



CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA



RECURSOS HIDRICOS

CEDEVA LAGUNA YEMA

Cálculo de la precipitación efectiva.

Introducción

En la actividad agropecuaria, cualquiera que esta sea, es importante conocer los milímetros caídos luego de una precipitación, pero a su vez es de igual importancia conocer con cuánta agua de esta precipitación contará realmente el perfil del suelo, es decir, que cantidad de esta infiltrará y qué cantidad no lo hará y escurrirá por la superficie del suelo quedando disponible para conducirla y almacenarla en algún tipo de reservorio para su posterior aprovechamiento. Para poder conocer estos datos se calcula la “*precipitación efectiva*” que es el agua de lluvia que infiltra, queda almacenada y puede llegar a estar disponible en la zona ocupada por las raíces de los cultivos y ser utilizada para satisfacer sus requerimientos.

Objetivos

El primer objetivo de este trabajo es contar, utilizando un procedimiento de cálculo, con datos precisos de la cantidad de agua que no escurre por superficie luego de una lluvia, ósea que infiltra en el suelo y queda almacenada en este. Puede suceder que parte del agua que infiltró al suelo se pierda por percolación profunda quedando fuera del alcance de las raíces, debido a esto no es correcto decir que toda el agua que infiltra en el suelo está disponible para los cultivos, de todas formas, se obtiene datos más ajustados a la realidad. El segundo objetivo y no menos importante que el anterior es conocer el volumen de agua que se obtiene por escurrimiento superficial, el cual podría ser aprovechado en el caso de contar con la infraestructura necesaria para conducir y almacenar estos excedentes hídricos (cosecha de agua).

La información que brinden estos cálculos servirá de base en la planificación de riegos tanto para los ensayos a realizar como para los que se están llevando a cabo. Servirá para conocer la disponibilidad de agua aproximada, luego de una precipitación, que tendrán los cultivos que se realicen en secano y además también servirá para conocer la capacidad de captación de agua de una determinada superficie como para dimensionar cuencas de captación de agua de lluvia

Desarrollo

En el presente informe se calculan las *precipitaciones efectivas* ocurridas en el Lote 1 del CEDEVA de Laguna Yema, (24°16'37" S y 61° 14' W), Departamento Bermejo, Provincia de Formosa. De acuerdo a la clasificación climática de Thornthwaite, la localidad de Laguna Yema se encuentra ubicada en el límite de la región subhúmeda seca y semiárida. En promedio, llueve 800 mm anuales, estando concentrado el 94 % de estas precipitaciones entre los meses de octubre hasta abril, lo que marca una estación lluviosa bien definida. Estas precipitaciones, como suele ser normal en zonas semiáridas, cuando se producen se caracterizan por ser copiosas, de gran intensidad y separadas temporalmente entre sí. La temperatura media anual es de 23°C con mínimas absolutas de -6°C y máximas absolutas de 45–50°C mientras que la amplitud anual de variación de la temperatura integrada por los meses extremos es de 12°C. Debido a la existencia de una verdadera estación invernal el clima de la zona se clasifica como subtropical – continental. Con respecto a las características edáficas se trata de suelos de texturas finas a medias-finas, caracterizados por su elevado contenido de arcilla y limo desde la superficie. La naturaleza arcillosa illítica y limosa de los materiales brinda baja permeabilidad y propician que la dinámica hídrica sea más bien superficial.

Para determinar la precipitación efectiva se utilizó el método del S.C.S. (Soil Conservation Service) del USDA. El procedimiento de cálculo utilizado en este trabajo es el de la versión adaptada para España del que estableció empíricamente el Servicio de Conservación de Suelos.

Se adoptó este método, entre los que se consultaron en la bibliografía, debido a que es el que realiza la mayor cantidad de discriminaciones entre los factores que son fuente de variación en las determinaciones de precipitación efectiva, de esta forma los datos obtenidos se ajustan más a los reales. Por otra parte, con este método se puede calcular la precipitación efectiva con los datos de un hietograma registrados hora por hora o día por día.

Procedimiento de cálculo.

Se comienza por determinar el *umbral de escorrentía* (P_0) para cada situación en particular que se encuentre la superficie de interés (permeabilidad del suelo, pendiente, suelo no cubierto/cubierto, humedad previa del suelo). Este umbral de escorrentía es el agua que infiltrará al perfil del suelo en el comienzo de la precipitación, no escurrirá hacia ninguna parte, solo una vez que los milímetros precipitados sobrepasen este umbral comenzará a producirse escorrentía. Este dato aparece tabulado en función al uso que se le da a la superficie del suelo (bosque, cultivo), de la pendiente y del tipo de suelo (permeabilidad). Finalmente se debe corregir el valor si los 5 días anteriores a la precipitación fueron muy secos o muy húmedos (Ver tablas n° 1, 2 y 3).

Tabla 1.

**ESTIMACION INICIAL DEL UMBRAL DE ESCORRENTIA P_0 (mm)
PARA HUMEDAD PREVIA INTERMEDIA**

| Uso de la tierra | Pendiente (%) | Características hidrológicas | Grupo de suelo | | | |
|-----------------------------|---------------|------------------------------|----------------|----|----|----|
| | | | A | B | C | D |
| Barbecho | ≥ 3 | R | 15 | 8 | 6 | 4 |
| | | N | 17 | 11 | 8 | 6 |
| | < 3 | R/N | 20 | 14 | 11 | 8 |
| Cultivos en hilera | ≥ 3 | R | 23 | 13 | 8 | 6 |
| | | N | 25 | 16 | 11 | 8 |
| | < 3 | R/N | 28 | 19 | 14 | 11 |
| Cereales de invierno | ≥ 3 | R | 29 | 17 | 10 | 8 |
| | | N | 32 | 19 | 12 | 10 |
| | < 3 | R/N | 34 | 21 | 14 | 12 |
| Rotación de cultivos pobres | ≥ 3 | R | 26 | 15 | 9 | 6 |
| | | N | 28 | 17 | 11 | 8 |
| | < 3 | R/N | 30 | 19 | 13 | 10 |
| Rotación de cultivos densos | ≥ 3 | R | 37 | 20 | 12 | 9 |
| | | N | 42 | 23 | 14 | 11 |
| | < 3 | R/N | 47 | 25 | 16 | 13 |

**ESTIMACION INICIAL DEL UMBRAL DE ESCORRENTIA P_0 (mm)
PARA HUMEDAD PREVIA INTERMEDIA**

| Uso de la tierra | Pendiente (%) | Características hidrológicas | Grupo de suelo | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------|----------------|----|----|----|
| | | | A | B | C | D |
| Praderas | ≥ 3 | Pobre | 24 | 14 | 8 | 6 |
| | | Media | 53 | 23 | 14 | 9 |
| | | Buena | * | 33 | 18 | 13 |
| | | Muy buena | * | 41 | 22 | 15 |
| | < 3 | Pobre | 58 | 25 | 12 | 7 |
| | | Media | * | 35 | 17 | 10 |
| | | Buena | * | * | 22 | 14 |
| | | Muy buena | * | * | 25 | 16 |
| Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal | ≥ 3 | Pobre | 62 | 26 | 15 | 10 |
| | | Media | * | 34 | 19 | 14 |
| | | Buena | * | 42 | 22 | 15 |
| | < 3 | Pobre | * | 34 | 19 | 14 |
| | | Media | * | 42 | 22 | 15 |
| | | Buena | * | 50 | 25 | 16 |
| Masas forestales (bosques, Monte bajo, etc.) | | Muy clara | 40 | 17 | 8 | 5 |
| | | Clara | 60 | 24 | 14 | 10 |
| | | Media | * | 34 | 22 | 16 |
| | | Espesa | * | 47 | 31 | 23 |
| | | Muy espesa | * | 65 | 43 | 33 |
| Notas: 1. N. denota cultivo según las curvas de nivel R: denota cultivo según la línea de máxima pendiente 2. *: denota que esa parte de cuenca debe considerarse inexistente a efectos de cálculo de caudales de avenida 3. Las zonas abancaladas se incluirán entre las de pendiente menor del 3 por 100 | | | | | | |
| Tipo de terreno | Pendiente (%) | Umbral de escorrentia (mm) | | | | |
| Rocas permeables | ≥ 3 | 3 | | | | |
| | < 3 | 5 | | | | |
| Rocas impermeables | ≥ 3 | 2 | | | | |
| | < 3 | 4 | | | | |
| Firmes granulares sin pavimento | | 2 | | | | |
| Adoquinados | | 1,5 | | | | |
| Pavimentos bituminosos o de hormigón | | 1 | | | | |

Corrección según el grado de humedad previa del suelo: La tabla 1 que proporcionan el valor de P_0 supone un grado de humedad del suelo medio. Si los días anteriores a la precipitación estudiada se produjeron precipitaciones abundantes, las abstracciones (retenciones superficiales, infiltraciones) serán menores, por lo que el valor real de P_0 será menor al proporcionado por la tabla. Análogamente, y en sentido contrario, si los días anteriores no ha llovido nada, el suelo estará seco, y todas las abstracciones serán mayores, habrá que corregir el valor de P_0 aumentándolo.

Tabla 2. El criterio se indica en la tabla (Sigh, 1992).

| | Precipitación total en los 5 días anteriores | |
|----------------|----------------------------------------------|-----------------------------------|
| Humedad previa | Plantas en periodo latente | Plantas en periodo de crecimiento |
| I (seco) | Menos de 13 mm | menos de 35 mm |
| II (normal) | De 13 a 32 mm | De 35 a 52 mm |
| III (húmedo) | Más de 32 mm | Más de 52 mm |

La conversión del P_0 proporcionado por la tabla 1 a las condiciones de humedad I y II, proporcionado por la tabla 2, se realiza mediante tablas numéricas (tabla 3).

Tabla 3. El criterio se indica en la tabla (Ferrer, 1993).

| P_0 para humedad previa normal | P_0 para humedad previa seca | P_0 para humedad previa húmeda |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 3 | 7 | 0,5 |
| 6 | 14 | 1 |
| 9 | 21 | 2 |
| 13 | 29 | 3 |
| 17 | 38 | 5 |
| 21 | 48 | 7 |
| 27 | 61 | 10 |
| 33 | 75 | 13 |
| 41 | 93 | 17 |
| 50 | 112 | 21 |
| 61 | 135 | 27 |
| 75 | 167 | 33 |
| 93 | 213 | 41 |
| 117 | 283 | 50 |

Conociendo estos datos se puede calcular la *escorrentía directa* (E_d) para cada una de las lluvias registradas.

Para el cálculo de la E_d se utiliza la siguiente ecuación:

$$E_d = \frac{(P - P_0)^2}{P + 4 P_0} \quad (1)$$

E_d : Escorrentía directa en mm.

P : Precipitación total registrada en mm.

P_0 : Abstracción inicial o umbral de escorrentía en mm.

Después de obtener la E_d se está en condiciones de calcular *precipitación efectiva* (P_E) utilizando la ecuación siguiente:

$$P_E = P - E_d \quad (2)$$

P_E : Precipitación Efectiva en mm.

P : Precipitación registrada en mm.

E_d : Escorrentía directa en mm.

Para comenzar a calcular la precipitación efectiva (P_E) con los registros de la estación meteorológica se toma como ejemplo el lote 1. Los siguientes cálculos se lo comienza a realizar a partir de la primera lluvia importante que hubo en la temporada (10/10/2013).

Se comienza buscando el valor de P_0 (umbral de escorrentía) en la tabla 1 basándose en las características del lote 1. A la fecha de la primera precipitación las características del lote 1 fueron las siguientes:

Uso de la tierra: Barbecho

Pendiente: < 3 %

Grupo de suelo: C. (pocos permeables).

A estas características les corresponde extrapolando en la tabla 1 el valor de 11 mm, luego a se lo ajusta teniendo en cuenta la humedad previa del suelo. En este caso no se registraron precipitaciones los 5 días anteriores, por lo tanto, se lo considera como humedad previa seca (tabla 2). De esta manera se busca en la tabla 3 y extrapolando se obtiene un valor de 25 mm. Se obtiene entonces como P_0 para estas condiciones el valor de 25 mm.

Usando la ecuación (1) se obtiene E_d (escorrentía directa) expresada en milímetros. Esta es la lámina de agua proveniente de la lluvia que no infiltrará, es el agua que escurrirá por superficie.

$$E_d = \frac{(88,4 - 25)^2}{88,4 + 4 * 25} = 21,3 \text{ mm}$$

Luego de obtener la E_d se está en condiciones de calcular la P_E usando la ecuación (2).

$$P_E = 88,4 - 21,3 = 67,1 \text{ mm}$$

Este resultado es la lámina de agua que infiltró al suelo del lote 1 en las condiciones que se encontraba en ese momento, el resto de la precipitación salió del lote como escorrentía directa.

Ahora para calcular las P_E de las lluvias que se producen en periodos en que el cultivo ya tiene un crecimiento tal que cubre gran parte del suelo, debemos buscar nuevamente en la tabla 1 la P_0 que le corresponde a esta nueva condición del ambiente.

Se utiliza como ejemplo para este caso el día 08/01/2014 (43 días después de la siembra) en el cual se registró una lluvia de 58,2 mm. En este caso la única característica que varía es el uso de la tierra ya que la pendiente, características y grupo de suelos son los mismos. Se ingresa a buscar en tabla 1 dentro de la característica “uso de la tierra” el ítem “cultivos en hilera”, después se usa

la tabla 2 considerando para este caso la característica “plantas en periodo de crecimiento” y finalmente se determina en tabla 3 el P_0 , que resulta en un valor de 31 mm.

Calculando la E_d para el ejemplo siguiente obtenemos:

$$E_d = \frac{(58,2 - 31)^2}{(58,2 + 4 * 31)} = 4,06 \text{ mm}$$

Luego la P_E del día 08/01/2014 será:

$$P_E = 58,2 - 4,06 = 54,14 \text{ mm}$$

Procediendo de esta manera se confeccionó la tabla 4, en la cual se puede apreciar todas las precipitaciones registradas desde el 10/10/2013 hasta el día 30/05/2014. La tercera columna de la tabla 4 muestra la P_0 correspondiente a cada precipitación en particular, la cuarta columna muestra E_d calculada y la quinta columna expone la precipitación efectiva calculada.

Tabla 4. Precipitación registrada, umbral de escorrentía (P_0), escorrentía directa (E_d) y precipitación efectiva (P_E) en milímetros.

| Precipitaciones de Octubre 2013 | | | | |
|------------------------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Fecha | mm registrados | P_0 mm | E_d mm | P_E mm |
| 10/10/2013 | 88,4 | 25 | 21,3 | 67,1 |
| 14/10/2013 | 4,6 | 2,5 | 0,04 | 4,6 |
| 15/10/2013 | 1,5 | 2,5 | 0 | 1,5 |
| 16/10/2013 | 11,9 | 25 | 0 | 11,9 |
| Total | 106,4 | | 21,4 | 85,0 |
| Precipitaciones de Noviembre 2013 | | | | |
| Fecha | mm registrados | P_0 mm | E_d mm | P_E mm |
| 01/11/2013 | 11,4 | 25 | 0 | 11,4 |
| 02/11/2013 | 22,4 | 25 | 0 | 22,4 |
| 11/11/2013 | 2,3 | 25 | 0 | 2,3 |
| 18/11/2013 | 2 | 25 | 0 | 2 |
| 19/11/2013 | 18,5 | 25 | 0 | 18,5 |
| 20/11/2013 | 1 | 11 | 0 | 1 |
| 26/11/2013 | 1,3 | 25 | 0 | 1,3 |
| 29/11/2013 | 32 | 25 | 0,4 | 31,6 |
| Total | 90,9 | | 0,4 | 90,5 |
| Precipitaciones de Diciembre 2013 | | | | |
| Fecha | mm registrados | P_0 mm | E_d mm | P_E mm |
| 02/12/2013 | 3 | 11 | 0 | 3 |
| 06/12/2013 | 43,9 | 25 | 2,5 | 41,4 |
| 18/12/2013 | 1,8 | 31 | 0 | 1,8 |
| 22/12/2013 | 2,5 | 31 | 0 | 2,5 |
| 27/12/2013 | 3,8 | 31 | 0 | 3,8 |
| Total | 55 | | 2,5 | 52,5 |

Se realizo la siembra

Se comienza a tomar en las tablas los valores de "cultivo en hilera" y en "crecimiento activo"

Tabla 4 (continuación) Precipitación registrada, umbral de escorrentía (P_0), escorrentía directa (E_d) y precipitación efectiva (P_E) en milímetros.

| Precipitaciones de Enero 2014 | | | | |
|----------------------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Fecha | mm registrados | P_0 mm | E_d mm | P_E mm |
| 08/01/2014 | 58,2 | 31 | 4,1 | 54,1 |
| 11/01/2014 | 1,5 | 3 | 0 | 1,5 |
| 19/01/2014 | 4,3 | 31 | 0 | 4,3 |
| 24/01/2014 | 5,1 | 31 | 0 | 5,1 |
| 25/01/2014 | 21,6 | 31 | 0 | 21,6 |
| 26/01/2014 | 1,8 | 31 | 0 | 1,8 |
| 27/01/2014 | 2 | 31 | 0 | 2 |
| 30/01/2014 | 4,3 | 31 | 0 | 4,3 |
| Total | 98,8 | | 5,4 | 93,4 |
| Precipitaciones de Febrero 2014 | | | | |
| Fecha | mm registrados | P_0 mm | E_d mm | P_E mm |
| 10/01/2014 | 15,7 | 31 | 0 | 15,7 |
| 12/01/2014 | 1,8 | 14 | 0 | 1,8 |
| 19/01/2014 | 7,1 | 31 | 0 | 7,1 |
| 22/01/2014 | 54,1 | 31 | 3,0 | 51,1 |
| 26/02/2014 | 40,1 | 3 | 26,4 | 13,7 |
| Total | 118,8 | | 29,4 | 89,4 |
| Precipitaciones de Marzo 2014 | | | | |
| Fecha | mm registrados | P_0 mm | E_d mm | P_E mm |
| 02/03/2014 | 5,3 | 3 | 0,3 | 5,0 |
| 03/03/2014 | 1,3 | 3 | 0 | 1,3 |
| 10/03/2014 | 1 | 31 | 0 | 1,0 |
| 13/03/2014 | 7,1 | 31 | 0 | 7,1 |
| 15/03/2014 | 4,6 | 31 | 0 | 4,6 |
| 17/03/2014 | 4,6 | 31 | 0 | 4,6 |
| 18/03/2014 | 69,6 | 3 | 54,4 | 15,2 |
| 20/03/2014 | 1,8 | 3 | 0 | 1,8 |
| 26/03/2014 | 58,9 | 31 | 4,3 | 54,6 |
| 29/03/2014 | 67,8 | 3 | 52,6 | 15,2 |
| Total | 222 | | 111,5 | 110,5 |

El cultivo detiene el crecimiento

Tabla 4 (continuación). Precipitación registrada, umbral de escorrentía, escorrentía directa y precipitación efectiva en milímetros.

| Precipitaciones de Abril 2014 | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Fecha | mm registrados | P₀ mm | E_d mm | P_E mm |
| 10/04/2014 | 6,6 | 31 | 0 | 6,6 |
| 11/04/2014 | 22,9 | 31 | 0 | 22,9 |
| 19/04/2014 | 17,7 | 31 | 0 | 17,7 |
| 22/04/2014 | 1,5 | 14 | 0 | 1,5 |
| 28/04/2014 | 4,3 | 31 | 0 | 4,3 |
| 29/04/2014 | 32,8 | 31 | 0 | 32,8 |
| 30/04/2014 | 16,5 | 3 | 6,4 | 10,1 |
| Total | 102,3 | | 6,4 | 95,9 |
| Precipitaciones de Mayo 2014 | | | | |
| Fecha | mm registrados | P₀ mm | E_d mm | P_E mm |
| 03/05/2014 | 2,5 | 3 | 0 | 2,5 |
| 04/05/2014 | 2,5 | 3 | 0 | 2,5 |
| 05/05/2014 | 21,6 | 14 | 0,74 | 20,86 |
| 07/05/2014 | 1,5 | 14 | 0 | 1,5 |
| 13/05/2014 | 12,2 | 31 | 0 | 12,2 |
| 14/05/2014 | 5,1 | 31 | 0 | 5,1 |
| 15/05/2014 | 21,6 | 14 | 0,74 | 20,86 |
| 21/05/2014 | 13,5 | 31 | 0 | 13,5 |
| 22/05/2014 | 15,5 | 14 | 0,03 | 15,5 |
| 23/05/2014 | 4,6 | 14 | 0 | 4,6 |
| 30/05/2014 | 2 | 31 | 0 | 2 |
| Total | 102,6 | | 1,52 | 101,08 |

Puede apreciarse en la tabla 4 que la precipitación efectiva calculada, pocas veces fue menor a la registrada en el total de lluvias para este periodo. Esto se debe a que en general las lluvias no fueron copiosas y estuvieron separadas por varios días unas de otras, esto determinó que los milímetros registrados con la estación meteorológica no superen a los milímetros del umbral de escorrentía (P₀) obtenido en las tablas para cada caso en particular, por tal motivo la escorrentía directa resulto 0, es decir no se produjo escorrentía y se consideró que toda la precipitación infiltró en el suelo.

Con los valores obtenidos en la tabla 4 se confeccionó la siguiente tabla, esta muestra la diferencia entre las lluvias registradas y la precipitación efectiva.

Tabla 5. Diferencia entre la precipitación registrada y la precipitación efectiva calculada.

| | |
|-----------------------------------------------------|--------------|
| Precipitación total registrada en mm | 896,8 |
| Precipitación efectiva calculada total en mm | 718,2 |
| Diferencia en mm | 178,6 |
| Diferencia en % | 20 |

Se observa en la tabla 5 que la diferencia entre ambas precipitaciones fue de 178,6 mm, esto representa el 20 % del total registrado. De otra forma, del total de precipitaciones registradas y teniendo en cuenta las características de estas lluvias, el 78 % aproximadamente infiltró al suelo si consideramos despreciable la evaporación.

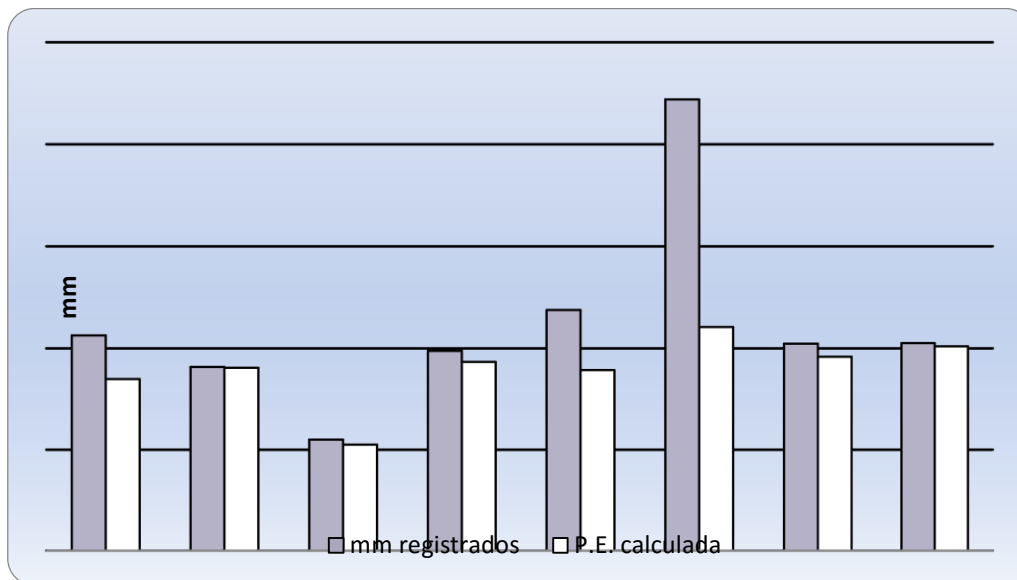


Figura 1. Precipitaciones registradas y precipitaciones efectivas calculadas mensuales.

En la figura 1 se puede observar que en la mayoría de los meses la P_E fue levemente inferior a la registrada, excepto en el mes de marzo que se produjeron lluvias de más de 200 mm, claramente puede apreciarse que al estar el suelo constantemente saturado la infiltración disminuye marcadamente ocasionando mayor escorrentía.

Observaciones finales.

Con este método de cálculo se logra obtener dos importantes datos:

- 1) Conocer que volúmenes aproximados de agua escurrirá por la superficie de suelo en una cuenca con características determinadas, dato fundamental si se pretende sistematizar superficies de captación de agua meteórica para su posterior almacenamiento.
- 2) Conocer cuánta agua proveniente de las precipitaciones infiltrará al perfil del suelo. Si bien estos datos no dicen mucho sobre qué cantidad de agua quedará disponible para los cultivos, debido a que no tiene en cuenta la evaporación tampoco el agua que se pierde por percolación profunda ni la que es retenida por la matriz del suelo, pero proporciona un valor más ajustado al que arroja el simple dato de lluvia solamente.

Comparando los mm de lluvias registradas con los mm de P_E calculada se aprecia, considerando un ambiente con las mismas características, como estos mm varían marcadamente en meses húmedos, la causa puede deberse a que la capacidad del suelo de infiltrar y retener agua es muy limitada al encontrarse constantemente húmedo durante periodos de tiempo lluviosos como lo fue el mes de marzo.

Para esta serie de registros en particular la P_E fue un 20 % (178,6 mm) inferior a la precipitación registrada. De otra forma, quiere decir que si se toma el valor 0,2 (20 %) como *coeficiente de escorrentía* y se lo multiplica por la precipitación registrada en el periodo de tiempo con el que se trabajó (896,8 mm), se obtendría la porción de lluvia que escurre por la superficie del suelo. Este número es levemente superior si se lo compara con los valores de *coeficiente de escorrentía* citada en la bibliografía, teniendo en cuenta las mismas condiciones de ambiente.