

# ESTIMACION DE LA RECARGA DE LLUVIA EN ZONAS DE LLANURA

**Juan A. Victoria**

Instituto Nacional del Agua - CRAS - San Juan  
Av. José I. de la Roza 125 este, 3º - 5400 San Juan – Tel. 0264-4225388 - mail [jvictoria@ina-cras.com.ar](mailto:jvictoria@ina-cras.com.ar)

## RESUMEN

El balance hídrico del suelo permite estimar la recarga de lluvia. La ecuación básica del balance, aplicada a cierto periodo de tiempo, es:

$$P - E = (SF - SI)$$

*P* : Precipitación en el periodo

*E* : Cantidad de agua evapotranspirada en el periodo.

*SI* : Cantidad de agua en el suelo al comenzar el periodo de balance.

*SF* : Cantidad de agua en el suelo al final del periodo de balance.

La precipitación (*P*) es la que se infiltra, o sea la que resulta de quitar a la lluvia total la cantidad que escurre y la interceptación. Por lo general la escorrentía superficial se estima como porcentaje de la lluvia. Cuando el suelo es arenoso, la escorrentía es pequeña ó prácticamente nula.

La zona de balance abarca el horizonte de suelo donde se almacena el agua que puede ser extraída por evapotranspiración.

Por lo general el intervalo de tiempo utilizado es el mes, criterio que subestima la recarga.

En el presente trabajo se calcula la recarga mediante el balance entre lluvias. Para esto es necesario conocer, para cada mes, el número de lluvias, el intervalo de tiempo entre ellas, la cantidad precipitada en cada una, las características del suelo y la evapotranspiración potencial.

Fijando el número de lluvias (*n*) y la precipitación total (*P*) de cualquier mes y admitiendo que las fechas de ocurrencia de las precipitaciones y sus respectivas magnitudes tengan carácter aleatorio, puede obtenerse, mediante un generador de números "random" y la aplicación de ecuaciones de balance, una población de la variable "recarga mensual" prácticamente infinita.

Tomando muestras de tamaño (*M*) de esa población se calcula la "media muestral", variable que se distribuye según la función Normal; puede entonces estimarse la media de la población, es decir, la Recarga Media Mensual.

La suma de las (*n*) precipitaciones en el mes es siempre igual a (*P*) y las fechas de los sucesos son (*n*) números aleatorios comprendidos entre 1 y 30 días.

Sumando las recargas medias mensuales se obtiene la Recarga Media Anual.

Para calcular el balance y la recarga se elaboró un programa con el software Sigma Plot 2001, el que provee también la función "random".

## BALANCE ENTRE LLUVIAS

### Definición de términos

- $n$ : Número de precipitaciones ó sucesos en el mes  $(1, 2, \dots, i, \dots, n)$
- $A_i$ : Cantidad de agua cuando ocurre el suceso  $i$  (suma de precipitación y agua en el suelo)
- $P_i$ : Cantidad de agua precipitada que se infiltra en el suceso  $i$
- $EP$ : Evapotranspiración potencial mensual.
- $EPD$ : Evapotranspiración potencial diaria  $(EP/30)$
- $EPP$ : Evapotranspiración potencial entre los sucesos  $(i, i-1)$
- $EPR$ : Evapotranspiración real entre los sucesos  $(i, i-1)$
- $D_i$ : Días transcurridos desde el comienzo del mes hasta cuando se produce el suceso  $i$
- $SI$ : Agua disponible en el suelo al comenzar el mes.
- $Si$ : Agua disponible en el suelo en el momento de ocurrir el suceso  $i$
- $S'i$ : Agua disponible en el suelo después de ocurrir el suceso  $i$
- $SMAX$ : Capacidad de almacenamiento del suelo (diferencia entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente); también, máxima cantidad de agua disponible en el suelo.
- $Ri$ : Recarga generada por el suceso  $i$

### Cálculo del balance

Se tiene, para el suceso  $i$

$$A_i = P_i + S_i$$

El cálculo de  $S_i$  es el siguiente:

$$EPP = (D_i - D_{i-1}) * \frac{EP}{30}$$

En caso de que

$$EPP > S'_{i-1}$$

entonces

$$EPR = S'_{i-1}$$
$$S_i = 0$$

En cambio, si

$$EPP < S'_{i-1}$$
$$EPR = (D_i - D_{i-1}) * \frac{EP}{30}$$
$$S_i = S'_{i-1} - EPP$$

Ahora se obtiene la recarga:

Si se verifica que

$$(A_i - SMAX) \geq 0$$

resulta

$$S'_i = SMAX$$
$$R_i = A_i - SMAX$$

Por el contrario, si

$$(A_i - SMAX) < 0$$

se tiene

$$S'_i = A_i$$
$$R_i = 0$$

Para calcular la recarga en cualquier mes es necesario entonces conocer el número de lluvias, el intervalo de tiempo entre ellas, la cantidad precipitada en cada una, las características del suelo y la evapotranspiración potencial.

### **Aplicación del balance entre lluvias**

Fijando el número de lluvias ( $n$ ) y la precipitación ( $P$ ) de cualquier mes y admitiendo que las fechas de ocurrencia de las precipitaciones y sus respectivas magnitudes tengan carácter aleatorio, puede obtenerse, mediante un generador de números "random" y la aplicación de las ecuaciones anteriores, una población de la variable "recarga mensual" prácticamente infinita.

Extrayendo muestras de tamaño ( $M$ ) de esa población se calcula la media muestral, variable que se distribuye según la función Normal; puede entonces estimarse la media de la población, es decir, la recarga media mensual.

La cantidad de valores de las variables "recarga mensual" y "evapotranspiración real mensual" es igual al tamaño de la muestra ( $M$ ).

La suma de las ( $n$ ) precipitaciones en el mes es siempre igual a ( $P$ ) y las fechas de los sucesos son ( $n$ ) números aleatorios comprendidos entre 1 y 30 días.

Las figuras 1 y 2 exponen dos muestras de tamaño 15 (meses) para el caso de 4 y 8 lluvias en el mes, que suman siempre 125 mm, cuyas fechas de ocurrencia y magnitudes son aleatorias. De cada muestra se obtienen 15 valores de recarga mensual y con estos se calcula la media muestral.

La aproximación de la media muestral a la media de la población es tanto mejor conforme el tamaño de la muestra ( $M$ ) se hace mayor. Para una buena aproximación, ó sea intervalos de confianza pequeños, debe ser  $M > 50$ .

Es importante señalar que el cálculo del balance requiere asumir alguna cantidad de agua en el suelo al comenzar el periodo. En el presente trabajo los valores iniciales de humedad se consideran iguales a la mitad de la capacidad de almacenamiento del suelo,  $SMAX$ .

### **Recarga en función del número de lluvias del mes**

Un aspecto particularmente interesante es la variación de la recarga, expresada como % de la precipitación mensual, con el número de lluvias, lo que se muestra en la figura 3.

En ése puede verse que la recarga disminuye cuando el número de lluvias aumenta y que, para una misma cantidad de sucesos ( $n$ ) decrece si la capacidad de almacenamiento del suelo se incrementa.

La figura 3 fue elaborada con los promedios de los 100 valores de recarga que resultaron de muestras de tamaño 100 para cada número ( $n$ ) de lluvias considerado; la lluvia total es siempre 125 mm y la evapotranspiración potencial 230 mm.

Considerando una capacidad de almacenamiento del suelo  $S_{MAX}$  de 50 mm, ya con 11 lluvias en el mes la recarga es nula. Si  $S_{MAX}$  es 100 mm, con más de 4 sucesos no se genera recarga.

Puesto que la precipitación total es la misma, cuando aumenta el número de lluvias la cuantía de la mayoría de ellas se hace menor. Por ello, buena parte de esas precipitaciones más pequeñas será retenida por el suelo y quedará disponible para ser evapotranspirada.

En definitiva, al aumentar la cantidad de lluvias en el mes la recarga disminuye y, consecuentemente, la evapotranspiración aumenta.

Para reafirmar que el balance mensual subestima la recarga, se muestra seguidamente el resultado del mismo, suponiendo el suelo con 50 mm de agua útil en el momento inicial:

$$P + SI = 125 + 50 = 175 \text{ mm}$$

Puesto que se asume evapotranspiración en el mes  $EP = 230$  mm, la recarga resulta nula.

La figura 3 muestra, en cambio, que esa lluvia sobre tal suelo puede generar recarga.

### **Recarga anual**

Los datos de precipitación y evapotranspiración potencial utilizados en este ejemplo son valores medios de la estación Villa Reynolds (S.M.N.) de la provincia de San Luis:

PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL  
VALORES MEDIOS MENSUALES

	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	TOTAL
PRECI.	20	20	25	50	70	110	125	80	90	40	25	20	675
E.POT.	75	125	160	185	220	240	230	180	150	110	80	65	1820

El valor de la recarga anual resulta de sumar las recargas mensuales y su magnitud depende, admitiendo que la cantidad de agua precipitada en cada mes sea constante, del número de lluvias en cada mes y de la capacidad de almacenamiento del suelo, fijada en 50 mm.

La cantidad de lluvias de cada mes es por cierto variable y para calcular la recarga anual deben utilizarse los valores de ( $n$ ) de cada mes. Estos pueden obtenerse de las estadísticas climatoló-

gicas en las que figuran, para cada mes, el promedio de los días con lluvia. Por ejemplo: julio (4), agosto (6), noviembre(8), diciembre (11), etc.

La cantidad de agua disponible en el suelo al comenzar el año se supone igual a la mitad de la capacidad de almacenamiento, ó sea 25 mm.

Para los otros meses, la cantidad inicial de agua en el suelo es el remanente del mes anterior.

En la figura 4 se muestra la recarga anual expresada como % de la precipitación anual, en función de esta última. La cantidad de lluvias en cada mes se supuso constante e igual a 4. En realidad, como se dijo, esto no es así, pero es sólo un ejemplo de la metodología.

Una muestra de la recarga anual está definida por la suma de 12 valores de recarga mensual.

Si el tamaño de la muestra de la recarga anual es 100, significa que se obtuvieron 100 sumas de 12 valores de recarga mensual cada una.

Puesto que la recarga anual media es la suma de las medias muestrales de la recarga de cada mes, se distribuye también según la función Normal.

La evapotranspiración potencial anual se mantiene constante e igual a 1820 mm.

Lógicamente, la recarga aumenta con la precipitación, pero existe una precipitación mínima por debajo de la cual no hay recarga alguna. En el ejemplo la lluvia mínima es de unos 400 mm/año.

## CONCLUSIONES

El balance mensual del agua en el suelo subestima la recarga de lluvia, lo que debe tenerse presente cuando se aplica ese criterio.

El balance diario entre lluvias mejora notablemente la estimación de la recarga.

Aplicar el balance entre lluvias implica analizar el régimen pluviométrico de cada mes del año: cantidad de lluvias, intervalo de tiempo entre las mismas y cantidad de agua precipitada en cada una.

La mayor recarga tiene lugar en terrenos con baja capacidad de almacenamiento de agua, como suelos y sedimentos arenosos, éstos últimos frecuentes en médanos.

## BIBLIOGRAFÍA

**Lerner, David N.; Issar Arie S.; Simmers Ian;** (1990) *Groundwater Recharge. A Guide to Understanding and Estimating Natural Recharge.* International Association of Hydrogeologists. Volume 8

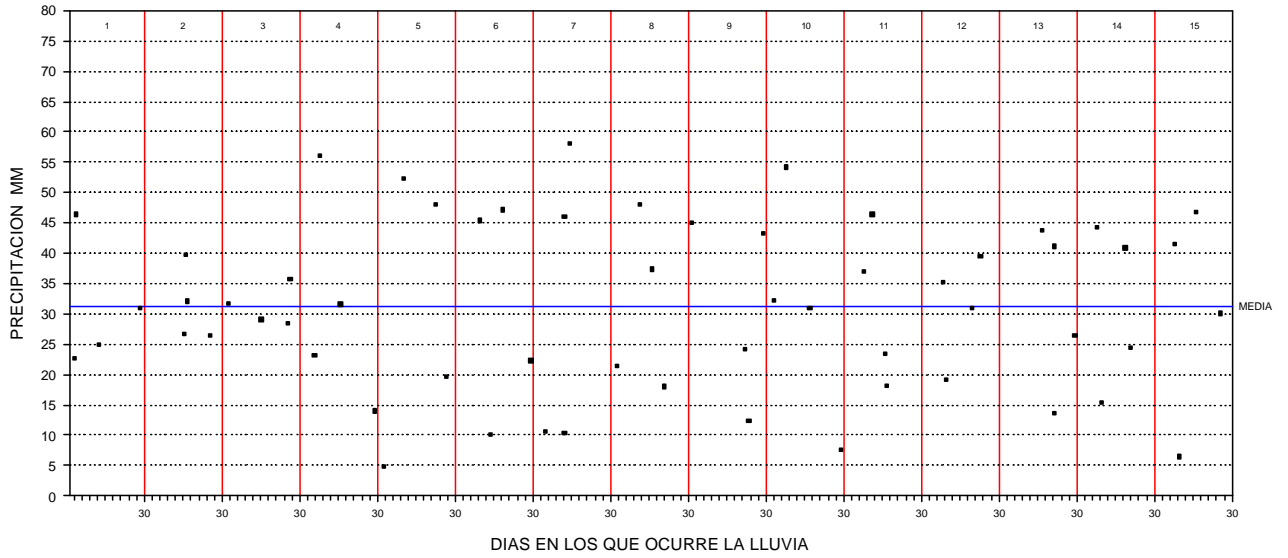


Figura 1. 15 muestras al azar de 4 lluvias en el mes; precipitación mensual 125 mm

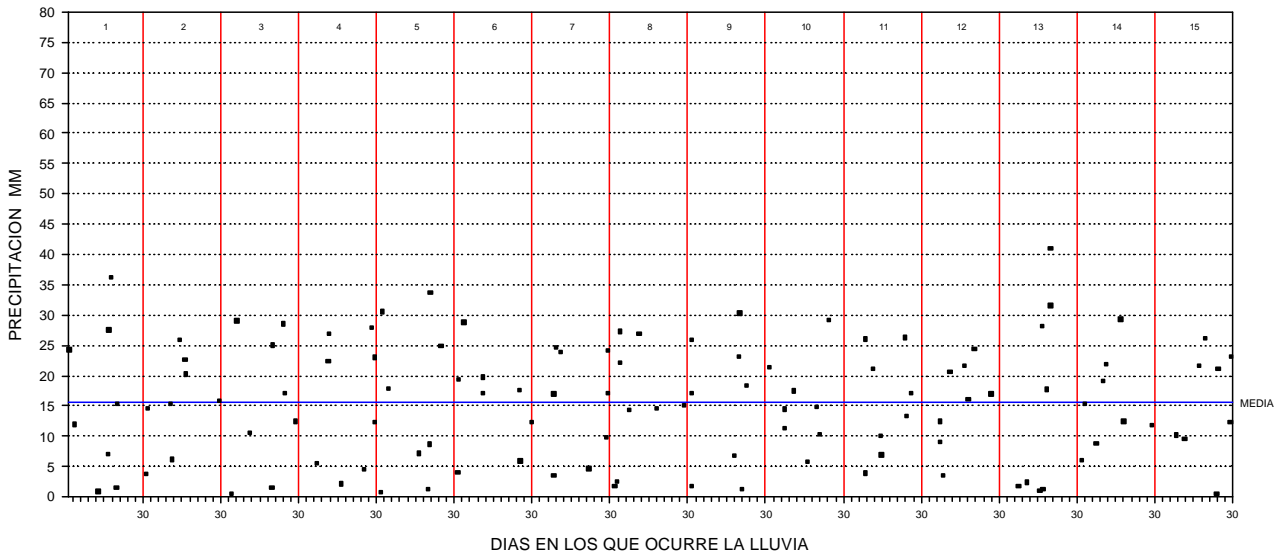


Figura 2. 15 muestras al azar de 8 lluvias en el mes; precipitación mensual 125 mm

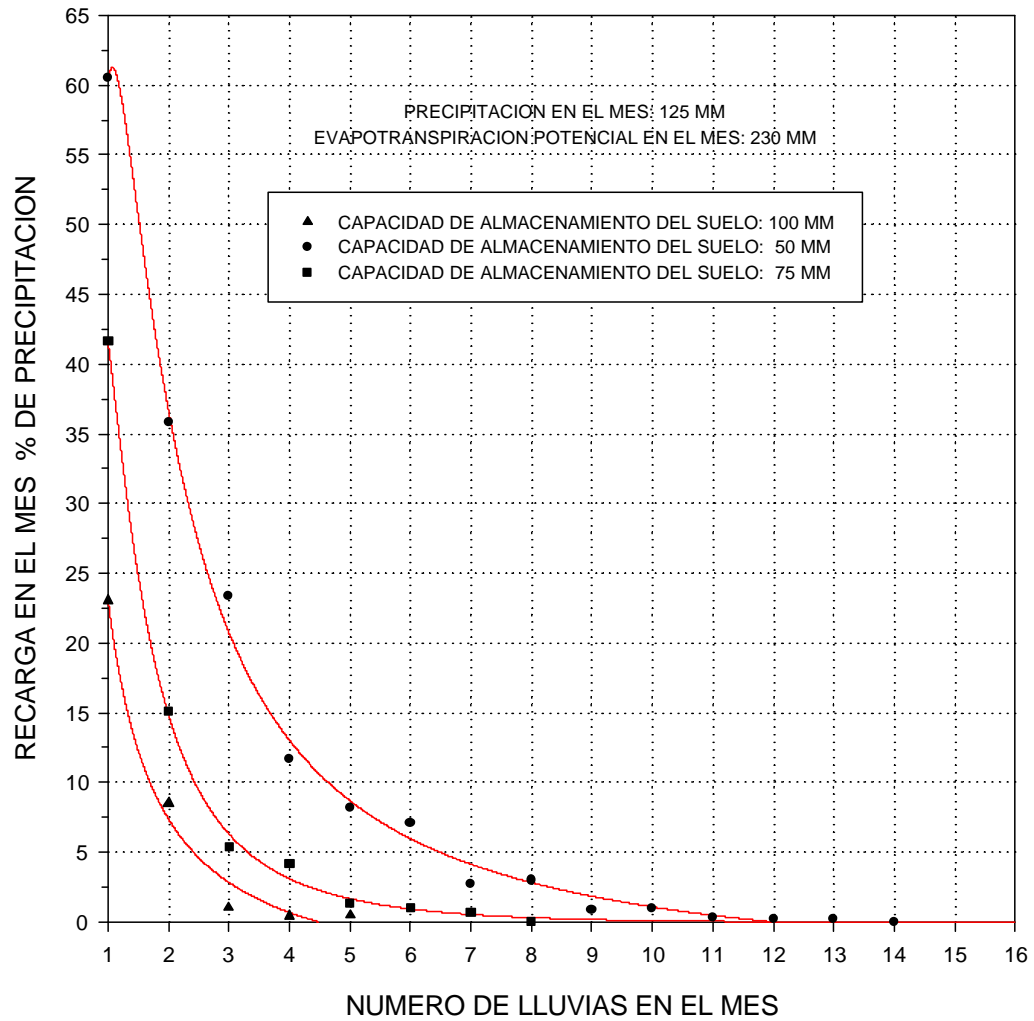


Figura 3. Recarga mensual vs número de lluvias; promedios de 100 valores de recarga para cada número de lluvias

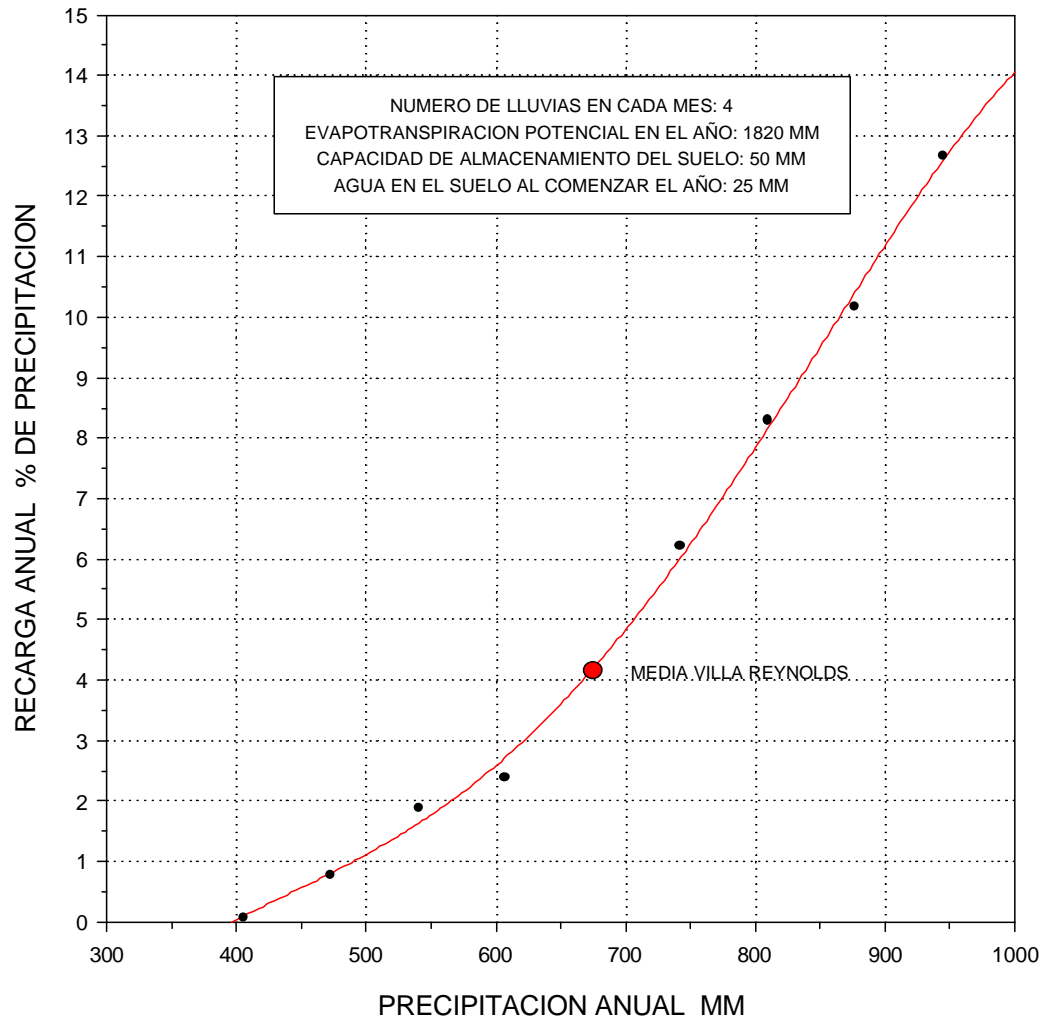


Figura 4. Recarga anual vs precipitación anual; promedios de 100 valores de recarga anual para cada precipitación