

# EFFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL MUERTA Y ARBÓREA SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL SUELO EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ

Fernando Farfán-Valencia\*; Álvaro Jaramillo-Robledo\*\*

---

**FARFÁN V., F.; JARAMILLO R., A. Efecto de la cobertura vegetal muerta y arbórea sobre la disponibilidad de agua en el suelo en sistemas agroforestales con café. Cenicafé 59(1):39-54.2008**

## RESUMEN

En las Subestaciones Experimentales de Pueblo Bello (Cesar) y El Tambo (Cauca), zonas cafeteras situadas al Norte y Sur de Colombia, se evaluó durante tres años el efecto de los árboles como sombrío del cafetal y de la cobertura vegetal muerta, sobre la disponibilidad de agua en suelo. Los árboles se establecieron a 9,0 m x 9,0 m (123 árboles/ha) y el café a 1,5 m x 1,5 m (4.500 plantas/ha); como cobertura vegetal muerta se empleó *Crotalaria juncea*. Se realizaron comparaciones de la humedad volumétrica registrada entre tratamientos, en cada localidad. De los análisis de varianza y las pruebas de comparación (Tukey 5%) de la información registrada en los primeros 20 cm de profundidad del suelo, se pudo inferir que al comparar la disponibilidad de agua en el suelo para cada uno de los tratamientos, en todo el período de evaluaciones, se encontró que en Pueblo Bello las deficiencias hídricas se presentaron cuando se establecen cafetales bajo sombrío de *Erythrina fusca* y se cubre el suelo con cobertura vegetal muerta. En El Tambo no hubo problemas por falta de agua en el suelo, si se cultiva el café a libre exposición solar o bajo sombrío y si se aplica o no cobertura vegetal muerta.

**Palabras clave:** *Coffea arabica*, *Inga* spp., *Erythrina* spp., *Crotalaria* spp., sombrío, humedad del suelo.

---

## ABSTRACT

In the Experimental Substations of Pueblo Bello (Cesar) and El Tambo (Cauca), coffee zones located in the North and South of Colombia, the effect of trees as coffee shades and the effect of dead plant coverage on water availability in the soil were evaluated during three years. The trees were established at a distance of 9.0 m x 9.0 m (123 trees/ha) and the coffee plants at 1.5 m x 1.5 m (4,500 plants/ha); *Crotalaria juncea* was used as dead plant coverage. The volumetric humidity comparisons registered among treatments were carried out in each locality. From the variance analyses and the comparison tests (Tukey 5%) of the information registered in the first 20 cm of depth in the soil, it was possible to infer that, when comparing water availability in the soil for each of the treatments in all the evaluations period, the hydric deficiencies in Pueblo Bello happened when coffee plants are established under *Erythrina fusca* shade and the soil is covered with dead plants. In El Tambo there were not problems due to the lack of water in the soil, whether the coffee is grown in free sun exposure or under shades and whether or not dead plant coverage is used.

**Palabras clave:** *Coffea arabica*, *Inga* spp., *Erythrina* spp., *Crotalaria* spp., shade, soil humidity.

---

\* Asistente de investigación. Fitotecnia. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

\*\* Investigador Científico III. Agroclimatología. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

Los patrones del tiempo de la región andina de Colombia dependen de la influencia de los vientos Alisios, que ingresan por el océano Atlántico, así como las masas de aire procedentes del océano Pacífico y de los aportes de humedad de la cuenca amazónica. En general, la región Norte (mayor de 7° de latitud Norte) presenta una estación seca pronunciada, de diciembre a marzo/abril, y una estación lluviosa de mayo a noviembre, con una ligera disminución de lluvia en julio, como ocurre en Pueblo Bello (Cesar). La región Sur (inferior a 3° latitud Norte) presenta una estación seca muy acentuada desde mediados de junio hasta mediados de septiembre, con una estación lluviosa de octubre a junio, tal es el caso de El Tambo (Cauca) (21).

Para minimizar los efectos que los períodos secos prolongados causan al cultivo del café, la caficultura en estas regiones se establece bajo árboles de sombra, con el propósito de conservar la humedad del suelo y moderar las temperaturas extremas. En el país no se tienen datos experimentales que indiquen el efecto del sombrío sobre la disponibilidad de agua en suelo; pero de acuerdo con Bull (4), Cassol *et al.* (7), Jones *et al.* (22), Rodríguez (32) y Sylvain (38), la cobertura vegetal producida por los árboles de sombra y el *mulch* aplicado a la superficie del suelo pueden tener un efecto conservador de la humedad, ya que indirectamente disminuyen el viento y la temperatura de la capa superficial del suelo, lo que da como resultado una menor evaporación, además de los aportes de materia orgánica por la hojarasca. En las comunidades arbóreas el número de especies y la cantidad de biomasa producida por las plantas es un determinante de las características del ecosistema y estos dos factores dependen en un alto grado de la cantidad y la distribución

espacial de la humedad del suelo disponible para las plantas (3).

Los árboles de sombra también consumen agua por transpiración y por lo tanto, pueden competir con la disponibilidad de agua para el café. Al establecer una relación entre los resultados de los trabajos de Franco (14) y Franco e Inforzato (15), en Brasil, se encuentra que la transpiración de una planta de *Inga spp.* es equivalente a la transpiración de diez plantas de café. Según Erenstein (13), Gutiérrez (18) y Sylvain (38), puede aumentarse la disponibilidad de agua en el suelo con el *mulch* y con las prácticas de conservación del suelo, que disminuyen la velocidad y la energía del agua de escorrentía, y aumentan la infiltración.

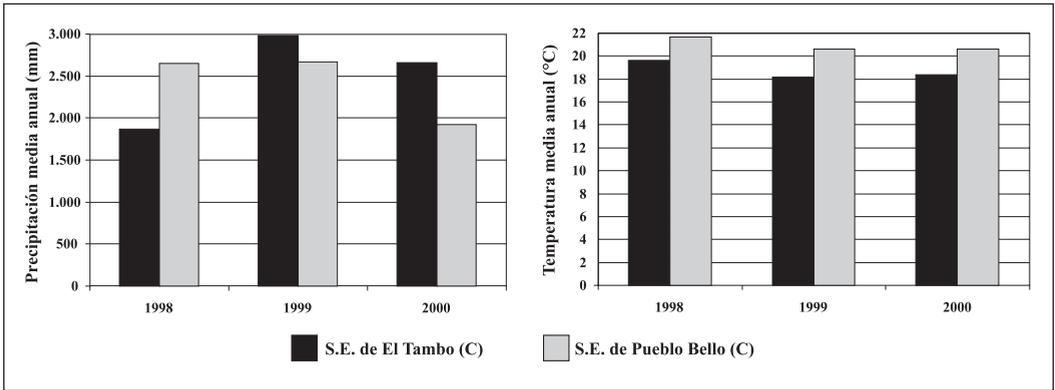
El presente estudio se realizó con el propósito de evaluar el efecto que sobre la disponibilidad de agua en el suelo tendrían los árboles de sombrío del cafetal y la cobertura vegetal muerta (*mulch*) en dos regiones cafeteras de Colombia, en las cuales se presentan períodos secos prolongados; y así contribuir al mejoramiento de las condiciones de producción del café en muchas áreas de la zona cafetera colombiana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Descripción del sitio de estudio.** El experimento se llevó a cabo en las Subestaciones Experimentales de Cenicafé localizadas en Pueblo Bello (Pueblo Bello, Cesar) y en El Tambo (El Tambo, Cauca). Las características climáticas (8) y de suelos (28, 36), se presentan en la Tabla 1. La precipitación y temperatura en las dos localidades y durante los años de ejecución del estudio (1998, 1999 y 2000) se presentan en la Figura 1.

**Tabla 1.** Características climáticas y de suelos de las Subestaciones Experimentales de Pueblo Bello (Cesar) y El Tambo (Cauca).

<b>Características</b>	<b>Pueblo Bello</b>	<b>El Tambo</b>
<b>Localización Geográfica</b>		
Latitud Norte	10°25'	02° 24'
Longitud Oeste	73°34'	76° 44'
Altitud (m)	1.134	1.735
<b>Características climáticas</b>		
Temperatura media anual (°C)	20,7	18,1
Precipitación anual (mm)	2.033	2.009
Evaporación anual (mm)	1.271	1.127
Brillo solar (horas)	2.147	1.675
<b>Características de suelos</b>		
pH	5,1	5,3
Materia Orgánica (%)	7,1	22,8
Nitrógeno (%)	0,29	0,75
Fósforo (mg. kg <sup>-1</sup> )	2,0	2,0
Potasio (cmol <sub>(+)</sub> . kg <sup>-1</sup> )	1,2	0,17
Calcio (cmol <sub>(+)</sub> . kg <sup>-1</sup> )	7,0	1,6
Magnesio (cmol <sub>(+)</sub> . kg <sup>-1</sup> )	2,1	0,4
Ecotopo	402	218A
Unidad cartográfica	Asociación Palmor	Unidad Timbio
Grupo taxonómico	Dystropepts	Typic Melanudands
Material parental	Diabasa	Cenizas volcánicas
Espesor del horizonte A (cm)	> 18	> 30
Estructura	Bloques subangulares	Bloques subangulares finos
Textura	Arcillosa-franco y arcillo-arenosa	Franco-limosa
Drenaje natural	Moderadamente bien drenado	Bien drenado
Pedregocidad interna (%)	< 15	-
Pedregocidad superficial (%)	80	-
Profundidad efectiva (cm)	50 - 100	> 150
Densidad aparente a 20 cm (g. cm <sup>-3</sup> )	1,04	0,54
Densidad aparente a 40 cm (g. cm <sup>-3</sup> )	1,34	0,49



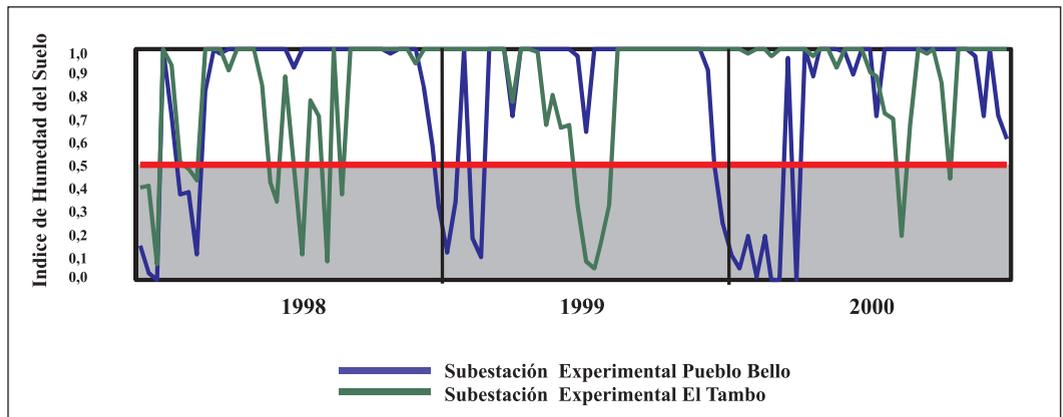
**Figura 1.** Valores anuales de precipitación y temperatura para El Tambo (Cauca) y Pueblo Bello (Cesar), en los años 1998, 1999 y 2000.

El Índice de Humedad del Suelo (IHS) para Pueblo Bello y El Tambo se presenta en la Figura 2. El IHS muestra la dinámica de la humedad del suelo de una región y se obtiene dividiendo la evapotranspiración real entre la evapotranspiración potencial, cantidades que se estiman de la contabilidad de entradas y salidas del balance hídrico (5, 11).

Históricamente, la región norte de la zona cafetera colombiana (latitudes mayores a 7° Norte), presenta un período seco pronunciado de diciembre a abril y un período lluvioso de

mayo a noviembre, con una ligera disminución en julio (21), este patrón de distribución de lluvias se presentó en Pueblo Bello (Figura 2). Para el período del estudio la deficiencia hídrica acumulada fue de 216 mm entre los meses de diciembre a abril. Las deficiencias hídricas se observaron entre los meses de enero a marzo de 1998, enero a marzo de 1999 y entre diciembre de 1999 a marzo de 2000, la cual se registró como la deficiencia hídrica más prolongada.

La región sur (latitudes menores de 3° Norte) presenta una marcada estación seca desde mediados de junio hasta mediados



**Figura 2.** Índice de humedad del suelo para la Subestaciones Experimentales Pueblo Bello (Cesar) y El Tambo (Cauca), el área sombreada indica deficiencia hídrica.

de septiembre y una estación lluviosa de octubre a junio; la distribución de la cantidad de lluvia en esta región se registra así: 40% en el primer semestre y 60% en el segundo semestre del año (21); este patrón de distribución de lluvias se presentó en El Tambo (Figura 2). La deficiencia hídrica acumulada fue de 77 mm de junio y septiembre (19, 21). Los años de estudio, 1998 a 2000, se caracterizaron por un marcado período seco entre julio y septiembre; en 1998 se registraron deficiencias hídricas a comienzos del año debido a la ocurrencia de el Fenómeno de El Niño 1997/98.

**Componentes del sistema agroforestal.** El componente principal de los sistemas fue café, *Coffea arabica* L. c.v. Colombia. En Pueblo Bello se utilizaron como componentes arbóreos las especies leguminosas *Inga edulis*. Mart. (guamo santafereño) y *Erythrina fusca*. Lour (cámbulo); en El Tambo se empleó la misma especie de *Inga* y *Erythrina poeppigiana* (Walp.) O. F. Cook (pisamo).

**Tratamientos y diseño experimental.** Los tratamientos fueron parcelas de café bajo tres niveles de sombra (factor A) y dos de cobertura muerta o *mulch* (factor B)

(Tabla 2). Se empleó un diseño de bloques completos al azar, con arreglo de tratamientos en parcelas divididas y cuatro repeticiones, con el factor A (la exposición solar) como las parcelas principales y el factor B (aplicación de *mulch*) como las subparcelas.

**Unidad experimental.** La unidad experimental constó de 49 árboles de café establecido a 1,5 m x 1,5 m (4.500 plantas/ha) y 15 árboles de sombrío plantados a 9,0 m x 9,0 m (123 plantas/ha), para aquellas parcelas con este tratamiento. El tamaño de las parcelas al sol y la sombra fue de 380,3 m<sup>2</sup>, cada una; entre cada una de las parcelas al sol y la sombra, se dejaron espacios de 9,0 m, con el fin de evitar la proyección de la sombra sobre las parcelas al sol, y evitar la interferencia en el desarrollo de las especies de sombrío. El área experimental fue de 1,4 hectáreas.

**Cobertura vegetal.** Como cobertura muerta se empleó la biomasa producida por un cultivo de *Crotalaria juncea*, el cual se estableció en las áreas de separación entre las parcelas del campo experimental, en un área de 4.500 m<sup>2</sup>, con la cual se aseguró la aplicación de la cobertura al cafetal, cada cuatro meses. Este cultivo se sembró por semilla, ocho días

<b>Factor A:</b>	A <sub>0</sub> : Café sin sombrío A <sub>1</sub> : Café con sombrío de <i>Inga</i> spp.	<b>Factor B:</b>	B <sub>0</sub> : Tratamiento sin <i>mulch</i> B <sub>1</sub> : Tratamiento con <i>mulch</i>
------------------	--	------------------	--

**Tabla 2.** Descripción de los tratamientos.

Tratamientos	Descripción
1 A <sub>0</sub> B <sub>0</sub>	Suelo con café sin sombrío y sin <i>mulch</i>
2 A <sub>0</sub> B <sub>1</sub>	Suelo con café sin sombrío y con <i>mulch</i>
3 A <sub>1</sub> B <sub>0</sub>	Suelo con café, con sombrío de <i>Inga</i> spp. y sin <i>mulch</i>
4 A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	Suelo con café, con sombrío de <i>Inga</i> spp. y con <i>mulch</i>
5 A <sub>2</sub> B <sub>0</sub>	Suelo con café, con sombrío de <i>Erythrina</i> spp. y sin <i>mulch</i>
6 A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	Suelo con café, con sombrío de <i>Erythrina</i> spp. y con <i>mulch</i>

después de trasplantado el café. La distancia de siembra fue de 50 cm entre surcos, con 20 plantas por metro lineal aproximadamente (400.000 plantas/ha).

En las parcelas bajo sombrío, a las que no se les aplicó *mulch*, se recolectó quincenalmente todo el material vegetal desprendido de los árboles, para evitar que se formara una cobertura vegetal. El material vegetal retirado se depositó en las parcelas con tratamientos de cobertura vegetal o *mulch*.

**Control de arvenses.** Se realizó con la suficiente frecuencia para mantener el cultivo libre de la competencia de las arvenses.

**Cuantificación y registro de la humedad del suelo.** El agua disponible para las plantas se refiere al nivel de humedad del suelo comprendido entre los porcentajes de las humedades a capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP); la CC corresponde al contenido de humedad de un suelo después que el agua drene libremente por los poros grandes del suelo, y PMP es el contenido mínimo de agua del suelo, en el cual las plantas la pueden extraer. La humedad en el suelo depende de sus propiedades físicas e hidráulicas y de la dinámica hidrológica del sitio (24).

Para cuantificar la humedad del suelo se utilizó el método de Bouyoucos o de bloques de resistencia eléctrica, con sensores tipo *Soil Block, Model A-71* (26). El sensor consiste en un bloque de yeso que contiene dos electrodos, localizados en el interior del material poroso. Los electrodos van unidos a cables eléctricos, los cuales se entierran en el suelo a diferentes profundidades. El principio de su funcionamiento se basa en la resistencia eléctrica, a mayor humedad en el suelo menor resistencia eléctrica, por ejemplo, un suelo saturado tiene una

resistencia que varía entre 440 y 450 ohm, para la humedad a la capacidad de campo es de 650 ohmios y para el punto de marchitez permanente está próximo 25.000 ohmios (9). Para registrar y almacenar la información de humedad de suelo se empleó un medidor de corriente alterna *Digital Soil Moisture Meter, Model A-75*; los registros se expresaron en porcentaje de agua en el suelo.

**Instalación de los bloques de resistencia eléctrica.** Los bloques de resistencia se instalaron en cada localidad y en cada unidad experimental a dos profundidades del suelo (20 y 40 cm) y a una distancia de 2,25 y 3,75 m del árbol de sombrío (Figura 3), cuando los árboles tenían 3,5 años. Por localidad se instalaron 48 bloques, para un total de 96 bloques. Las medidas de humedad se realizaron cada diez días, desde enero de 1998 hasta diciembre de 2000.

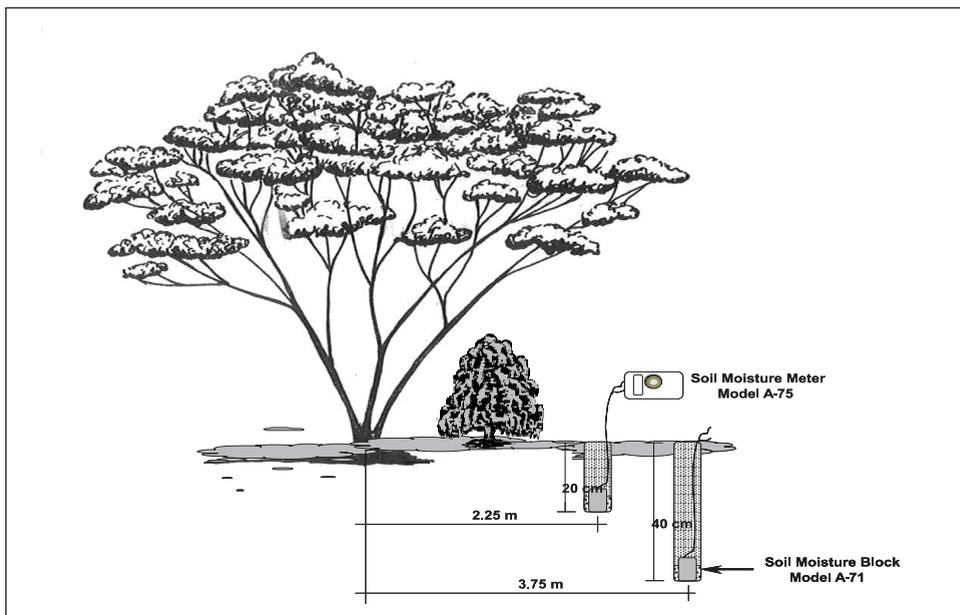
**Variables evaluadas**

**Humedad gravimétrica.** Los registros obtenidos en el campo con el Digital Soil Moisture Meter (como porcentaje de humedad de 0 a 100%), se transformaron a humedad gravimétrica (H) (%), aplicando las siguientes funciones:

<b>Pueblo Bello (Cesar)</b>	<b>H(%)=23,4 + 0,15 lectura</b>
<b>El Tambo (Cauca)</b>	<b>H(%)=29,5 + 0,14 lectura</b>

Las expresiones se estimaron a partir de los gráficos de calibración registrados con el equipo Soil Moisture Meter, Model A-71 (12).

**Humedad volumétrica del suelo.** La humedad volumétrica ( $\theta$ ) (mm), se estimó mediante la siguiente función:



**Figura 3.** Sistema de instalación de los bloques (horizontal y vertical), en cada una de las parcelas de evaluación.

$$\theta \text{ (mm)} = \frac{H(\%) \times \text{densidad aparente} \times \text{profundidad}}{10}$$

Los registros de  $\theta$ , se obtuvieron del promedio de diez días, de los datos recopilados en el período 1998 al 2000, los cuales se llevaron a gráficos para interpretar la dinámica de la humedad en el suelo para cada uno de los tratamientos. Posteriormente, la  $\theta$  se correlacionó, mediante modelos lineales, con el IHS (cada 10 días) para el mismo período, con el fin de determinar el intercepto o volumen de agua crítico (mm) en el suelo cuando el IHS fuera 0,5 (como límite inferior para café).

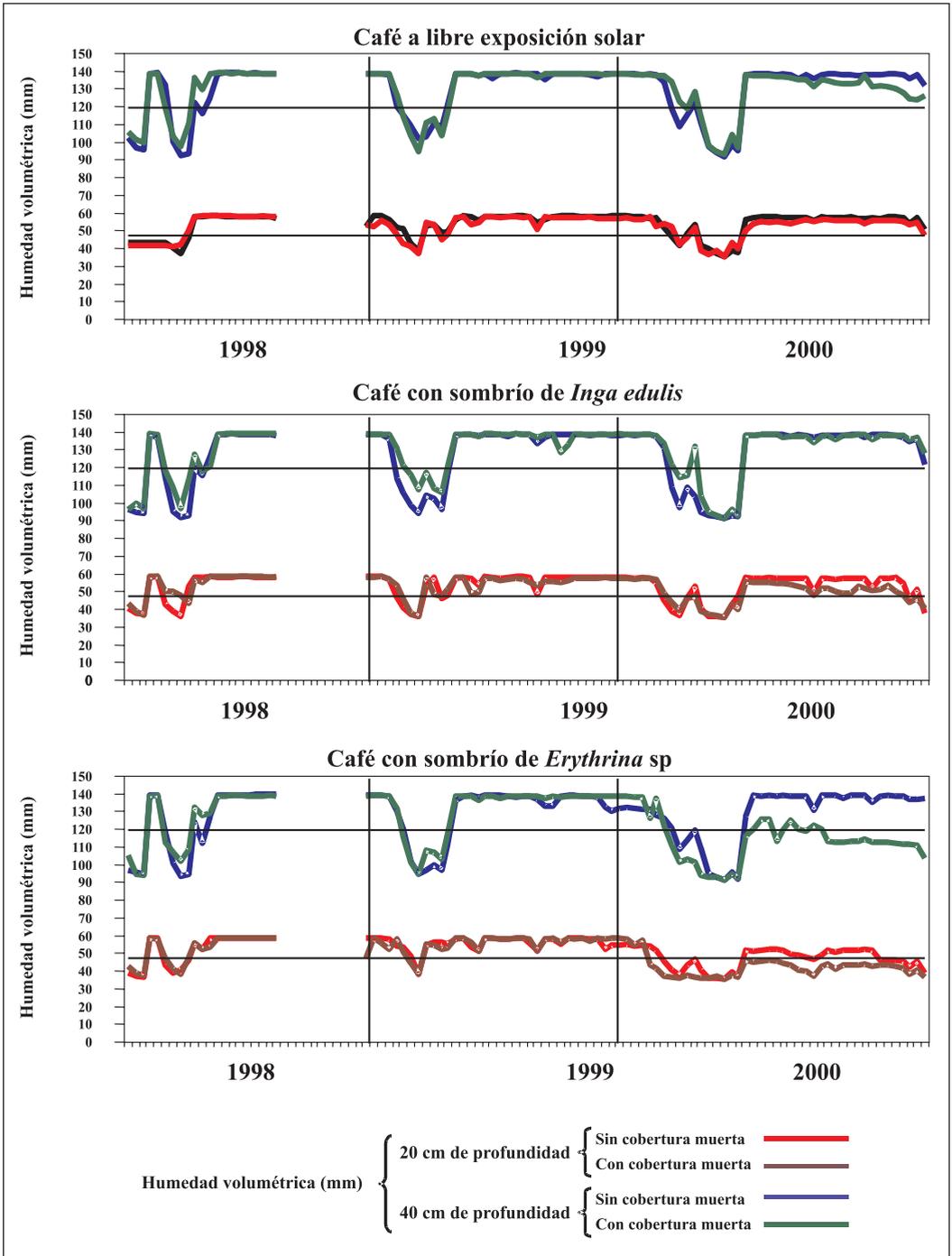
**Análisis de la información.** Con la variable humedad se realizó el análisis de varianza. Se realizaron pruebas Duncan al 5% de confiabilidad, para la comparación de medias entre los tratamientos, y pruebas Tukey al 5% para la comparación de medias generales.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Humedad volumétrica ( $\theta$ ) a 20 cm de profundidad del suelo.** Los registros de cada una de las décadas de la dinámica de la humedad del suelo y los niveles críticos de humedad a 20 cm de profundidad, en las dos localidades, se presentan en las Figuras 4 y 5 y en las Tablas 3 y 4, respectivamente. De acuerdo con los IHS, se estableció como nivel crítico un volumen de agua entre 45,4 y 49,8 mm para Pueblo Bello y entre 75,7 y 77,1 mm para El Tambo, es decir, que registros de humedad por debajo de estos valores indican deficiencias hídricas en los diferentes tratamientos.

De los análisis realizados a los registros de 1998 se obtuvo que, en Pueblo Bello en los suelos cultivados con café a libre exposición, sin cobertura y con cobertura vegetal muerta, se presentaron deficiencias





**Figura 5.** Humedad volumétrica (mm) registrada cada diez días, a 20 y 40 cm de profundidad del suelo, durante 1998, 1999 y 2000, en la Subestación Experimental El Tambo.

**Tabla 3.** Volumen crítico y deficiencias hídricas estimadas a una profundidad del suelo de 20 y 40 cm, en la Subestación Experimental Pueblo Bello.

Trat.	Ecuaciones	r	Volumen crítico (mm)	Deficiencia hídrica acumulada mm/meses					
				1998		1999		2000	
<b>20 cm de profundidad en el suelo</b>									
1	Vc = 14,0IHS + 42,8	0,72	49,84	64,9	Enero-abril	18,4	Enero	77,1	Enero-abril
2	Vc = 13,7 IHS + 42,0	0,73	48,82	57,2	Enero-marzo	31,3	Enero-marzo	67,5	Enero-abril
3	Vc = 17,8 IHS + 39,3	0,80	48,15	55,6	Enero-marzo	31,4	Enero-feb.	70,9	Enero-abril
4	Vc = 13,8 IHS + 41,3	0,72	48,19	25,3	Enero	24,6	Enero	73,6	Enero-abril
5	Vc = 13,4 IHS + 40,9	0,65	47,62	51,1	Enero-marzo			84,4 21,9	Enero-abril; octubre-dic.
6	Vc = 13,3 IHS + 38,8	0,54	45,44	27,9	Enero-marzo	7,7	Enero-marzo	171,2	Enero-dic.
<b>40 cm de profundidad en el suelo</b>									
1	Vc = 30,9 IHS + 105,3	0,71	120,74	145,9	Enero-marzo	75,4	Enero-feb.	152,8	Enero-abril
2	Vc = 27,6 IHS + 108,0	0,70	121,73	113,9	Enero-marzo	93,1	Enero-marzo	124,8	Febrero-abril
3	Vc = 39,8 IHS + 96,4	0,79	116,26	130,9	Enero-abril	96,5	Enero-marzo	187,4	Enero-abril
4	Vc = 30,1 IHS + 106,4	0,73	121,40	117,1	Enero-abril	51,9	Enero-marzo	158,4	Enero-abril
5	Vc = 33,5 IHS + 101,9	0,72	121,63	163,2	Enero-abril	128,6	Enero-marzo	177,5	Enero-abril
6	Vc = 30,4 IHS + 99,3	0,66	114,51	76,1	Enero-marzo	58,3	Enero-marzo	168,8 34,0	Enero-abril; agosto-dic.

Vc: volumen crítico, (mm); IHS: Índice de Humedad del Suelo

hídricas en el período enero a abril, de 64,9 y 57,2 mm, respectivamente; en cafetales y sombrío de *Inga edulis* se registraron deficiencias hídricas de 55,6 mm en el período enero-marzo sin aplicación de *mulch*, y de 25,0 mm en enero cuando se aplicó el *mulch*. En los suelos cultivados con café y *E. fusca* sin y con cobertura vegetal muerta, se presentaron deficiencias hídricas en el período enero a marzo, con valores de 51,1 y 27,9 mm, respectivamente. De acuerdo con Bohlman *et al.*(2), el *mulch* producido por los árboles, en bosques tropicales, tiene un efecto conservador de la humedad, debido a

que en estos sistemas los suelos forestales son húmedos (70% de humedad) en las épocas lluviosas y esta humedad sólo se reduce en un 19% durante las épocas secas. No obstante, González *et al.*(17), observaron que el *mulch* provoca una disminución entre el 5,0% y 10,0% de la evaporación anual asociada a un aumento de la transpiración, lo cual es responsable de una humedad superficial más alta en el suelo.

En El Tambo las deficiencias hídricas fluctuaron entre 13,3 y 42,6 mm, y siempre se presentaron entre junio y septiembre.

**Tabla 4.** Volumen crítico y deficiencias hídricas calculadas a una profundidad del suelo de 20 y 40 cm, en la Subestación Experimental El Tambo.

Trat.	Ecuaciones	r	Volumen crítico (mm)	Deficiencia hídrica acumulada mm/meses				
				1998		1999		2000
<b>20 cm de profundidad en el suelo</b>								
1	Vc = 11,1 IHS + 70,2	0,61	75,77	30,8*	Enero-marzo	47,2	julio-sept.	0,0
2	Vc = 9,3 IHS + 72,3	0,56	76,96	38,7	Enero-marzo	50,9	julio-sept.	0,0
3	Vc = 8,3 IHS + 73,5	0,55	77,66	24,6	Enero-marzo	51,3	julio-sept.	0,0
4	Vc = 9,5 IHS + 72,4	0,60	77,07	13,3	Enero-marzo	60,5	julio-sept.	0,0
5	Vc = 10,3 IHS + 71,2	0,54	76,29	42,6	Enero-marzo	55,4	julio-sept.	0,0
6	Vc = 10,4 IHS + 71,3	0,59	76,44	39,0	Enero-marzo	50,1	Julio-sept.	0,0
<b>40 cm de profundidad en el suelo</b>								
1	Vc = 15,48 IHS + 147,49	0,51	155,23	91,2 47,3	Enero-marzo; julio-sept.	61,0	julio-sept.	0,0
2	Vc = 13,53 IHS + 149,69	0,46	156,46	37,5 56,5	Enero-marzo; julio-sept.	96,9	julio-sept.	0,0
3	Vc = 10,10 IHS + 149,01	0,32	154,06	74,1 56,6	Enero-marzo; julio-sept.	70,8	julio-sept.	-14,7 ag-no
4	Vc = 11,91 IHS + 148,23	0,38	154,19	50,3 21,9	Enero-marzo; julio-sept.	101,5	julio-sept.	-12,7 ag-no
5	Vc = 17,73 IHS + 144,67	0,48	153,54	95,6 40,6	Enero-marzo; julio-sept.	110,0	julio-sept.	0,0
6	Vc = 15,05 IHS + 146,67	0,40	154,20	75,0 91,7	Enero-marzo; julio-sept.	111,9	Julio-sept.	0,0

\* Las deficiencias hídricas acumuladas se estimaron con base a los registros de las décadas de humedad, y no con el promedio de la humedad volumétrica mensual

Vc: volumen crítico (mm); IHS: Índice de Humedad del Suelo.

Livesley *et al.* (25), indican que el contenido de agua del suelo depende básicamente de la distancia de siembra y especie de árbol; es así como en sistemas agroforestales con cultivos de *Sorghum bicolor* e *Hibiscus sabdariffa* en rotación, con el componente arbóreo de *Acacia senegal* (266 a 433 árboles/ha), Gaafar *et al.* (16) observaron que esta asociación afecta negativamente la disponibilidad de agua en el suelo y recomiendan para estos sistemas de cultivo una baja densidad de árboles.

En plantaciones de *Cocus nucifera* intercalados con *Calliandra calothyrsus*,

*Leucaena leucocephala*, *Acacia auriculiformis* y *Gliricidia sepium*, Vidhana y Liyanage (41), observaron que el contenido de agua es mayor en las asociaciones *Cocus*/leguminosas comparado con el monocultivo, y Tilander y Bonzi (39) encontraron que al aplicar hojas de neem, hojas de neem + compost vegetal y *Acacia holocericca*, se conservaba sustancialmente la humedad y se reducía la temperatura del suelo en cultivos de *Sorghum bicolor*.

Para Pueblo Bello, en 1999, al establecer el mismo nivel crítico de agua, entre 45,4 a 49,8 mm, se encontró que en los suelos

con cafetales a libre exposición solar y sin cobertura vegetal muerta se presentó una deficiencia hídrica de 18,4 mm en enero y de 31,3 mm en el período enero-marzo. En los suelos con café y sombrío de *I. edulis* hubo una deficiencia hídrica de 31,4 mm en el período enero-febrero, sin aplicación de *mulch*, y de 24,6 mm en el mes de enero, cuando se aplicó el *mulch*. En el suelo cultivado con café y *E. fusca* y sin cobertura vegetal muerta no se registró deficiencia hídrica, mientras que en suelos con cobertura vegetal muerta, se presentó una deficiencia hídrica de 7,7 mm en el período enero-marzo. Sharma *et al.* (35), en estudios sobre aplicación de cobertura vegetal de *L. leucocephala* en trigo (*Triticum aestivum* L.), encontraron mayor humedad en los primeros 15 cm del suelo con *mulch* y determinaron que la cantidad de material vegetal muerto no debe superar las 2,0 t.ha<sup>-1</sup>. En sistemas agroforestales *Zea mays* y *Vigna unguiculata* en rotación con el componente arbóreo de *Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium*, Lal (23) encontró que la humedad en la capa superior del suelo (0-5 cm) en las estaciones secas, generalmente era más altas en los sistemas agroforestales que en maíz y caupí, solos.

En El Tambo las deficiencias hídricas fluctuaron entre 47,2 y 60,5 mm, las cuales se presentaron entre los meses de julio a septiembre. Livesley *et al.* (25) registraron mayor cantidad de agua almacenada en el suelo con maíz en monocultivo, que en sistemas agroforestales con *Grevillea robusta* y *Senna spectabilis* Powell y Bork (29), y además observaron que en épocas secas la humedad del suelo era 5,2% más alta en parcelas con *Populus tremuloides* que en parcelas solas, y le atribuyeron este efecto a la cobertura dada por la fronda de los árboles y a la cobertura muerta producida por ellos.

Para Pueblo Bello, en el año 2000, al considerar la dinámica de la humedad volumétrica del suelo y los IHS, se estableció como nivel crítico un volumen de agua entre 45,4 y 49,8 mm. Se encontró que en el suelo con cafetales a libre exposición, sin cobertura y con cobertura vegetal muerta, se presentaron deficiencias hídricas de 77,1 y 67,5 mm entre enero y abril; en el suelo con café y sombrío de *I. edulis* sin aplicación y con aplicación de *mulch*, se presentó una deficiencia hídrica en el período enero-abril, de 70,9 y 73,6 mm, respectivamente. Bharati *et al.* (1), Li (24) y Rodríguez *et al.* (33), afirman que el agua disponible en el suelo es controlada por la lluvia, por los cambios en la temperatura, por las características del suelo y por los procesos de infiltración. Los materiales de rápida descomposición empleados como *mulch* se deben mezclar con otras especies que se descomponen más lentamente, para aumentar la conservación de la humedad del suelo (34).

En el suelo cultivado con café y sombrío de *E. fusca* sin cobertura vegetal muerta se evidenciaron dos deficiencias hídricas, una de 84,4 mm entre enero y abril y otra, de 22,0 mm entre octubre y diciembre. En este tratamiento pero con cobertura vegetal muerta hubo una deficiencia hídrica de 171,0 mm en el período enero-diciembre. Camargo y Pereira (6) plantean que deficiencias hídricas de 125,0 mm, durante 25 días continuos, son limitativas para el desarrollo del café.

Jaramillo (20) y Villegas (42) indican que parte de la precipitación incidente en un área determinada es interceptada por la vegetación, lo que provoca una disminución de la cantidad de agua que llega al suelo; esta interceptación está relacionada con la precipitación total, la densidad de la cobertura, la estratificación de los árboles y el manejo silvicultural, entre otros. En El Tambo no hubo deficiencias hídricas en el año 2000.

**Humedad volumétrica ( $\theta$ ) a 40 cm de profundidad del suelo.** La dinámica de la humedad registrada cada diez días y los niveles críticos de humedad del suelo a 40 cm de profundidad, en las dos localidades, se presentan en las Figuras 4 y 5 y en las Tablas 3 y 4, respectivamente. De acuerdo a la dinámica de la humedad del suelo y a los IHS, en Pueblo Bello se estableció como nivel crítico un volumen de agua entre 114,5 y 121,7 mm y entre 153,5 y 156,5 mm en El Tambo; es decir, que registros de humedad por debajo de estos valores indican deficiencias hídricas en los diferentes tratamientos a una profundidad de 40 cm.

Los análisis de los registros obtenidos en 1998 indican que en Pueblo Bello, en los suelos con cafetales a libre exposición, sin cobertura y con cobertura vegetal muerta, se presentaron deficiencias hídricas de 149,5 y 113,0 mm, respectivamente, en el período enero a marzo. En el tratamiento de café y sombrío de *I. Edulis*, con y sin aplicación de *mulch*, hubo deficiencias hídricas de 130,9 y 117,1 mm en el período enero a abril; mientras que con sombrío de *E. fusca* los déficits fueron de 163,2 mm cuando no se aplicó el *mulch* y cuando se aplicó al suelo este residuo vegetal se registraron deficiencias de 76,1 mm. Rees y Chow (31), concluyeron que aplicaciones anuales y consecutivas de 0,0; 2,25; 4,5 y 9,0 t.ha<sup>-1</sup> de heno, incrementaban la humedad del suelo en épocas secas, con aumentos de la producción de papa (*Solanum tuberosum*) hasta en un 12,0%. En El Tambo las deficiencias hídricas se presentaron así: una que varió entre 37,5 y 95,6 mm, en los meses de enero y marzo y otra, entre 21,0 y 91,7 mm, entre julio y septiembre.

Para Pueblo Bello, en el año de 1999, los cálculos realizados indican que en los suelos cultivados con café a libre exposición solar o bajo sombrío, sin o con aplicación

de cobertura vegetal muerta, se presentaron deficiencias hídricas entre 51,0 y 128,6 mm en el período enero a marzo. En El Tambo, en este mismo año, se presentaron deficiencias hídricas en los mismos sistemas de cultivo, estas deficiencias fluctuaron entre 61,0 y 11,9 mm, en el período julio-septiembre.

Para el año 2000, en Pueblo Bello, las deficiencias hídricas estuvieron entre 124, y 187,4 mm entre enero y abril, en todos los sistemas de cultivo; mientras que en El Tambo solo hubo deficiencias hídricas de 14,7 y 12,7 mm entre agosto y noviembre, en el tratamiento de café y sombrío de *Inga* sp., sin y con aplicación de *mulch*.

Vidhana y Liyanage (41), sostienen que las pérdidas de agua en la superficie del suelo (0 a 20 cm de profundidad) en los cultivos intercalados, son menores que las registradas en suelo desnudo. Además, estos autores afirman que las especies leguminosas extraen agua principalmente entre los 20 y 100 cm, con mayor disponibilidad de agua en el suelo en cultivos con especies arbóreas interplantadas que en los monocultivos. Radersma *et al.* (30), en cultivos de *Eucalyptus grandis*, *Grevillea robusta* y *Cedrella serrata* encontraron mayor cantidad de agua disponible en el suelo con *G. robusta*, debido posiblemente al extenso sistema de raíces de los árboles y a los suelos arcillosos profundos, que proveen suficiente agua para los árboles.

En sistemas de intercultivo de maíz con *Robinia pseudoacacia*, Ssekabembe *et al.* (37), registraron que los contenidos de humedad del suelo se reducían entre un 8,0% y 32,0% en los primeros 45 cm de profundidad, en comparación con el suelo con maíz solo y en sistemas agroforestales cuyos componentes fueron *Gliricidia sepium* y maíz, con y sin guandul (*Cajanus Cajan*). Chirwa *et al.* (10), observaron que el agua disponible

en el suelo (150 cm) en la estación seca, generalmente era más baja en los sistemas que incluyeron árboles.

**Análisis general.** En la Tabla 5 se presentan las comparaciones de la humedad volumétrica registrada entre los tratamientos, en cada localidad. A partir de los análisis de varianza y de las pruebas de comparación (Tukey 5%) para la información registrada en los primeros 20 cm de profundidad del suelo y durante tres años, se puede inferir:

Al comparar la disponibilidad de agua en suelo para cada uno de los tratamientos, durante todo el período de evaluaciones (enero de 1998 a diciembre de 2000), se encontró que en Pueblo Bello se presentaron deficiencias hídricas cuando se cultivó simultáneamente el suelo con café bajo sombrío de *Erythrina fusca* y con cobertura vegetal muerta (tratamiento 6). Bussière y Cellier (5), argumentan que el *mulch*, como residuo de cultivo, reduce la evaporación y la temperatura del suelo y que el Índice de Área Foliar (LAI) del *mulch* tiene gran influencia sobre estas dos variables, así un LAI de 4,0 limita la evaporación e intercepta más precipitación que un LAI de 1,0, cabe

anotar que este último es más eficiente para la conservación de la humedad del suelo.

Opara y Lal (27), observaron que la aplicación de *mulch* en la zona de las raíces de yuca (*Manihot esculenta*) y su incorporación en los primeros 10 cm del suelo, forma un “sello superficial” que afecta la tasa de infiltración y por ende, se registra una menor cantidad de agua disponible en el suelo; como solución a esta limitación en la disponibilidad de agua, Vicente *et al.* (40), sugieren que la cobertura muerta sólo se debe aplicar en algunas áreas cultivadas en café a libre exposición solar y en períodos de sequía definidos.

En El Tambo no hubo deficiencias de agua en cafetales a libre exposición solar o bajo sombrío, ni con la aplicación o no de cobertura vegetal muerta. En sistemas agroforestales, la cantidad y la distribución espacial de la humedad del suelo disponible para las plantas, depende en alto grado del número de árboles y de la cantidad de biomasa producida (3). En cultivos de papa (*Solanum tuberosum*), Rees y Chow (31) observaron que aplicaciones entre 2,0 y 9,0 t.ha<sup>-1</sup> de *mulch* (heno), aumentaban la humedad del suelo en 6,9% en estaciones secas.

**Tabla 5.** Comparaciones entre tratamientos (mm de deficiencia) para Pueblo Bello y El Tambo.

Localidad	T1	T2	T3	T4	T5	T6	C.V.
Pueblo Bello	53,7 a	52,7 abc	53,3 ab	52,4 bc	51,7 c	49,4 d	9,0%
El Tambo	79,6 a	80,2 a	80,5 a	80,3 a	79,8 a	80,0 a	4,4%

T1: Café a libre exposición solar, sin *mulch*. T2: Café a libre exposición solar, con *mulch*. T3: Café con sombrío de *Inga edulis*, sin *mulch*. T4: Café con sombrío de *Inga edulis*, con *mulch*. T5: Café con sombrío de *Erythrina* sp, sin *mulch*. T6: Café con sombrío de *Erythrina* sp, sin *mulch*.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a los Ingenieros Agrónomos Juan Carlos García L. y José Enrique Baute B., anterior y actual jefe de la Subestación Experimental de Pueblo Bello, y al Ingeniero Agrónomo Carlos Rodrigo Solarte P., jefe de la Subestación Experimental de El Tambo.

## LITERATURA CITADA

1. BHARATI, L.; LEE, K.H.; ISENHART, T.M.; SCHULTZ, R.C. Soil-water infiltration under crops, pasture and established riparian buffer in Midwestern USA. *Agroforestry Systems* 56(3):249-257, 2002.
2. BOHLMAN, S. A.; MATELSON, T. J.; NADKARNI, N., M. Moisture and temperature patterns of canopy humus and forest floor soil of Montane Cloud Forest, Costa Rica. *Biotropica* 27 (1):13-19. 1995.
3. BRESHEARS, D.D.L.; BARNES, F.J. Interrelationships between plant functional types and soil moisture heterogeneity for semiarid landscapes within the grassland/forest continuum: A unified conceptual model. *Landscape Ecology* 14:465-478. 1999.
4. BULL, R.A. Effects of *mulching* and irrigation in some East African coffee soils; a review. *Turrialba* 13(1):22-27. 1963.
5. BUSSIÈRE, F.; CELLIER, P. Modification of the soil temperature and water content regimes by a crop residue *mulch*: experiment and modeling. *Agricultural and Forest Meteorology* 68(1-2):1-28. 1994.
6. CAMARGO, A.P.D.; PEREIRA, A.R. Agrometeorology of the coffee crop. Ginebra, World Meteorological Organization, 1994. 43 p.
7. CASSOL, E. A.; BARROS, C. J. R.; REICHERT, J. M.; MONDARDO, A. Escoamento superficial e desagregação do solo em entressulcos em solo franco-argilo-arenoso com resíduos vegetais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39(7):685-690. 2004.
8. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Archivos de información climática 1950 a 2002. Disciplina de Agroclimatología. Chinchiná, Cenicafé, 2002.
9. CHALLENGE AGRICULTURE. Rue des Sources. Gardonne. Francia. WATERMARK. L'Eau Du Sol Maitrisee. Gardonne; Challenge Agriculture, s. f. 10 p.
10. CHIRWA, P. W.; ONG, CH. K.; MAGHEMBE, J.; BLACK, C. R. Soil water dynamics in cropping systems containing *Gliricidia sepium*, pigeonpea and maize in southern Malawi. *Agroforestry Systems* 69:29-43. 2007.
11. DOURADO NETO, D.; GARCÍA Y GARCÍA, A.; LUIZ, F. A.; FRIZZONE, J.A.; REICHARDT, K. Balance hídrico cíclico y secuencial: Estimación de almacenamiento de agua en el suelo. *Scientia Agricola* 56(3):537-546. 1999.
12. ELE – International Lake Bluff, Illinois. USA. Soil Moisture Block, Model A-71, Technical Data. Relationship of soil moisture and soil suction. Lake Bluff, (ELE – International). S. f. 7 p.
13. ERENSTEIN, O. Smallholder conservation farming in the tropics and sub-tropics: A guide to the development and dissemination of *mulching* with crop residues and cover crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 100(1):17-37. 2003.
14. FRANCO, C.M. A agua do solo e o sombreamento dos cafezais em Sao Paulo. *Boletim da Superintendencia dos Servicos do Café* 27(299):10-19. 1952.
15. FRANCO, C.M.; INFORZATO, R. Quantidade de agua transpirada pelo cafeeiro sombreado e pelo ingazeiro. *Bragantia* 10 (9): 247 - 257. 1950.
16. GAAFAR, A.M., SALIH, A.A.; LUUKKANEN, M.A.; FADL, E.L.; KAARAKKA, V. Improving the traditional acacia senegal -crop system in Sudan: the effect of tree density on water use, gum production and crop yields. *Agroforestry Systems* 66:1-11. 2006.
17. GONZÁLEZ S., E.; BRAUD, I.; THONY, J.L.; VAUCLIN, M.; CALVET, J.C. Heat and water exchanges of fallow land covered with a plant - residue *mulch* layer: A modelling study using the three year MUREX data set. *Journal of Hydrology* 244(3-4):119-136. 2001.
18. GUTIÉRREZ, C.H. El PF y su aplicación en irrigación. *Cenicafé* 2(19):1-40. 1958.
19. JARAMILLO R., A. Balance hídrico de la zona cafetera Colombiana. *Cenicafé* 33(1):15-34. 1982.

20. JARAMILLO R., A. La lluvia y el transporte de nutrientes dentro de ecosistemas de bosque y cafetales. *Cenicafé* 54(2):134-144. 2003.
21. JARAMILLO R., A. Clima andino y el café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé, 2005. 192 p.
22. JONES, M.; SINCLAIR, F.L.; GRIME, V.L. Effect of tree species and crown pruning on root length and soil water content in semi-arid agroforestry. *Plant and Soil* 201:197-207. 1998.
23. LAL, R. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol: I. Soil moisture and crop yields. *Agroforestry Systems* 8: 7-29. 1989.
24. LI, X. Gravel-sand *mulch* for soil and water conservation in the semiarid loess region of northwest China. *Catena* 52(21):105-127. 2003.
25. LIVESLEY, S. J.; GREGORY, P. J.; BURESH, R. J. Competition in tree row agroforestry systems. 3. Soil water distribution and dynamics. *Plant and Soil* 264:129-139. 2004.
26. MUNGAI, D.N.; STIGTER, C.J.; COULSON, C.L.; NG'ANG'A, J.K. Simply obtained global radiation, soil temperature and soil moisture in an alley cropping system in semi-arid Kenya. *Theoretical and Applied Climatology* 65: 63-78. 2000.
27. OPARA, N. A.; LAL, R. Influence of method of *mulch* application on growth and yield of tropical root crops in southeastern Nigeria. *Soil and Tillage Research* 9(3):217-230. 1987.
28. PICHOTT A., J. Caracterización agroecológica. Subestación Experimental de Pueblo Bello; municipio de Pueblo Bello, departamento del Cesar. Santafé de Bogotá., FNC, 1998. 39 p.
29. POWELL, G. W.; BORK, E. W. Effects of aspen canopy removal and root trenching on understory microenvironment and soil moisture. *Agroforestry Systems* 70:113-124. 2007.
30. RADERSMA, S.; ONG, C. K.; COE, R. Water use of tree lines: importance of leaf area and micrometeorology in sub-humid Kenya. *Agroforestry Systems* 66:179-189. 2006.
31. REES, H. W.; CHOW, T. L. Impact of incorporated hay *mulch* on selected physical, chemical and microbiological properties of a loam soil in Atlantic Canada after five years of continuous potato production. *Canadian Journal of Soil Science* 85:161-172. 2005.
32. RODRÍGUEZ P., O. S. Hedgerows and *mulch* as soil conservation measures evaluated under field simulated rainfall. *Soil Technology* 11(1):79-93. 1997.
33. RODRÍGUEZ I., I.; PORPORATO, A.; LAIO, F.; RIDOLFI, L. Plants in water-controlled ecosystems: active role in hydrologic processes and response to water stress - I. Scope and general outline. *Advances in Water Resources* 24(7):695-705. 2001.
34. SENEVIRATNE, G.; HOLM, L.H. J. VAN ; KULASOORIYA S.; A. Quality of different *mulch* materials and their decomposition and N release under low moisture regimes. *Biology and Fertility of Soils* 26:136-140. 1998.
35. SHARMA, N. K.; SINGH, P. N.; TYAGI, P. C.; MOHAN, S. C. Effect of leucaena *mulch* on soil-water use and wheat yield. *Agricultural Water Management* 35(3):191-200. 1998.
36. SOLARTEP, C. R.; ÁLVAREZ J., O. J. Estudio detallado de suelos. Subestación Experimental El Tambo; municipio de El Tambo, departamento del Cauca. Santafé de Bogotá., FNC, 1997. 58 p.
37. SSEKABEMBE, C. K.; HENDERLONG, P. R.; LARSON, M. Soil moisture relations at the tree/crop interface in black locust alleys. *Agroforestry Systems* 25: 135-140, 1994.
38. SYLVAIN, P.G.: El café en relación al agua: I. El balance hídrico. Turrialba, IICA, 1959. 46 p. (Materiales de Enseñanza Café y Cacao).
39. TILANDER, Y.; BONZI, M. Water and nutrient conservation through the use of agroforestry *mulches* and sorghum yield response. *Plant and Soil* 197:219-232. 1997.
40. VICENTE C., J.; BONETA G., E.G.; ABRUÑA, F.; FIGARELLA, J. Effects of clean and strip cultivation, and of *mulching* with grass, coffee pulp, and black plastic, on fields of intensively managed coffee in Puerto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 53(2):124-131. 1969.
41. VIDHANA, A L. P.; LIYANAGE, M. DE S. Soil water content under coconut palms in sole and mixed (with nitrogen-fixing trees) stands in Sri Lanka. *Agroforestry System* 57(1):1-9. 2003.
42. VILLEGAS, J. C. Análisis del conocimiento en la relación agua-suelo-vegetación para el departamento de Antioquia. *Revista EIA. Escuela de Ingeniería de Antioquia* 1:73-79. 2004.