



---

# **TRABAJOS PRÁCTICOS**

## **BALANCE HÍDRICO y RECARGA DE ACUÍFEROS**



**ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE HIDROGEOLOGOS, GRUPO CHILENO**

**Dr. Carlos Juan Schulz**

**Dr. Rodolfo Fernando García**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SALTA**

**Noviembre de 2015**

## INTRODUCCIÓN

Una estimación adecuada de la recarga enfrenta varios desafíos, como la determinación del efecto de las variaciones climáticas y los cambios en el uso de la tierra, la influencia de la geomorfología y la representatividad de ciertos parámetros puntuales extrapolados (de Vries y Simmers, 2002).

La recarga, especialmente en regiones semiáridas, resulta altamente variable en espacio y tiempo. Por ello, numerosos autores (Samper, 1997, Simmers, 1997, Custodio, 1997; Hendrickx y Walker, 1997; Scanlon et al., 2002) recomiendan la aplicación de varios métodos para el contraste de los resultados.

Dado que no existen métodos de medición directa de la recarga, o bien solo son puntuales (Lerner et al, 1990), surge la necesidad de determinar un valor a partir de varios métodos indirectos que estiman la recarga, debido a las limitaciones de cada uno. Por lo tanto es necesaria la comparación entre los mismos, para así poder obtener un valor o un rango de variación de la recarga lo suficientemente confiable. Con tal motivo se pueden emplear distintos métodos, entre los cuales los más reconocidos son: balance hidrometeorológico, balance de masa del ion cloruro y análisis de fluctuaciones freáticas.

## BALANCE DEL ION CLORURO

El método de balance del ion cloruro como ha sido desarrollado por Eriksson y Khunakasem (1969), compara la deposición total de cloruro en la superficie con la concentración en el agua del suelo por debajo de la zona activa de las raíces o con la concentración en el agua del acuífero. Es un método muy difundido para el cálculo de la recarga debido a que las determinaciones son rápidas y de bajo costo y está extensamente documentado en varias revisiones (Allison et al. 1994, Scanlon et al. 2002). Si bien el método es más atractivo para zonas áridas y semiáridas con alta evaporación donde se lo ha aplicado mayoritariamente (Edmunds et al. 1988, Wood et al. 1997), también ha sido utilizado en zonas húmedas (Bromley et al. 1997; Rosen et al. 1999, Lo Russo et al. 2003).

Suponiendo que el aporte de cloruros tomados del suelo o aportados de forma artificial es nulo y que la retención de cloruros por parte de la vegetación es igual a la liberación de los mismos al morir dicha vegetación, se obtiene:

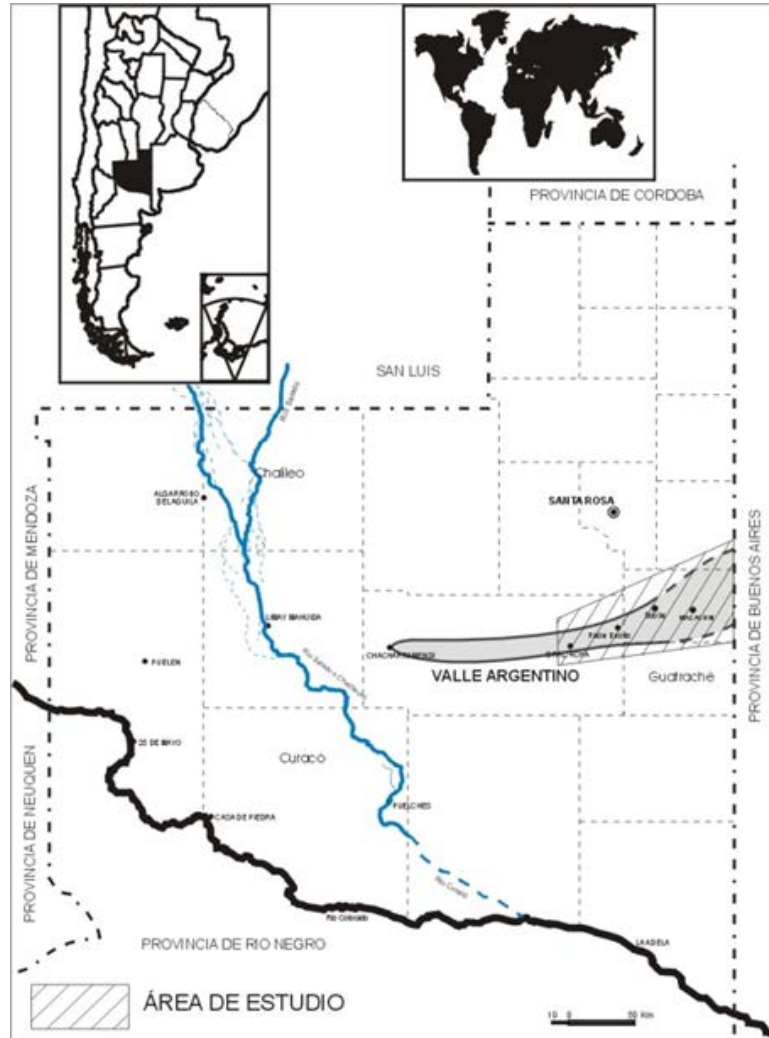
$$R/C_R = P/C_p - E_s C_e$$

Este planteamiento puede simplificarse notablemente en la práctica asumiendo que el ion cloruro, no es aportado por el terreno, y que dadas las características edáficas como la alta permeabilidad y geomorfológicas existentes, la escorrentía superficial es nula y por lo tanto despreciable por lo que se puede desechar los términos  $E_s$  y  $C_e$ . Además y fundamentalmente, si se trabaja con  $\Delta t$  lo suficientemente largos  $\Delta M \rightarrow 0$  y se pueden utilizar valores medios. Asimismo en zonas áridas o semiáridas, se puede considerar que el flujo de masa de precipitación es igual al de recarga, siendo ésta una aproximación suficiente y dado que los otros términos del balance son de un orden de magnitud inferior (Custodio, 1997), se puede plantear como:

$$R = C_p / C_{AS} * P$$

Donde **R** es la recarga, **P** la precipitación, **C<sub>p</sub>** y **C<sub>AS</sub>** representan la concentración de cloruros en la precipitación y en el agua subterránea respectivamente y su cociente representa el coeficiente de recarga medio.

**Práctico N° 1:** En una área semiárida-árida de la Provincia de La Pampa (Argentina) se trata de estimar los valores de recarga en dos sitios, aplicando el método del balance del ion cloruro. Para tal fin se instalaron en la zona de trabajo, dos colectores de agua de lluvia. Uno ubicado en el establecimiento rural El Escabel ubicado a la altura del Km 12 de la Ruta Nacional N° 152, y el otro muy cercano al paraje de Resguardo Padre Buodo, precisamente sobre la Ruta Nacional N° 152, a la altura del Km 4. La distancia entre ambos es de aproximadamente 90 Km



En las estaciones El Escabel y Padre Buodo se determinó la concentración de cloruros en el agua de lluvia, durante los años 1999 y 2000 para la primera y entre 1997 y 2000 para la segunda, considerándose el valor más adecuado a aplicar es el promedio de la serie. Además, se realizaron muestreos de agua subterránea en ambas estaciones, a partir de pozos someros, asumiendo que el valor de cloruros obtenido es sensiblemente similar a la recarga en tránsito a punto de incorporarse al acuífero. También se determinó la concentración de cloruros en un pozo freático de la localidad de General Acha. Los valores obtenidos de concentraciones de cloruros en el agua subterránea son los siguientes:

*Tabla 1: Concentraciones de cloruros en el agua subterránea.*

Ubicación	Concentración de Cloruros
General Acha	16 mm/l.
Padre Buodo	12 mg/l.
El Escabel	32 mg/l.

*Tabla 2: Concentraciones de cloruros en el agua de lluvia de Estación El Escabel.*

Mes	Cloruros (ppm)	Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Lluvia (mm)
ene-99	1,6	44,1	18
feb-99	0,95	22,85	42
mar-99	0,4	16,48	95
abr-99	0,3	16,05	95
may-99	0,83	28,73	32
jun-99	1,2	27,8	19
jul-99	1,2	28,1	5
ago-99	1,5	66,4	5
sep-99	1,02	53,1	70,5
oct-99	0,45	19,15	44
nov-99	0,48	20,3	78
dic-99	0,58	18,3	56
ene-00	0,41	15,3	15
feb-00	0,15	8,45	96
mar-00	0,5	13,43	100
abr-00	1,1	15,2	113
may-00	1,8	18	78
jun-00	0,9	25,2	16
jul-00	0,6	22,3	15
ago-00	0,4	32,5	11
sep-00	3,533	48,56	32
oct-00	1,18	21,14	106
nov-00	0,5	26,5	14,8
dic-00	6,8	139,8	2
ene-01	0,7	31,5	3
feb-01	4,4	83,1	5
mar-01	0,8	22,8	3
abr-01	0,98	19,6	12
may-01	1,35	17,5	10
jun-01	0,7	18,3	9
jul-01	2,6	49,2	11

Tabla 3: Concentraciones de cloruros en el agua de lluvia de Estación Padre Buodo.

Mes	Cloruros (ppm)	Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Lluvia (mm)
sep-97	2,7	40,8	10,0
oct-97	3,6	28,9	35,0
nov-97	2,7	12,7	114,0
dic-97	2,9	20,4	146,0
ene-98	1,2	22,3	200,0
feb-98	0,2	12,9	106,0
mar-98	0,3	15,5	17,0
abr-98	0,4	12,2	114,0
may-98	0,7	17,3	31,0
jun-98	1,6	34,6	10,0
jul-98	1,8	53,0	5,0
ago-98	0,3	15,0	18,9
sep-98	1,5	28,8	25,0
oct-98	0,7	31,0	21,2
nov-98	0,6	17,3	70
dic-98	1,2	27,4	59,0
ene-99	0,4	23,6	111,0
feb-99	1,0	21,5	51,0
mar-99	0,3	14,7	114,0
abr-99	0,6	15,4	153,0
may-99	1,1	31,5	23,0
jun-99	1,2	30,9	17,0
jul-99	1,2	31,7	12,0
ago-99	0,6	20,6	40,0
sep-99	0,8	30,4	99,0
oct-99	1,3	24,5	77,0
nov-99	0,4	15,9	172,0
dic-99	1,2	40,0	135,0
ene-00	1,5	38,2	54,0
feb-00	0,5	21,0	121,0
mar-00	0,4	22,6	102,0
abr-00	0,7	20,9	40,0
may-00	0,7	22,7	102,0
jun-00	1,2	43,0	7,0
jul-00	1,7	41,4	5,0
ago-00	0,3	12,2	16,0
sep-00	0,3	13,5	14,0
oct-00	0,6	16,8	140,0
nov-00	0,8	17,9	21,0
dic-00	4,0	92,9	4,0

**Determinar:**

1. La Recarga mensual y anual para las Estaciones El Escabel y Padre Buodo.
2. La relación entre la conductividad eléctrica y los valores mensuales de la precipitación en ambas estaciones.
3. La relación entre el contenido de cloruros en el agua de lluvia y la conductividad eléctrica en las dos estaciones citadas.
4. Comparar los valores de recarga entre los sitios mencionados.
5. Se puede estimar la recarga en la localidad de General Acha ?

## ANÁLISIS DE FLUCTUACIONES PIEZOMÉTRICAS

Para el estudio de las oscilaciones del nivel freático se tendrá que hacer tener en cuenta piezómetros con una profundidad determinada de acuerdo a las características del acuífero a estudiar, con una serie de datos periódicos.

El balance hídrico de un sistema acuífero freático puede plantearse con la siguiente ecuación:

$$I_e + [(Q_i - Q_o)/A].Dt - [(Q_b/A).Dt] = Dh.S \quad (1)$$

Dónde:

$I_e$ : Infiltración eficaz (L);

$Q_i$  y  $Q_o$ : Caudal subterráneo entrante y saliente respectivamente ( $L^3.T^{-1}$ );

$A$ : Área del acuífero ( $L^2$ );

$Dt$ : Período de aplicación del balance (T);

$Q_b$ : Caudal extraído por bombeo ( $L^3.T^{-1}$ );

$Dh$ : Fluctuación del nivel freático en el período considerado (L) y

$S$ : Rendimiento Específico.

Si se considera un período sin explotación, despejando en (1), resulta:

$$I_e = (Dh.S) - [(Q_i - Q_o)/A].Dt \quad (2)$$

De acuerdo a la ecuación (2) es posible calcular la infiltración eficaz en un área a partir de datos de fluctuación del nivel freático y de cálculos del caudal subterráneo entrante y saliente. Según la ecuación (1), si se toma un período sin recarga, en un acuífero no afectado por bombeo, ni por evapotranspiración directa, la fluctuación del nivel freático es igual a la diferencia entre el caudal subterráneo entrante y saliente del área analizada. Si durante tales intervalos los niveles se profundizan, la lámina de descenso equivale a la que sale del área por escurrimiento subterráneo. Esta fluctuación negativa es asimilable a lo que Olin (1995) denomina "tasa de recesión", la cual puede obtenerse a partir de períodos de nivel descendente.

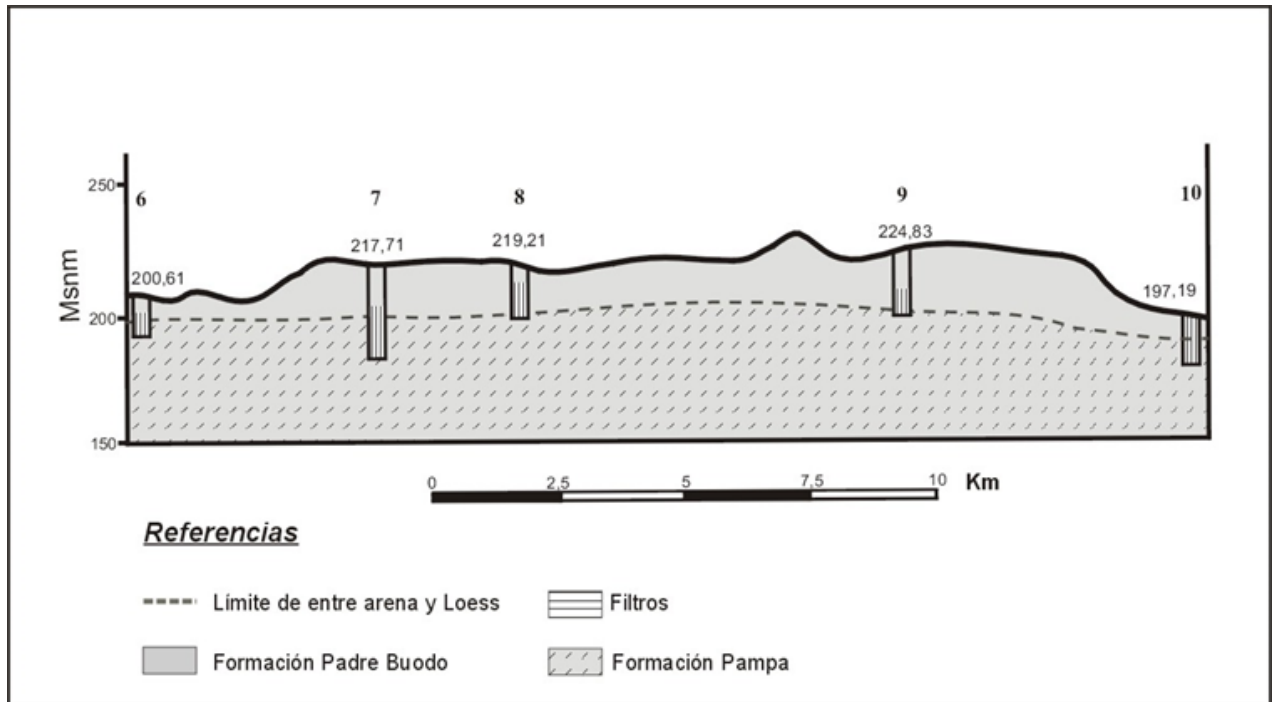
$$TR = (\Delta h.S / t) \quad (3)$$

Dicha tasa de recesión (TR) puede reemplazar al segundo término de la ecuación anterior, obteniéndose (Mariño y Bonorino, 1996):

$$R = (\Delta h.S) - (TR . \Delta t) \quad (4)$$

Siendo **R** la recarga,  **$\Delta h$**  la fluctuación del nivel freático (nivel final menos nivel inicial, empleándose alturas piezométricas), **S** el rendimiento específico, **TR** la tasa de recesión y  $\Delta t$  el período de tiempo considerado.

**Práctico N° 2:** Para la zona de General Acha, Provincia de La Pampa, República Argentina, se midieron registros de niveles piezométricos de 5 pozos cuyas series de datos mensuales abarcan aproximadamente el período Mayo de 1981 a Junio de 2003. Los pozos freáticos se ubican sobre la ruta Provincial N° 9 desde General Acha a la localidad de Utracán e incluye a los freáticos 6 al 10.



El registro se dividió en sub - períodos que van desde el año 1981 a 1995 los cuales representan satisfactoriamente el ciclo hidrológico medio (datos en archivos Excel). Con tal división, se evita la ocurrencia de precipitaciones importantes sobre el fin de cada intervalo, cuyo efecto sobre los niveles podría manifestarse en el ciclo subsiguiente.

Se asumió un rendimiento específico de 0,04, que es el menor de dos valores obtenidos en ensayos de bombeo del nivel arenoso superior (Tullio, 1990) y coincide con otro dado por Ruiz, (1980).

Para el periodo 1981-1995 la media interanual de precipitaciones fue de 640 mm contrastada con la de 520 mm para el periodo 1921-1982. Se supone que para este valor de precipitación ya existe un equilibrio entre entradas y salidas de agua, por lo cual la suma de las lluvias en los últimos años provocó un ascenso de los niveles.

**Determinar:**

1. La Recarga por las variaciones piezométricas.

Período	S	TR (mm/día)	$\Delta t$	$\Delta h$ (mm)	Recarga (mm)	Lluvias (mm)	% Lluvias
1981-1986							
1986-1991							
1996-2001							
2001-2003							

Tabla 4: Precipitaciones media del período 1980 – 2003 en la localidad de General Acha.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1980	31,0	110,0	56,0	74,0	7,0	4,0	23,0	0,0	2,0	56,0	88,0	14,0	465,0
1981	66,5	94,0	17,0	109,0	51,0	30,0	0,0	9,0	0,0	49,0	36,0	31,0	492,5
1982	116,0	36,0	6,0	134,0	44,0	4,5	25,0	0,0	54,0	45,0	42,0	34,0	540,5
1983	128,0	19,0	78,0	84,0	0,0	0,0	0,0	30,0	19,0	30,0	9,0	74,0	471,0
1984	34,0	234,0	182,0	78,0	40,0	20,0	14,0	31,0	92,0	39,0	209,0	53,0	1026,0
1985	268,0	75,0	29,0	30,0	11,0	3,0	139,3	0,0	41,0	144,0	63,0	40,5	843,8
1986	174,0	7,0	18,0	84,0	15,0	18,0	0,0	0,0	12,0	65,0	17,0	129,0	539,0
1987	24,0	16,0	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	-
1988	0,0	75,1	132,0	0,0	0,0	2,0	11,0	55,0	139,5	21,0	32,0	27,0	494,6
1989	46,0	13,0	100,0	0,0	80,0	27,7	39,5	52,5	32,0	17,0	49,7	94,0	551,4
1990	124,0	49,0	149,0	0,0	46,0	0,0	0,0	12,0	24,0	75,0	16,0	55,0	550,0
1991	251,0	70,0	76,0	63,0	84,0	61,0	8,0	41,5	38,0	18,0	104,0	183,5	998,0
1992	185,5	67,0	205,5	37,7	52,5	2,5	0,0	39,2	68,0	66,0	83,9	327,0	1134,8
1993	34,4	61,0	101,7	47,5	23,0	0,0	0,0	0,0	13,0	67,2	s/d	120,0	-
1994	42,4	59,5	65,5	45,0	65,0	22,0	54,4	45,7	0,0	33,7	27,0	55,0	515,2
1995	70,9	41,5	86,0	80,0	28,0	7,0	0,0	6,2	15,2	64,2	95,5	0,0	494,5
1996	60,0	70,0	38,0	40,5	16,0	6,0	27,0	42,5	21,0	10,0	82,8	286,2	700,0
1997	55,5	72,5	129,8	4,0	4,0	50,0	77,0	9,5	30,5	76,0	43,0	61,0	612,8
1998	206,5	197,0	20,0	59,5	21,0	7,0	0,0	9,0	15,5	15,0	110,5	66,0	727,0
1999	116,0	36,0	165,5	144,0	23,5	23,0	11,5	2,0	72,0	73,0	174,0	130,0	970,5
2000	63,0	134,0	94,0	21,0	110,5	11,0	7,0	44,0	14,0	140,5	21,0	12,0	672,0
2001	102,0	59,0	218,0	86,0	28,0	28,0	18,5	31,5	115,0	133,5	101,5	61,5	982,5
2002	34,5	75,0	30,0	76,0	59,0	4,0	3,5	61,0	27,0	157,5	35,0	116,0	678,5
2003	21,5	53,0	58,5	34,0	29,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	196,0



## BALANCE DE AGUA EN EL SUELO O BALANCE HIDROMETEOROLÓGICO

Un balance hídrico es la aplicación del principio de la conservación de masa a una cierta región cuyo volumen es conocido, y durante el tiempo en que se realiza el balance, la diferencia entre el total de entradas y el total de salidas debe ser igual al cambio de agua en el almacenamiento de dicho volumen. El balance cuantifica cada uno de sus componentes para cada uno de los períodos de cálculo, para ello se parte de condiciones iniciales de humedad conocidas y tomando como entradas la precipitación, escorrentía superficial y riego se calcula el resto de los componentes del balance de agua. La mayoría de los componentes de un balance (Infiltración, Escurrimiento Superficial, Evapotranspiración) dependen de forma no lineal, principalmente la Evapotranspiración Real y el Escurrimiento Superficial y del contenido de humedad del suelo, por ello su resolución requiere de métodos interactivos.

El balance se debe plantear a nivel del suelo y a escala mensual, Se estimará una reserva de agua útil, considerándola completa al comienzo de Julio. Se asume que los excesos de las precipitaciones, alcanzan el nivel saturado. La evapotranspiración se determinará por el método de Thorthwaite. El balance de agua en el suelo se confeccionara con paso anual para la serie considerada y considerando la Evotranspiración Potencial constante debido fundamentalmente a que el método de cálculo empleado se asienta en las temperaturas medias y la latitud (Custodio Llamas, 1983). La estimación de la recarga por este método consiste en la aplicación del principio de conservación de masa a una región de volumen conocido y definida por ciertas condiciones de contorno (Samper Calvete, 1998); se emplea un enfoque indirecto o residual, por lo que todas las variables en la ecuación, excepto la recarga (R), están medidas o estimadas y R se fija igual a la diferencia resultante.

$$R = P - ET - R_0 - \Delta S$$

Dónde: P es la precipitación, ET es la evapotranspiración,  $R_0$  es la escorrentía superficial y  $\Delta S$  es el cambio de agua del suelo.

**Práctico N° 3:** Realizar el balance para un área semidesértica donde funciona una estación meteorológica situada a 36° 13' LS y 65° 26' LO. En el lugar, se han obtenido los siguientes valores medios para la serie 1941/90.

	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
P (mm)	19.0	11.4	23.8	55.2	75.3	63.1	75.6	63.5	76.1	53.4	22.7	17.0
T (°C)	7.4	8.6	13.7	17.5	20.1	22.6	24.6	21.6	19.8	14.3	12.1	7.1
ETP (mm)	15.2	25.4	42.3	69.0	97.2	134.4	148.8	103.4	87.4	50.2	30.0	

Otros datos medios para la zona son:

Profundidad radicular:	0,5 metros.
Densidad aparente:	1,1
Capacidad de campo:	18 %
Punto de marchitez permanente:	7 %

### Determinar:

1. La evapotranspiración potencial (ETP) para el mes de Junio, por el método de Thorthwaite, sabiendo que para ese mes la temperatura media mensual es de 7,1 °C.
2. Evapotranspiración real (ETR) para cada mes del año, suponiendo que el día 1 de Julio la reserva de agua utilizable (RAU) se estime completa.
3. Recarga anual en  $Hm^3$  por infiltración directa de la precipitación, suponiendo que el 30 % de los excedentes corresponde a escorrentía directa, para un área de 500 hectáreas.
4. Volumen anual de agua necesario para el riego de una zona de 4000 hectáreas, suponiendo que las pérdidas por conducción y aplicación pueden estimarse en el 30 %.

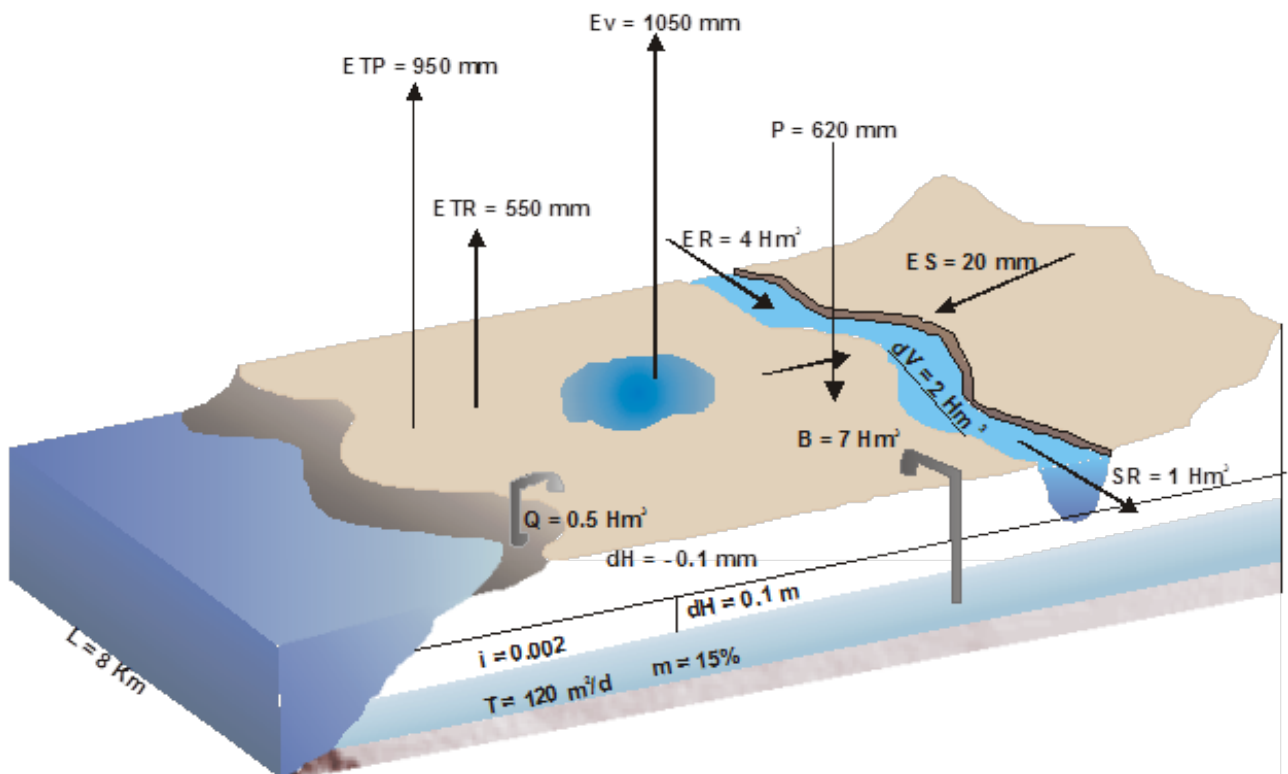
**Práctico N° 4:** En un acuífero alimentado por la lluvia y por la infiltración de un río se han tomado los siguientes datos correspondientes a un cierto año hidrológico:

Pluviometría (P) =	620 mm
Escorrentía superficial (ES) =	20 mm (que aporta al curso fluvial principal)
Evapotranspiración Potencial (ETP) =	950 mm
Evapotranspiración Real (ETR) =	550 mm
Evaporación en lámina libre (Ev) =	1050 mm
Incremento de la humedad del suelo ( $\Delta R$ ) =	-10 mm
Aportación del río (ER) =	4 Hm <sup>3</sup>
Salida del río (SR) =	1 Hm <sup>3</sup>

Existe un pequeño embalse cuyo volumen ha aumentado ( $\Delta V$ ) =	2 Hm <sup>3</sup>
Descenso regional medio de los niveles freáticos ( $\Delta H$ ) =	0,1 metros
Bombeo (B) =	7 Hm <sup>3</sup>

El acuífero no tiene conexión con otros acuíferos y está limitado por un borde impermeable, excepto a lo largo (L) = 8 Km de costa, donde el gradiente piezométrico (i) hacia el mar se ha mantenido en el entorno de  $i = 0,002$ , con una transmisividad (T) = 120 m<sup>2</sup>/día.

El acuífero tiene una porosidad eficaz (m) = 15 % y su superficie es de S = 90 Km<sup>2</sup>. En una zona deprimida central existe un área húmeda permanente de agua dulce con una superficie de S' = 1 Km<sup>2</sup>, de los cuales 0,5 Km<sup>2</sup> están cubiertos por vegetación y el resto lacustre. Cerca del mar y en el fondo de un barranco existe un manantial con un caudal, Q = 0,5 Hm<sup>3</sup>, y es utilizado para riego (los excedentes o retornos de riego se calculan  $\beta = 20\%$ ). El área se encuentra en estado seminatural.



**Determinar:**

El balance hídrico anual y comentar los resultados y su validez. Efectuarlo en los siguientes pasos:

1. Calcular la recarga anual al acuífero por la lluvia en la zona no húmeda.
2. Calcular las entradas al acuífero (incluyendo infiltración del río).
3. Calcular las salidas del acuífero.
4. Calcular el error del balance de aguas subterráneas.
5. ¿Qué tres términos del balance son dominantes y merecen un control y un estudio con detalle?. Justificar la respuesta.

	Recarga por la pluviometría.
	Recarga por el río.
	Escorrentía superficial en el área.
	Extracciones por bombeo.
	Salida al mar.
	Evaporación en la zona húmeda.
	Salida por el manantial.
	Piezometría.
	Porosidad eficaz.

Tabla 5: Conversión de la temperatura media mensual al índice calórico.

T (°C)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0			0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07
1	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.16	0.18	0.20	0.21	0.23
2	0.25	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39	0.42	0.44
3	0.46	0.48	0.51	0.53	0.56	0.58	0.61	0.63	0.66	0.69
4	0.71	0.74	0.77	0.80	0.82	0.85	0.88	0.91	0.94	0.97
5	1.00	1.03	1.06	1.09	1.12	1.16	1.19	1.22	1.25	1.29
6	1.32	1.35	1.39	1.42	1.45	1.49	1.52	1.56	1.59	1.63
7	1.66	1.70	1.74	1.77	1.81	1.85	1.89	1.92	1.96	2.00
8	2.04	2.08	2.12	2.15	2.19	2.23	2.27	2.31	2.35	2.39
9	2.44	2.48	2.52	2.56	2.60	2.64	2.69	2.73	2.77	2.81
10	2.86	2.90	2.94	2.99	3.03	3.08	3.12	3.16	3.21	3.25
11	3.30	3.34	3.39	3.44	3.48	3.53	3.58	3.62	3.67	3.72
12	3.76	3.81	3.86	3.91	3.96	4.00	4.05	4.10	4.15	4.20
13	4.25	4.30	4.35	4.40	4.45	4.50	4.55	4.60	4.65	4.70
14	4.75	4.81	4.86	4.91	4.96	5.01	5.07	5.12	5.17	5.22
15	5.28	5.33	5.38	5.44	5.49	5.55	5.60	5.65	5.71	5.76
16	5.82	5.87	5.93	5.98	6.04	6.10	6.15	6.21	6.26	6.32
17	6.38	6.44	6.49	6.55	6.61	6.66	6.72	6.78	6.84	6.90
17	6.95	7.01	7.07	7.13	7.19	7.25	7.31	7.37	7.43	7.49
19	7.55	7.61	7.67	7.73	7.79	7.85	7.91	7.97	8.03	8.10
20	8.16	8.22	8.28	8.34	8.41	8.47	8.53	8.59	8.66	8.72
21	8.78	8.85	8.91	8.97	9.04	9.10	9.17	9.23	9.29	9.36
22	9.42	9.49	9.55	9.62	9.68	9.75	9.82	9.88	9.95	10.01
23	10.08	10.15	10.21	10.28	10.35	10.41	10.48	10.55	10.62	10.68
24	10.75	10.82	10.89	10.95	11.02	11.09	11.16	11.23	11.30	11.37
25	11.44	11.50	11.57	11.64	11.71	11.78	11.85	11.92	11.99	12.00
26	12.13	12.21	12.28	12.35	12.42	12.49	12.56	12.63	12.70	12.78
27	12.85	12.92	12.99	13.07	13.14	13.21	13.28	13.36	13.43	13.50
28	13.58	13.65	13.72	13.80	13.87	13.94	14.02	14.09	14.17	14.24
29	14.32	14.39	14.47	14.54	14.62	14.69	14.77	14.84	14.92	14.99
30	15.07	15.15	15.22	15.30	15.38	15.45	15.53	15.61	15.68	15.76
31	15.84	15.92	15.99	16.07	16.15	16.23	16.30	16.38	16.46	16.54
32	16.62	16.70	16.78	16.85	16.93	17.01	17.09	17.17	17.25	17.33
33	17.41	17.49	17.57	17.65	17.73	17.81	17.89	17.97	18.05	18.13
34	18.22	18.30	18.38	18.46	18.54	18.62	18.70	18.79	18.87	18.95
35	19.03	19.11	19.20	19.28	19.36	19.45	19.53	19.61	19.69	19.78
36	19.86	19.95	20.03	20.11	20.20	20.28	20.36	20.45	20.53	20.62
37	20.70	20.79	20.87	20.96	21.04	21.13	21.21	21.30	21.38	21.47
38	21.56	21.64	21.73	21.81	21.90	21.99	22.07	22.16	22.25	22.28
39	22.42	22.51	22.59	22.68	22.77	22.86	22.95	23.03	23.12	23.21
40	23.30									

Tabla 6: Evapotranspiración Potencial (ETP) mensual, sin ajustar, para temperaturas de 26,5 °C y superiores.

T (°C)	ETP (mm)	T (°C)	ETP (mm)
26.5	135.0	32.5	175.3
27.0	139.5	33.0	177.2
27.5	143.7	33.5	179.0
28.0	147.8	34.0	180.5
28.5	151.7	34.5	181.8
29.0	155.4	35.0	182.9
29.5	158.9	35.5	183.7
30.0	162.1	36.0	184.3
30.5	165.2	36.5	184.7
31.0	168.0	37.0	184.9
31.5	170.7	37.5	185.0
32.0	173.1	38.0	185.0

Tabla 7: Duración media del resplandor solar posible en el hemisferio sur. (Expresado en unidades de 30 días de 12 horas cada uno).

Latitud	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5	1.06	0.95	1.04	1.00	1.02	0.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
10	1.08	0.97	1.05	0.99	1.01	0.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
15	1.12	0.98	1.05	0.98	0.98	0.94	0.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
20	1.14	1.00	1.05	0.97	0.96	0.91	0.95	0.99	1.00	1.08	1.09	1.15
22	1.14	1.00	1.05	0.97	0.95	0.90	0.95	0.99	1.00	1.09	1.10	1.16
23	1.15	1.00	1.05	0.97	0.95	0.89	0.94	0.98	1.00	1.09	1.10	1.17
24	1.16	1.01	1.05	0.96	0.94	0.89	0.93	0.98	1.00	1.10	1.11	1.17
25	1.17	1.01	1.05	0.96	0.94	0.88	0.93	0.98	1.00	1.10	1.11	1.18
26	1.17	1.01	1.05	0.96	0.94	0.87	0.92	0.98	1.00	1.10	1.11	1.18
27	1.18	1.02	1.05	0.96	0.93	0.87	0.92	0.97	1.00	1.10	1.12	1.19
28	1.19	1.02	1.06	0.95	0.93	0.86	0.91	0.97	1.00	1.11	1.13	1.19
29	1.19	1.03	1.06	0.95	0.92	0.86	0.90	0.96	1.00	1.12	1.13	1.20
30	1.20	1.03	1.06	0.95	0.92	0.85	0.90	0.96	1.00	1.12	1.14	1.21
31	1.20	1.03	1.06	0.95	0.91	0.84	0.89	0.96	1.00	1.12	1.14	1.22
32	1.21	1.03	1.06	0.95	0.91	0.84	0.89	0.95	1.00	1.12	1.15	1.23
33	1.22	1.04	1.06	0.94	0.90	0.83	0.88	0.95	1.00	1.13	1.16	1.23
34	1.22	1.04	1.06	0.94	0.89	0.82	0.87	0.94	1.00	1.13	1.16	1.24
35	1.23	1.04	1.06	0.94	0.89	0.82	0.87	0.94	1.00	1.13	1.17	1.25
36	1.24	1.04	1.06	0.94	0.88	0.81	0.86	0.94	1.00	1.13	1.17	1.26
37	1.25	1.05	1.06	0.94	0.88	0.80	0.86	0.93	1.00	1.14	1.18	1.27
38	1.25	1.05	1.07	0.93	0.87	0.80	0.85	0.93	1.00	1.14	1.19	1.27
39	1.26	1.06	1.07	0.93	0.86	0.79	0.84	0.92	1.00	1.15	1.19	1.28
40	1.27	1.06	1.07	0.93	0.86	0.78	0.84	0.92	1.00	1.15	1.20	1.29
41	1.28	1.06	1.07	0.93	0.85	0.77	0.83	0.92	1.00	1.15	1.21	1.30
42	1.28	1.07	1.07	0.92	0.85	0.76	0.82	0.92	1.00	1.16	1.22	1.31
43	1.29	1.07	1.07	0.92	0.84	0.75	0.81	0.91	1.00	1.16	1.22	1.32
44	1.30	1.08	1.07	0.92	0.83	0.74	0.81	0.91	0.99	1.17	1.23	1.33
45	1.31	1.09	1.07	0.92	0.82	0.73	0.80	0.90	0.99	1.17	1.24	1.34
46	1.32	1.10	1.07	0.91	0.82	0.72	0.79	0.90	0.99	1.17	1.25	1.35
47	1.33	1.11	1.07	0.91	0.81	0.71	0.78	0.89	0.99	1.18	1.26	1.36
48	1.34	1.11	1.08	0.90	0.80	0.70	0.76	0.89	0.99	1.18	1.27	1.37
49	1.35	1.12	1.08	0.89	0.78	0.68	0.75	0.88	0.99	1.19	1.28	1.40
50	1.37	1.12	1.08	0.89	0.77	0.67	0.74	0.88	0.99	1.19	1.29	1.41

Tabla 8: Milímetros de evapotranspiración potencial diaria sin ajustar para diferentes temperaturas medias y valores de índice calórico (I).

T (°C)	Índice Calórico (I)																			
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.0	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.0	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
3.0	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0
3.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0
4.0	0.7	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0
4.5	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0
5.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0
5.5	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
6.0	1.1	0.9	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
6.5	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
7.0	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
7.5	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
8.0	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1
8.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
9.0	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.0	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2
9.5	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2
10	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3
10.5	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3
11	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4
11.5	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4
12.0	2.1	1.9	1.8	1.7	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5
12.5	2.2	2.0	1.9	1.8	1.8	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5
13	2.3	2.1	2.0	1.9	1.9	1.7	1.6	1.5	1.5	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6
13.5	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	1.8	1.7	1.6	1.6	1.4	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7
T (°C)	Índice Calórico (I)																			
	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
14	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.8	0.8	0.7	0.7
14.5	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8
15	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	0.9
15.5	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0
16	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.1
16.5	2.8	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.3	2.1	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.2	1.2
17	2.9	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.3	1.3
17.5	3.0	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.4
18	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.3	2.3	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.8	1.6	1.5
18.5	3.2	3.1	3.0	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.4	2.4	2.2	2.2	2.2	2.0	1.9	1.9	1.7	1.5
19	3.2	3.2	3.1	3.0	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.5	2.5	2.4	2.3	2.3	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7
19.5	3.3	3.3	3.2	3.1	3.1	3.0	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6	2.6	2.5	2.4	2.4	2.2	2.2	2.1	1.9	1.9
20	3.4	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1	3.0	2.9	2.8	2.8	2.8	2.7	2.5	2.5	2.5	2.3	2.3	2.2	2.1	2.0
20.5	3.5	3.5	3.4	3.3	3.3	3.2	3.2	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.6	2.5	2.5	2.4	2.3	2.2
21	3.5	3.5	3.5	3.4	3.4	3.3	3.3	3.2	3.1	3.0	3.0	3.0	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7	2.6	2.4	2.3
21.5	3.6	3.6	3.5	3.5	3.5	3.4	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.5	2.4
22	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6	3.5	3.4	3.4	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	3.0	3.0	2.9	2.7	2.6
22.5	3.8	3.8	3.7	3.7	3.7	3.6	3.6	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	2.9	2.9
23	3.9	3.9	3.8	3.8	3.8	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.5	3.4	3.4	3.3	3.3	3.3	3.1	3.0
23.5	4.0	4.0	3.9	3.9	3.9	3.8	3.8	3.8	3.8	3.7	3.7	3.7	3.6	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.3	3.2
24	4.1	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9	3.9	3.9	3.9	3.8	3.8	3.8	3.7	3.7	3.6	3.5	3.5	3.5	3.4	3.3
24.5	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9	3.9	3.9	3.8	3.8	3.8	3.7	3.7	3.7	3.6	3.5
25	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9	3.9	3.9	3.8	3.8
25.5	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.1	4.1	4.1	4.0	4.0
26	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
26.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5