

VARIACION DE LOS ELEMENTOS METEOROLOGICOS

Series cronológicas.

Se hizo un análisis estadístico a las series

de lluvia anual y mensual y días lluviosos, registrados en las localidades de Bogotá (1866 - 1960), Cenicafé (1942 - 1977) y Naranjal (1951 - 1970), por tener el mayor número de años de registro continuo.

Se comprobó que los datos de Cenicafé y Naranjal son provenientes de una misma población, aleatorios e independientes. Para la serie de Bogotá, se descartó la información de 1866 a 1910, por ser heterogéneos (Figura 6).

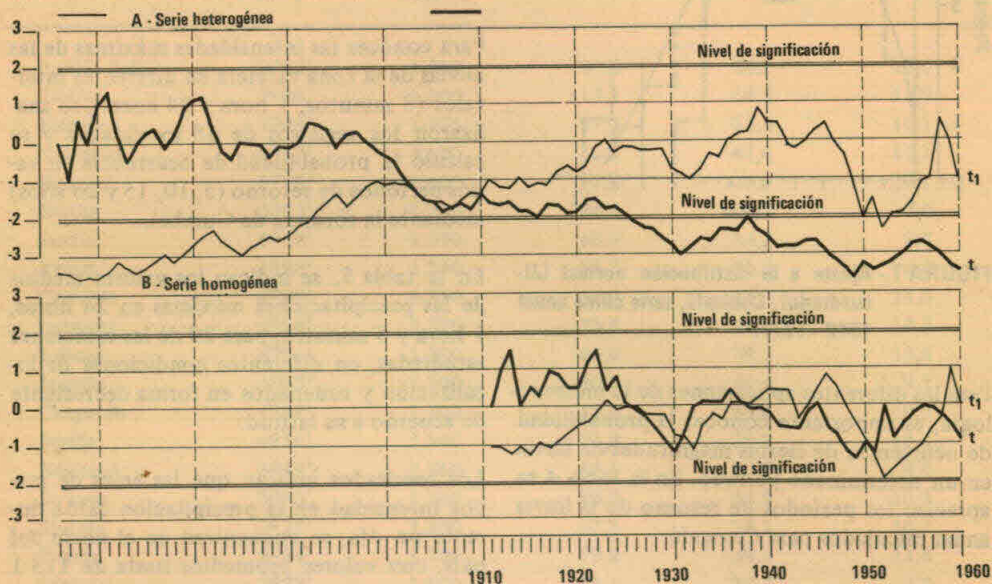


FIGURA 6.- Prueba de tendencia (Mann) Bogotá. Lluvia anual 1866 - 1960.

La serie de agosto de Cenicafé, presentó la tendencia a aumentar las lluvias a partir de 1955. Aún cuando no puede afirmarse que existe un cambio pluviométrico en esta localidad (serie muy corta), es un resultado que no puede despreciarse.

La serie anual de Cenicafé se ajusta a una distribución normal, según las pruebas de Ji-Cuadrado y Shapiro y Wilk (Figura 7). Los parámetros estimados se aprecian en la Tabla 3.

TABLA 3.- CENICAFÉ. LLUVIA ANUAL. PARÁMETROS ESTIMADOS.

Valor medio y límites de confianza	$2.532 \pm 119,1$ mm
Desviación standar	352,2 mm
Coefficiente de variación	14 ^o / _o

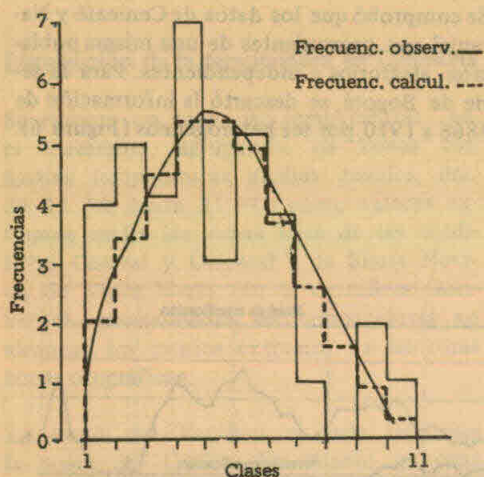


FIGURA 7.- Ajuste a la distribución normal (Ji-cuadrado). Cenicafé, serie clima anual 1942 - 1977.

Para las diferentes aplicaciones de la meteorología, es importante conocer la probabilidad de ocurrencia de ciertas magnitudes de lluvia en un determinado período. En la tabla 4 se aprecian los períodos de retorno de la lluvia anual calculados para Cenicafé.

La variabilidad aumenta a medida que se consideran períodos más cortos de lluvia; así, las series mensuales son más variables que la serie anual. Por ejemplo en Cenicafé, el coeficiente de variación de la serie anual

TABLA 4.- LLUVIA ANUAL. PERIODOS DE RETORNO. CENICAFE.

Años	Cantidades esperadas de lluvia en mm.
5	2.830,7 ± 195,6
10	3.064,2 ± 269,2
15	3.198,0 ± 312,9
20	3.288,3 ± 342,9
25	3.359,8 ± 365,9
50	3.578,5 ± 439,5

de 140/o, en cambio en las series mensuales fluctúan entre 250/o y 540/o.

En Cenicafé son más definidos los períodos lluviosos (octubre 250/o coeficiente de variación) y menos estables los períodos secos (enero 540/o).

Precipitaciones máximas en la zona cafetera.

Para conocer las intensidades máximas de las lluvias de la zona cafetera en diferentes intervalos (5 minutos, 1 hora y 24 horas), se analizaron los registros de 68 localidades y se calculó la probabilidad de ocurrencia en varios períodos de retorno (5, 10, 15 y 20 años) mediante la fórmula de Gumbel.

En la tabla 5, se indican los valores medios de las precipitaciones máximas en 24 horas, 1 hora y 5 minutos, para 20 de las estaciones estudiadas, en diferentes condiciones de localización y ordenados en forma decreciente de acuerdo a su latitud.

Los resultados indican que las áreas de mayor intensidad en la precipitación caída durante un día, se encuentran en el norte del país, con valores promedios hasta de 113,1 milímetros en Salazar, los valores más bajos al sur, siendo el mínimo registrado 44,8 milímetros en Restrepo. Los valores esperados en un período de retorno de 10 años, oscilan entre 59,3 mm y 166,4 mm y en un 500/o de las estaciones se espera una máxima lluvia entre 80 y 110 milímetros que deben caer durante un día.

En 33 puestos de observación, se estudiaron los valores máximos de precipitación en una hora. Las cifras más altas se encuentran en la zona norte del país, con valores medios hasta de 64,2 mm. En un 550/o de las estaciones se espera una precipitación máxima en una hora de 50 a 60 mm, en un período de 10 años.

También se analizó la precipitación máxima en 5 minutos. El valor máximo promedio en

TABLA 5.- VALORES MEDIOS DE PRECIPITACIONES MAXIMAS EN 24 HORAS, 1 HORA Y 5 MINUTOS (EN MILIMETROS).

Estación	Latitud norte	Altitud metros	Lluvia en Milímetros		
			24 horas	1 hora	5 minutos
Pueblo Bello	10°22'	1.000	90,6	53,8	12,0
Salazar	7°46'	1.000	113,1	64,2	11,9
Blonay	7°35'	1.235	97,4	38,8	10,1
Yolombó	6°37'	1.500	82,0	41,6	11,1
Rosario	5°58'	1.600	77,4	38,9	10,1
Bertha	5°52'	1.700	64,4	38,3	10,0
Jardín	5°32'	1.570	60,0	34,2	9,7
Yacopí	5°28'	1.340	78,3	46,5	12,6
Cenicafé	4°59'	1.310	88,7	43,3	11,6
Naranjal	4°58'	1.370	73,0	41,2	10,3
Líbano	4°56'	1.500	89,0	39,1	10,4
Jazmín	4°53'	1.600	80,3	44,4	9,7
Chapetón	4°27'	1.300	75,0	39,0	10,0
Sevilla	4°16'	1.540	78,2	38,2	10,4
Restrepo	3°49'	1.360	44,8	30,7	9,0
Dolores	3°33'	1.260	93,9	42,9	10,3
Florida	2°27'	1.850	67,5	37,1	10,7
Tambo	2°24'	1.700	79,2	39,1	11,4
Gigante	2°22'	1.500	58,4	30,2	9,2
Ospina Pérez	1°16'	1.700	59,7	29,9	9,0

contrado fue 12,6 mm y el valor más bajo 9,0 mm. Un 62% de las estaciones presentó una máxima media entre 10 y 12 mm en un período de 5 minutos. Los valores absolutos más altos fueron de 20 mm en el Tambo (Cauca) y 19,4 mm en Salazar (Norte de Santander).

Los meses del año en los cuales se presentaron los valores máximos en los diferentes períodos, fueron en su mayoría los meses de mayor precipitación total (abril, mayo, octubre y noviembre).

Temperaturas del suelo a diferentes profundidades.

Se analizaron las temperaturas del suelo, registradas en Cenicafé durante cinco años (1965-1969), a diferentes profundidades de un suelo franco, y se compararon con la temperatura del aire a cinco centímetros sobre el suelo y a 2 metros de altura. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Variación con la profundidad. Las temperaturas máximas disminuyen y las mínimas aumentan a medida que se incrementa la profundidad en el suelo (Figura 8). Existe ma-

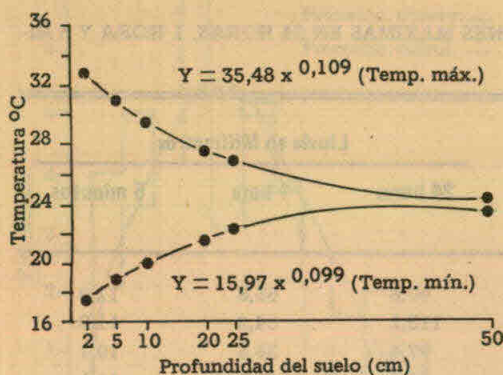


FIGURA 8.- Variación de las temperaturas extremas del suelo con la profundidad. CENICAFE, 1965-1969.

yor oscilación de la temperatura en las capas superficiales del suelo; a 50 centímetros de profundidad permanece casi constante, alrededor de 24 °C. Las temperaturas extremas varían entre 32,9 °C y 17,1 °C, para la profundidad de 2 centímetros y entre 24,3 °C y 23,5 °C a 50 centímetros.

De acuerdo con estos resultados, el suelo se clasificaría según la séptima aproximación como isohipertérmico (temperaturas mayores de 22°C).

La gran variación de la temperatura en el horizonte superficial, se explicaría por la mayor influencia de la radiación directa y por fenómenos de conducción y convección del calor, al encontrarse con moléculas de aire.

Variación a través del año. Las temperaturas del suelo no presentan variaciones estacionales marcadas: sin embargo la tendencia es a presentar temperaturas más bajas en los períodos lluviosos.

Para todas las profundidades, el transcurso de la temperatura máxima mensual siguió el régimen de precipitación existente. Así, para todos los períodos menos lluviosos (ene-

ro a marzo y julio a septiembre) la temperatura máxima fue mayor que en los períodos más lluviosos (abril a junio y octubre a diciembre). Los valores más altos para la profundidad de 2 y 5 centímetros se presentaron en enero y febrero; para 10 y 20 centímetros, en febrero y marzo y para 25 y 50 centímetros, en marzo. A 2 centímetros de profundidad y en los períodos secos, la temperatura máxima alcanzó valores absolutos hasta de 40 °C. En la Figura 9 puede apreciarse el transcurso mensual promedio de las temperaturas máximas a diferentes profundidades, durante el período de observaciones de 1965 a 1969.

En cuanto a las temperaturas mínimas, siguieron un comportamiento similar a las temperaturas máximas pero con oscilaciones menores, como se aprecia en la Figura 9A.

Los valores promedio de las temperaturas mínimas más bajas para las profundidades de 2 y 5 centímetros, ocurrieron en el mes de octubre; para 10 y 20 centímetros, en los meses de octubre y noviembre; y para 25 y 50 centímetros en el mes de diciembre.

La lluvia, la nubosidad, o ambos elementos acompañados con los cambios en el contenido de humedad del suelo, ejercen una influencia importante sobre la baja en las temperaturas del suelo.

Variación a través del día. A las 7 y 20 horas (menor radiación solar), la temperatura del suelo es mayor en las capas más profundas y también superior a la temperatura del aire a dos metros de altura.

En cambio, a las 14 horas (mayor radiación solar), se produce el fenómeno inverso, es decir, mayor temperatura del aire y de las capas superficiales del suelo (hasta 10 centímetros) y menor en las capas profundas (mayor de 10 centímetros).

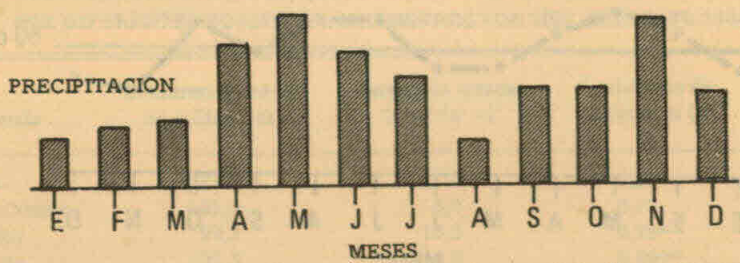
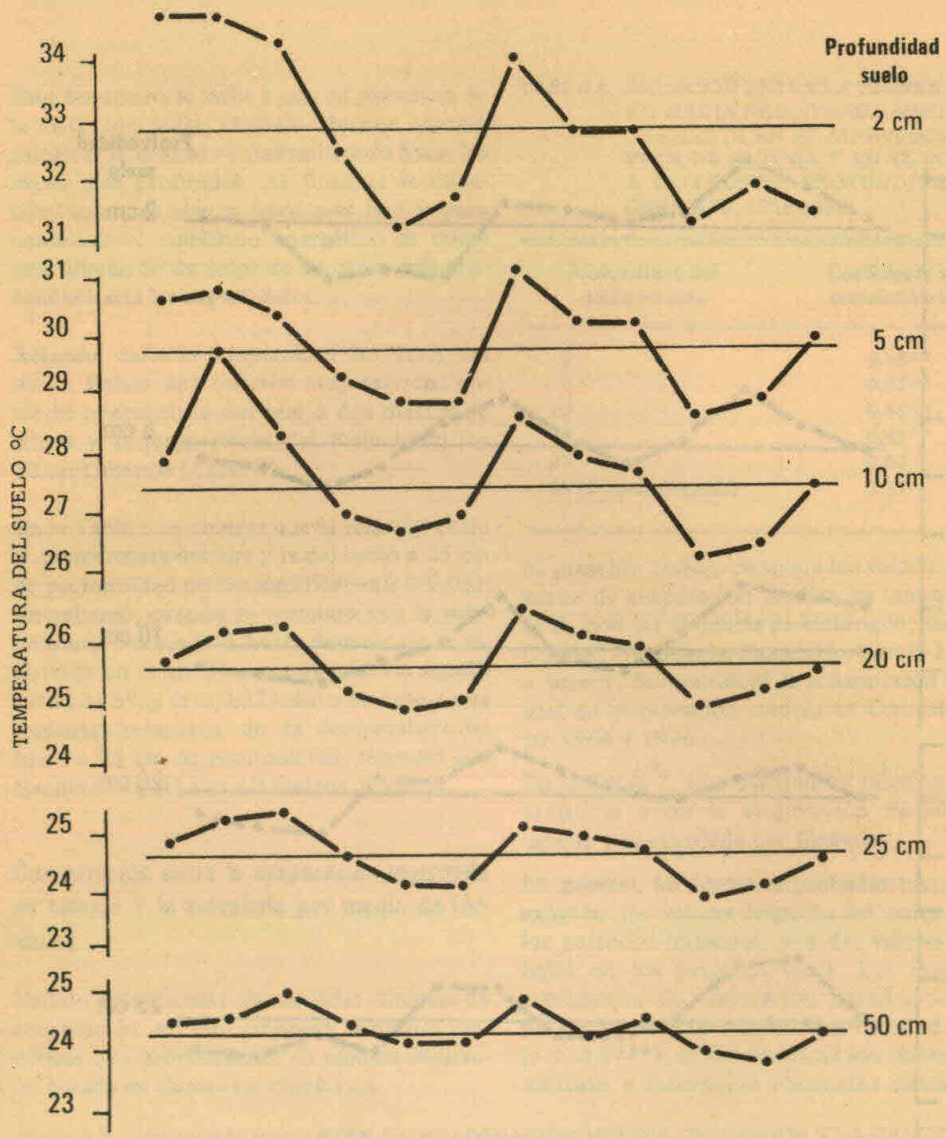


FIGURA 9.- Temperaturas máximas medias mensuales del suelo y precipitación media mensual. Cenicafé, 1965 - 1969.

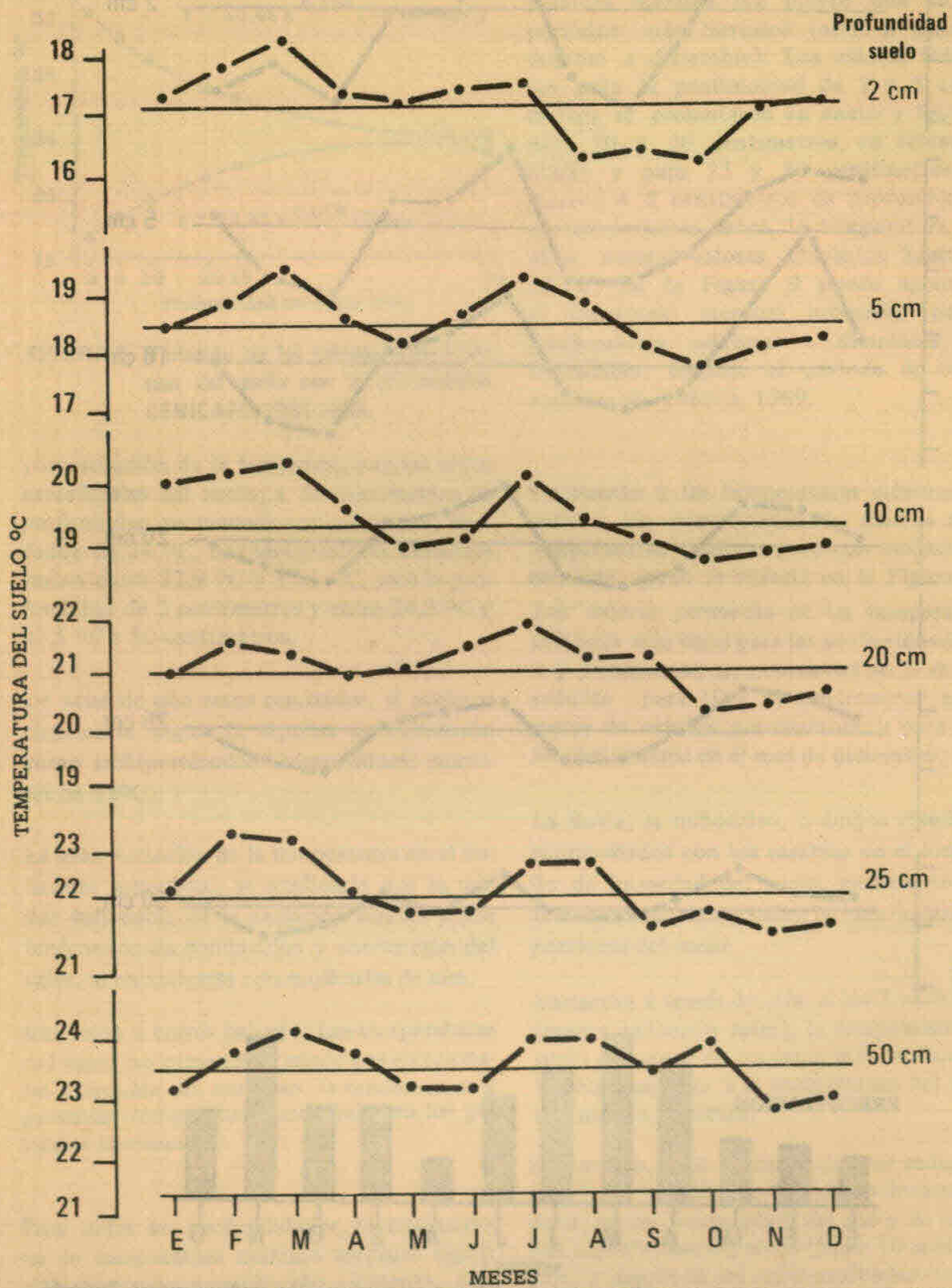


FIGURA 9A.-Temperaturas mínimas medias mensuales a diferentes profundidades del suelo. Cenicafé, 1965 - 1969.

Este fenómeno se debe a que en presencia de la radiación solar, el suelo absorbe energía calórica, la cual se va transmitiendo hacia las capas más profundas. Al finalizar la radiación solar, el aire se hace más frío y para conservar el equilibrio energético se inicia una liberación de calor de las capas más profundas hacia las superficiales.

Relación entre la temperatura del aire y del suelo. Existe una relación muy estrecha entre la temperatura del aire a dos metros de altura y la temperatura del suelo hasta los 20 centímetros (Tabla 6).

En la Tabla 6 se observa que la relación entre la temperatura del aire y la del suelo a 25 cm de profundidad no fue significativa ($r = 0,03$); sin embargo, cuando se comparó con la temperatura del suelo 2 horas después de la registrada en el aire, hubo una relación significativa al 5% ($r = 0,37$). Esto se debe a una respuesta retardada de la temperatura del suelo a 25 cm de profundidad, respecto a la temperatura del aire a 2 metros de altura.

Comparación entre la evaporación registrada en tanque y la calculada por medio de fórmulas.

Debido a la escasez de medidas directas de evaporación se han generado fórmulas empíricas que proporcionan su medida indirecta, basada en elementos climáticos.

TABLA 6.- RELACION ENTRE LA TEMPERATURA MEDIA REGISTRADA SIMULTANEAMENTE EN EL AIRE A DOS METROS DE ALTURA Y EN EL SUELO A DIFERENTES PROFUNDIDADES. CENICAFE, 1965-1969.

Profundidad del suelo en cm.	Coefficiente de correlación (r)
2	0,98**
5	0,97**
10	0,89**
20	0,41**
25	0,03
25 (2 horas después)	0,37*

El presente trabajo compara los valores mensuales de evaporación medida en tanque clase A, con las fórmulas de Holdridge; Blaney-Cridle, Hargreaves, Papadakis, García-López e Ivanov. Se consideró la información mensual de evaporación medida en Cenicafé entre 1964 y 1976.

En la Tabla 7, se presentan las relaciones estadísticas entre la evaporación medida en tanque y la calculada por fórmulas.

En general, las fórmulas probadas tienden a exagerar los valores respecto del tanque, en los períodos húmedos, y a dar valores más bajos en los períodos secos. Los mayores coeficientes de correlación hallados fueron para Papadakis ($r = 0,73$ **) y García-López ($r = 0,67$ **); ambas fórmulas son de sencilla solución e incorporan elementos climáticos

TABLA 7.- COMPARACION ENTRE LA EVAPORACION MEDIDA EN TANQUE Y LA CALCULADA POR DIFERENTES FORMULAS. MILIMETROS POR MES. CENICAFE 1964-1976.

Fórmula	Evaporación media en milímetros	Desviación standar (mm) (+ -)	Coefficiente de correlación (r)	Factor de ajuste (A)
Tanque	91,2	17,3	1,0	1,0
Blaney-Cridle	147,5	8,5	0,15	0,61
Papadakis	99,2	13,5	0,73**	0,91
Holdridge	102,3	4,2	0,49**	0,88
García-López	96,7	10,7	0,67**	0,94
Hargreaves	101,0	15,8	0,65**	0,89
Ivanov	83,3	15,9	0,42**	1,2

de fácil adquisición. Las fórmulas que más se aproximan al valor real del tanque, cuantificado mediante el factor de ajuste (A), fueron las de García-López ($A = 0,94$) y Papadakis ($A = 0,91$). Según lo anterior, se recomienda el uso de estas dos fórmulas para estudios a nivel regional.

Balance hídrico de la zona cafetera

El balance hídrico establece la relación entre la ganancia de agua por precipitación, la pérdida por evaporación y el almacenamiento de agua en el suelo. Mediante este método se puede determinar la duración y la magnitud de los excesos y de los déficits hídricos de una localidad.

Se estudió el balance hídrico para 34 localidades de la zona cafetera de Colombia, por medio del método de Thornthwaite-Mather. La lluvia se analizó por medio de la función Gamma a un nivel de probabilidad de 0.8 y la evaporación se calculó por medio de la fórmula de García-López.

En la Tabla 8 se presenta el balance hídrico anual para la zona cafetera. Se considera mes seco aquel que presenta un déficit hídrico mensual superior a 10 milímetros.

La precipitación anual, con una probabilidad del 0.8, presentó sus valores más bajos en Tibacuy-Cundinamarca (872 mm); Julio Fernández, Restrepo-Valle (887) y Anolaima-Cundinamarca (1.100 mm). Las mayores precipitaciones anuales se presentaron en Llanadas-Caldas (2.527 mm); Limón-Tolima (2.381 mm); Naranjal-Caldas (2.370 mm) y Jazmín-Risaralda (2.320 mm). Un 76% de las localidades analizadas presentan precipitaciones anuales entre los 1.500 y 2.500 mm. Para la Región Central, los valores anuales son superiores a los 2.000 milímetros.

Respecto a los volúmenes de agua caída, se observa que en la región Norte, durante el

primer semestre, cae el 35% y en el segundo semestre un 65% del total, como es el caso de Pueblo Bello-Cesar. En la Región Central los volúmenes de agua para el primero y segundo semestre son aproximadamente iguales.

Los valores de evaporación presentan poca variación de un mes a otro; los valores anuales entre localidades variaron entre 771.0 mm en Agronomía-Caldas; y 1.489 mm en Santágueda-Caldas. El 79% de las estaciones analizadas presentan volúmenes anuales de evaporación inferiores a 1.200 mm.

Los déficits hídricos anuales más severos ocurren en Tibacuy-Cundinamarca 467 mm; Julio Fernández, Restrepo-Valle 363 mm; La Montaña-Tolima 289 mm; Blonay-Norte de Santander 312 mm y Pueblo Bello-Cesar 271 mm. En Tibacuy-Cundinamarca los déficits hídricos son el acumulado de 9 meses continuos. Los mayores excesos hídricos se presentan en Montelíbano-Cundinamarca 911 mm; Llanadas-Caldas 915 mm; El Rubí-Antioquia 868 mm y Jazmín-Risaralda 856 mm.

En la Figura 10, se presentan los balances hídricos para las localidades de Pueblo Bello-Cesar; Llanadas-Caldas; El Rosario-Antioquia; Albán-Valle; La Florida-Cauca; Concacá-Nariño.