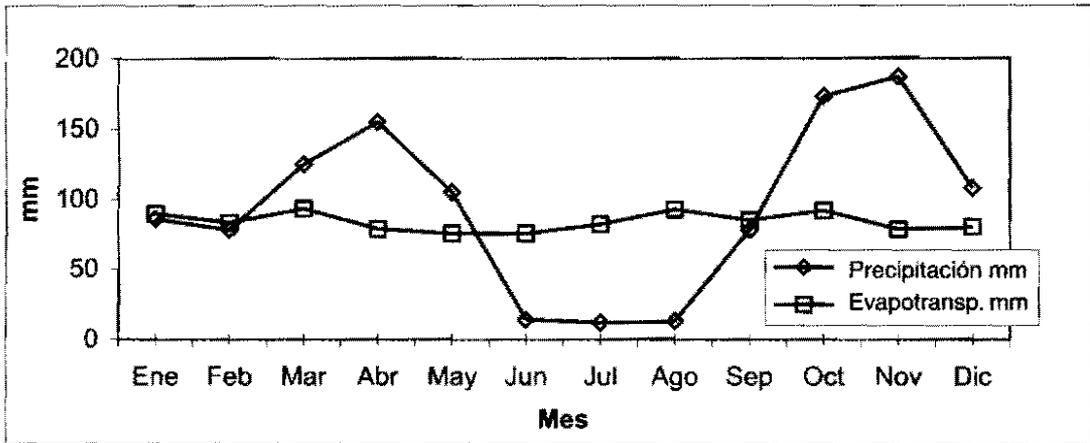
**Cuadro 4. Aforo de los cauces pertenecientes a cada una de las fincas del proyecto.**

Finca	Fuente de agua	Caudal por fuente (L/s)	Caudal total por finca (L/s)
Villa del Carmen (*)	De quebrada conducida por manguera	2.1	2.1
El Porvenir	Quebrada Los Naranjos	2.55	10.82
	Quebrada 2	3.07	
	Quebrada 3	5.2	
La Alejandría	Quebrada La Lagañosa	2.7	7.86
	Quebrada El Cofre	5.16	

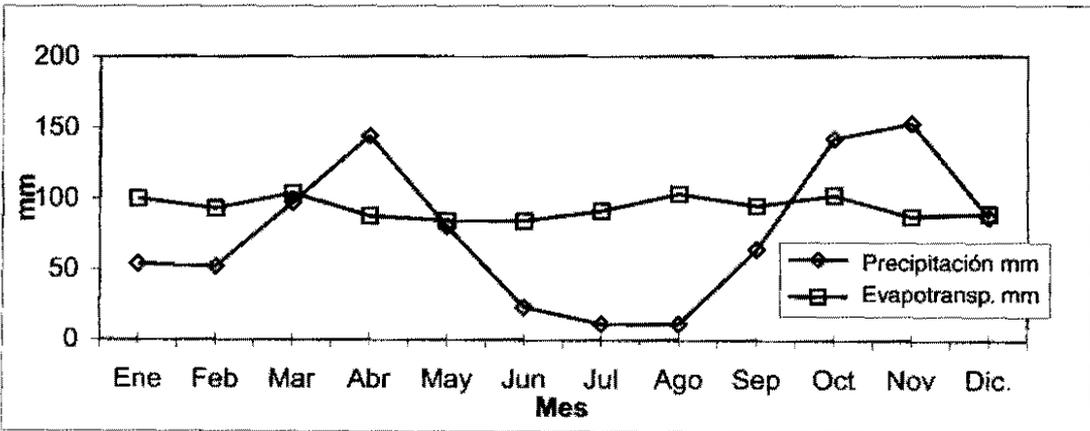
(\*) El caudal de la quebrada es 7.85 L/s



Finca La Alejandría



Finca Villa del Carmen



Finca El Porvenir

Figura 5. Relación de precipitación y evapotranspiración para tres fincas de la cuenca media del río Nima, Palmira, Valle del Cauca.

**Cuadro 5. Áreas de cultivos en cada una de las fincas del proyecto.**

Finca	Cultivo	Área (m <sup>2</sup> )	Área total cultivada (m <sup>2</sup> )
Villa del Carmen	Chachafruto – lulo	1.500	6.000
	Vivero tomates	1.000	
	Mora	1.800	
	Tomate árbol	1.700	
El Porvenir	Papaya	3.000	10.400
	Maíz-frijol	6.400	
	Guayaba lulo	1.000	
La Alejandría	Chachafruto	1.400	5.700
	Café	3.000	
	Huerto	100	
	Papaya	1.200	

**Cuadro 6. Déficit hídrico máximo mensual en las fincas estudiadas.**

Finca	Área cultivada(m <sup>2</sup> )	Déficit hídrico (m)	Máximo déficit hídrico mensual m <sup>3</sup> (mes de agosto)
Villa del Carmen	6.000	0.0798	478.8
El Porvenir	10.400	0.0918	954.7
La Alejandría	5.700	0.0883	503.3

**Cuadro 7. Resumen de déficit pluviométrico vs. Caudal disponible.**

Finca	Máximo déficit hídrico mensual m <sup>3</sup> (mes de agosto)	Volumen mensual disponible* (m <sup>3</sup> )
Villa del Carmen	478.8	1814.4
El Porvenir	954.7	9348.5
La Alejandría	503.3	6791

\* Este volumen es calculado teniendo en cuenta ocho horas diarias de trabajo y treinta días al mes.

**Cuadro 8. Relación de adsorción de sodio (RAS) en cada una de las fuentes de agua.**

Muestra	RAS* (me/L)
Quebrada 1 Los Naranjos (finca El Porvenir)	0.112
Quebrada 2 (finca El Porvenir)	0.117
Quebrada 3 (finca El Porvenir)	0.140
Quebrada La Lagañosa (finca La Alejandría)	0.122
Quebrada El Cogollo (finca La Alejandría)	0.108
Quebrada Los Chorros (finca Villa del Carmen)	0.137

\* Los valores de Na, Ca y Mg fueron transformados en me/L.

### CONCLUSIONES

- La zona de estudio presenta un régimen de lluvias bi-modal, donde el período seco crítico es junio-agosto, el mes más crítico es julio, y octubre–noviembre los más lluviosos.
- La lluvia cae durante julio (mes de menor precipitación durante el año), con una probabilidad del 80% varió entre 9–14mm para toda la zona.
- Del balance hídrico estimado, confirmó que el déficit se presenta en el período junio-agosto y afecta parte de septiembre, y agosto es el más crítico por el aumento en la evapotranspiración. De igual manera se presentaron otras épocas de déficit, como son los meses de enero y febrero, que aunque de menor intensidad requieren riego suplementario para cualquier explotación agrícola.

- Las fincas El Porvenir y La Alejandría poseen cantidad suficiente de agua para ser utilizada como riego suplementario, aun en un régimen de precipitación mínima, siempre y cuando permanezcan las actuales condiciones de cobertura vegetal en las fuentes y no aumente la presión del hombre sobre la cuenca. La finca Villa del Carmen está más restringida en cuanto a su disponibilidad hídrica por poseer una fuente limitada de agua, así como un uso más intensivo, con cultivos y estanques para peces.
- Se obtuvieron valores bajos de conductividad eléctrica en las aguas de las quebradas Los Naranjos, El Cogollo y Los Chorros que podrían afectar la infiltración del agua en el suelo. Las demás fuentes no presentaron limitante para ser utilizadas.
- Es necesario un estudio detallado de las condiciones físicas y químicas del suelo para cada una de las fincas antes de realizar el diseño y establecimiento de un sistema de riego con el fin de hacerlo más eficiente.

### AGRADECIMIENTOS

A los agricultores propietarios de las fincas analizadas, quienes hacen parte de la asociación de productores ASOQUISQUINA, y al proyecto de investigación y transferencia de tecnología "Establecimiento de Sistemas Productivos Basados en Frutales Andinos y el Manejo Racional del Huerto Habitacional para Garantizar la Seguridad Alimentaria de los Habitantes de Ladera de la Cuenca del Río Nima, Palmira, Valle"; MECAVILADERA-6, cofinanciado por el Programa

Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria, PRONATTA, del Ministerio de Agricultura, Desarrollo Rural de Colombia y la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.

### BIBLIOGRAFÍA

- Ayers, R. Wescot, D. 1985. Water quality for agriculture. Irrigation and drainage. Roma: FAO. 175 p. (Paper No. 29).
- Bastidas, M. Rengifo R. 1996. Diagnóstico del recurso hídrico sub-cuenca del río Guadalupe. Trabajo de grado Ing. Agríc. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 150 p.
- Escobar, C. 1996. Guía metodológica para la determinación de la disponibilidad del recurso hídrico en una cuenca hidrográfica. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. p 25.
- Flórez, A. 1986. Relación altitudinal de la temperatura del suelo y del aire en los Andes Centrales de Colombia. *En*: Revista Colombia Geográfica. Vol. 12. No. 2. 18 p.
- García, A. 1990. Parámetros para la evaluación de la calidad de aguas para riego. *En*: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. 3a. ed. 323 p.
- Holdridge, L. 1978. Ecología basada en zonas de vida, San José. Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). 216 p
- Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. 1986. Manual de riego y drenaje. Bogotá, 15 p.
- Jiménez, H. 1986. Hidrológica básica I. 2a ed. Cali: Universidad del Valle. p 175-237.
- Montealegre, F. 1998. Curso básico de meteorología y climatología. 2a. ed. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, pp. 105-111.
- Narváez, L. 1985. Diseño, instalación y evaluación de un sistema de riego por goteo en zona de ladera. Cali. CVC. p 45.
- Torres, J. Yang, S. 1984. El balance hídrico y programación de los riegos de la caña de azúcar en el Valle del Cauca. Cenicafé. 28 p. (Serie técnica No 3.).
- 3D FIELD. [www.field.hypermart.net/](http://www.field.hypermart.net/)