

HIDROGRAFÍA MARINA Y CONTINENTAL



BALANCE HIDROLÓGICO

Prof. GÓMEZ, Claudia Verónica
Departamento de Geografía
Facultad de Humanidades
Universidad Nacional del Nordeste

Generalidades

El Balance Hidrológico o también llamado Balance Hídrico es un medio que nos permite abordar y solucionar importantes problemas hidrológicos de índole teórica o práctica.

A partir de este cálculo es posible evaluar cuantitativamente los recursos de agua en una región determinada y sus variaciones por influencia de factores climáticos, orográficos, geológicos, biogeográficos y humanos.

Objetivos

Con este material, realizado a partir de la búsqueda de información bibliográfica analógica y digital, se propone alcanzar los siguientes objetivos:

Que los alumnos logren:

1. Aplicar el balance hidrológico en el estudio de la dinámica espacial y temporal de los recursos hídricos.
2. Interpretar los resultados obtenidos.
3. Reconocer la importancia de su aplicación en el estudio de los recursos hídricos para lograr un uso racional del mismo.

Importancia del Balance

1. Permite un uso racional de los recursos hídricos en el espacio y en el tiempo, para mejorar el control y la redistribución de los mismos, por ejemplo: **control de crecidas.**

2. La información que proporciona el balance de una cuenca para períodos cortos de tiempo (estaciones, meses, semanas y días) se utiliza para la operación de embalses y predicciones hidrológicas.

3. Permite una evaluación indirecta de cualquier componente desconocida, por diferencia entre las componentes conocidas, por ejemplo: la evaporación a largo plazo en una cuenca, puede calcularse por diferencia entre precipitación y el caudal.



Costanera de la localidad de Itatí
(Corrientes)

Ecuación

La ecuación del balance hídrico, para cualquier región, cuenca natural o masa de agua, incluye los valores de entradas y salidas:

Su expresión más sencilla es:

$$P - EVT_p$$

Donde:

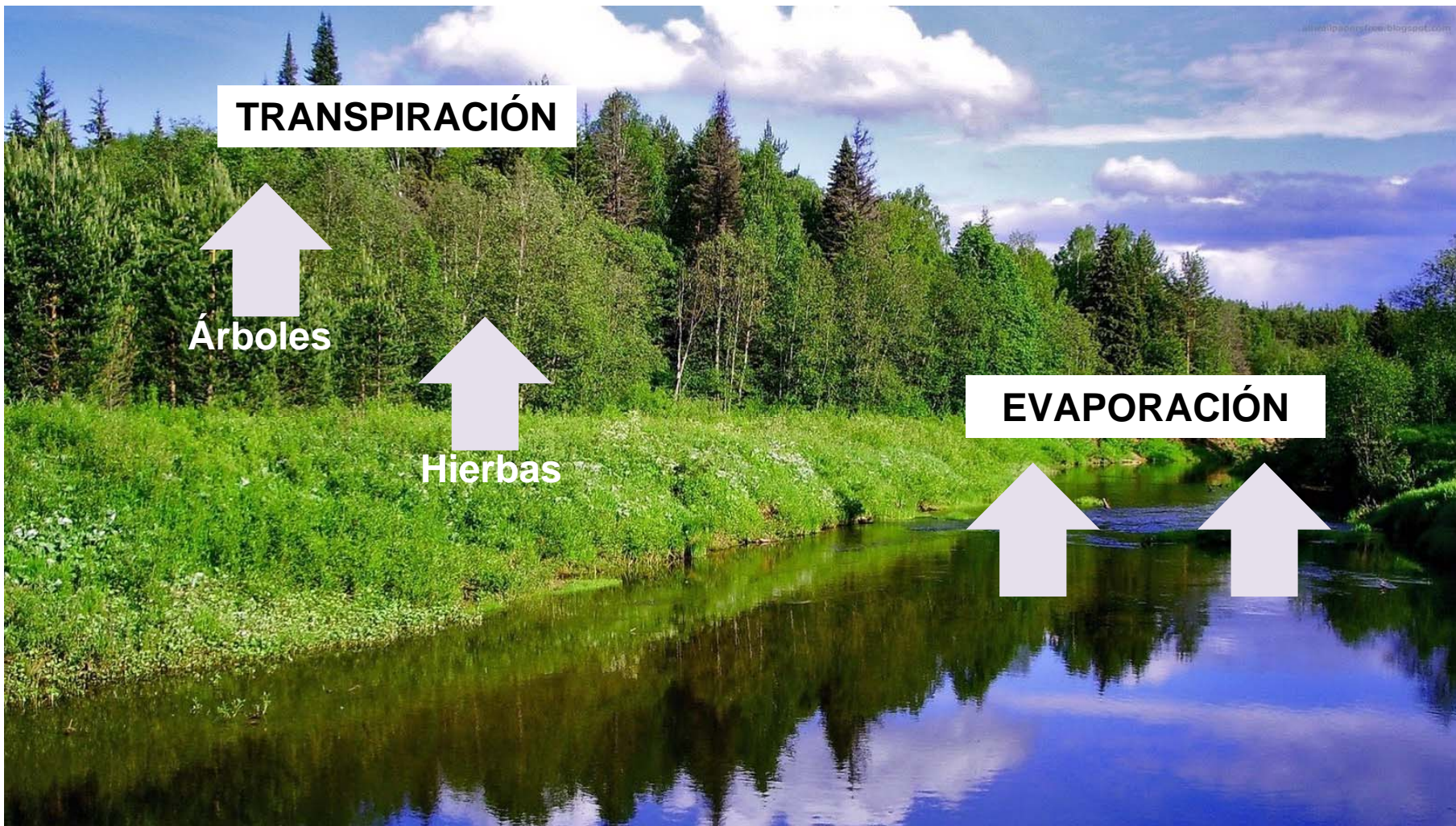
P es precipitación expresada en mm mensuales obtenidos a través de medidas directas o de boletines emitidos por organismos oficiales (Administración Provincial del Agua, Servicio Meteorológico Nacional, Instituto Nacional de tecnología Agropecuaria, etc.)



EVT_p también se expresa en mm mensuales y comprende el complejo proceso que incluye la evaporación física del suelo y la transpiración a través de las plantas.

AVAPOTRANSPIRACIÓN

Transpiración + Evaporación



Evapotranspiración Potencial y Evapotranspiración Real

La cobertura del terreno por la vegetación, la disponibilidad de agua y la capacidad de retención del suelo influyen en la evapotranspiración.

Es necesario distinguir, entonces, entre la evapotranspiración potencial (**EVTp**) y la real (**EVTr**).

EVTp

Representa el poder o capacidad evaporante de la atmósfera, es decir, la altura de la lámina que efectivamente se evapora cuando el aprovisionamiento de agua al sustrato es óptimo.

EVTr

A diferencia del anterior depende de la disponibilidad de agua en el suelo, es lo que realmente se puede evaporar de acuerdo a la cantidad de agua que posea el suelo.

Si el contenido de humedad del suelo es óptimo, la **EVTp** o el poder evaporante de la atmósfera será igual a la **EVTr**.

Balance Hídrico

Para comprender el balance hídrico, la primera tarea consiste en determinar la **EVT_p**.

La **EVT_p** es un fenómeno complejo cuya medición directa presenta diversas dificultades dado que no existen aparatos que puedan reproducir las verdaderas condiciones ambientales de la superficie terrestre.

Por esta razón se recurren a cálculos indirectos para hallarla basados en la relación dependiente que existe entre la **EVT_p** y otros elementos meteorológicos mensurables y conocidos: la temperatura, la radiación solar, la humedad atmosférica, la velocidad del viento, etc.

Uno de los métodos indirectos para su cálculo es el propuesto por **THORNTHWAITE**, que permite obtener la **EVT_p** mensual en mm a partir de los datos de temperatura mensual y del uso de algunas tablas auxiliares.

Charles Warren Thornthwaite

(1899-1963)

Geógrafo especializado en Climatología y Profesor estadounidense. Fue Presidente de la "Comisión de Climatología" de la Organización Meteorológica Mundial, galardonado con el "Premio Outstanding Achievement" de la Asociación de Geógrafos de EE.UU., y con la "Medalla Cullum" de la American Geographical Society.

Es altamente reconocido por el desarrollo de un sistema de clasificación climático, publicado en 1948, que aún es ampliamente usado mundialmente, y también por sus detallados balances hídricos con la evapotranspiración potencial.

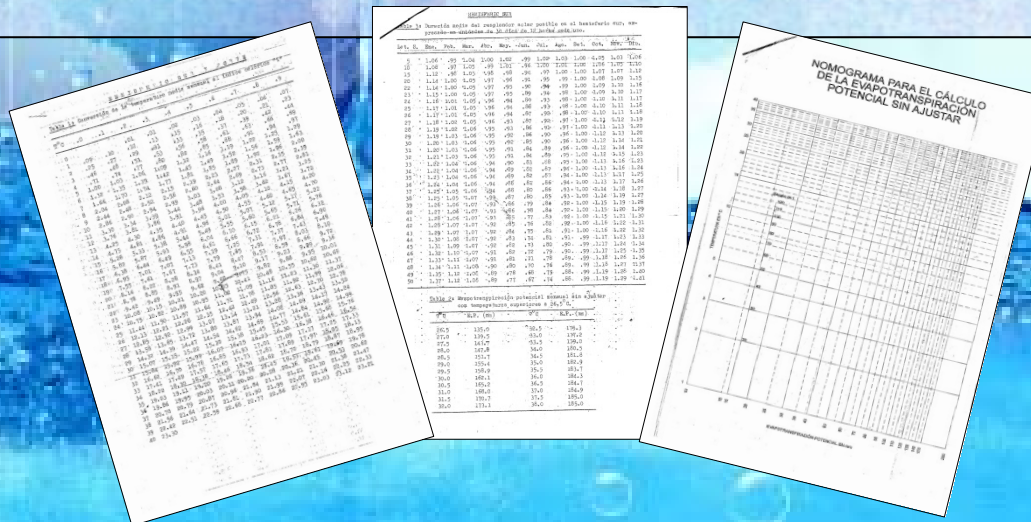


Prof./Lic. GÓMEZ, Claudia Verónica

Elementos necesarios

Para realizar el cómputo del balance hídrico de una localidad determinada, según el método de **Thornthwaite**, se requieren de los siguientes datos:

- Temperatura media mensual,
- Precipitación mensual,
- Tablas de conversión de la temperatura media mensual al índice calórico "i",
- Cálculo de la evapotranspiración potencial sin ajustar,
- Tablas de conversión y cómputo del factor de corrección por latitud,



1º Paso

Transformar la temperatura media mensual en índice calórico mensual (i).

A partir de la Tabla 1, convertimos la temperatura media mensual a un valor i, para luego sumar todos los índices y obtener el Índice Calórico Anual (I).

El ejemplo corresponde a la localidad de Bernardo de Irigoyen (Misiones) localizado a 26°15' Lat. S y 53° 59' Long. O (período 1985/2006).

Tabla 1: Conversión de la temperatura media mensual al índice calórico "i".

T° C	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
1.0			.01	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07
1.1	.09	.10	.12	.13	.15	.16	.18	.20	.21	.23
1.2	.25	.27	.29	.31	.33	.35	.37	.39	.42	.44
1.3	.46	.48	.51	.53	.56	.58	.61	.63	.66	.69
1.4	.71	.74	.77	.80	.82	.85	.88	.91	.94	.97
1.5	1.00	1.03	1.06	1.09	1.12	1.16	1.19	1.22	1.25	1.29
1.6	1.32	1.35	1.39	1.42	1.45	1.49	1.52	1.56	1.59	1.63
1.7	1.66	1.70	1.74	1.77	1.81	1.85	1.89	1.92	1.96	2.00
1.8	2.04	2.08	2.12	2.15	2.19	2.23	2.27	2.31	2.35	2.39
1.9	2.44	2.48	2.52	2.56	2.60	2.64	2.69	2.73	2.77	2.81
2.0	2.86	2.90	2.94	2.99	3.03	3.08	3.12	3.16	3.21	3.25
2.1	3.30	3.34	3.39	3.44	3.48	3.53	3.58	3.62	3.67	3.72
2.2	3.76	3.81	3.86	3.91	3.96	4.00	4.05	4.10	4.15	4.20
2.3	4.25	4.30	4.35	4.40	4.45	4.50	4.55	4.60	4.65	4.70
2.4	4.75	4.81	4.86	4.91	4.96	5.01	5.07	5.12	5.17	5.22
2.5	5.28	5.33	5.38	5.44	5.49	5.55	5.60	5.65	5.71	5.76
2.6	5.82	5.87	5.93	5.98	6.04	6.10	6.15	6.21	6.26	6.32
2.7	6.38	6.44	6.49	6.55	6.61	6.66	6.72	6.78	6.84	6.90
2.8	6.95	7.01	7.07	7.13	7.19	7.25	7.31	7.37	7.43	7.49
2.9	7.55	7.61	7.67	7.73	7.79	7.85	7.91	7.97	8.03	8.10
3.0	8.16	8.22	8.28	8.34	8.41	8.47	8.53	8.59	8.66	9.72
3.1	8.78	8.85	8.91	8.97	9.04	9.10	9.17	9.23	9.29	9.36
3.2	9.42	9.49	9.55	9.62	9.68	9.75	9.82	9.88	9.95	10.01
3.3	10.08	10.15	10.21	10.28	10.35	10.41	10.48	10.55	10.62	10.68
3.4	10.75	10.82	10.89	10.96	11.02	11.09	11.16	11.23	11.30	11.37
3.5	11.44	11.50	11.57	11.64	11.71	11.78	11.85	11.92	11.99	12.06
3.6	12.13	12.21	12.28	12.35	12.42	12.49	12.56	12.63	12.70	12.78
3.7	12.85	12.92	12.99	13.07	13.14	13.21	13.28	13.36	13.43	13.50
3.8	13.58	13.65	13.72	13.80	13.87	13.94	14.02	14.09	14.17	14.24
3.9	14.32	14.39	14.47	14.54	14.62	14.69	14.77	14.84	14.92	14.99
4.0	15.07	15.15	15.22	15.30	15.38	15.45	15.53	15.61	15.68	15.76
4.1	15.84	15.92	15.99	16.07	16.15	16.23	16.30	16.38	16.46	16.54
4.2	16.62	16.70	16.78	16.85	16.93	17.01	17.09	17.17	17.25	17.33
4.3	17.41	17.49	17.57	17.65	17.73	17.81	17.89	17.97	18.05	18.13
4.4	18.22	18.30	18.38	18.46	18.54	18.62	18.70	18.79	18.87	18.95
4.5	19.03	19.11	19.20	19.28	19.36	19.45	19.53	19.61	19.69	19.78
4.6	19.86	19.95	20.03	20.11	20.20	20.28	20.36	20.45	20.53	20.62
4.7	20.70	20.79	20.87	20.96	21.04	21.13	21.21	21.30	21.38	21.47
4.8	21.56	21.64	21.73	21.81	21.90	21.99	22.07	22.16	22.25	22.33
4.9	22.42	22.51	22.59	22.68	22.77	22.86	22.95	23.03	23.12	23.21
5.0	23.30									

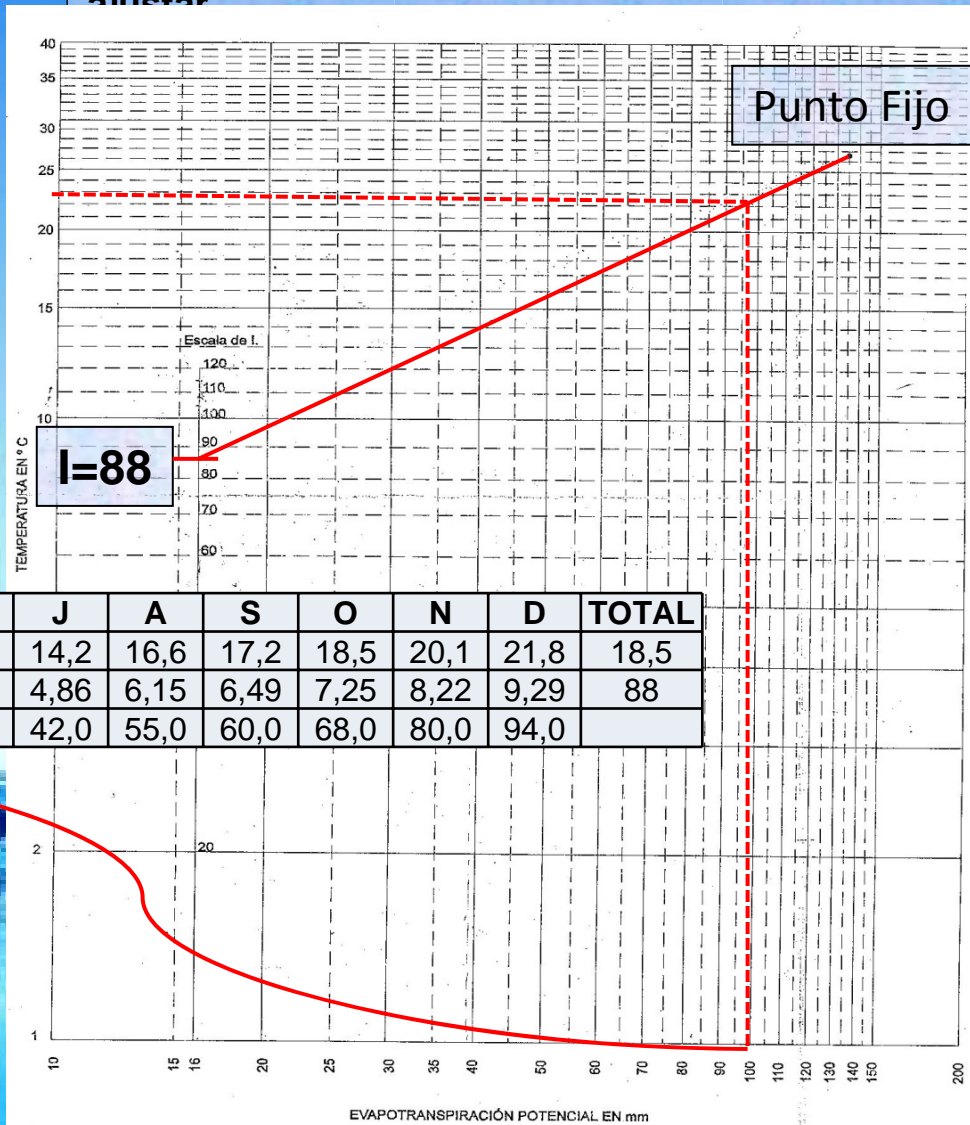
Índice Calórico Anual

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
T° C	22,3	21,4	20,7	18,7	16,1	14,6	14,2	16,6	17,2	18,5	20,1	21,8	18,5
Indice I	9,62	9,04	8,59	7,37	5,87	5,07	4,86	6,15	6,49	7,25	8,22	9,29	88

2º Paso

Una vez hallado el (I), se lo ubica en un nomograma o diagrama, (papel logarítmico), que une un **Punto fijo** (de 26,5 ° C y 135 mm de EVT) y el I hallado anteriormente. Esto nos permitirá encontrar la EVT_p sin ajustar para las temperaturas de cada mes.

Nomograma para el cálculo de la EVT_p sin ajustar



	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
T° C	22,3	21,4	20,7	18,7	16,1	14,6	14,2	16,6	17,2	18,5	20,1	21,8	18,5
Indice I	9,62	9,04	8,59	7,37	5,87	5,07	4,86	6,15	6,49	7,25	8,22	9,29	88
EVT _p s/Aj	98,0	90,0	84,0	69,0	52,0	44,0	42,0	55,0	60,0	68,0	80,0	94,0	

Tabla 2: Evapotranspiración Potencial mensual sin ajustar con temperaturas superiores a 26,5 °C

T° C	E.P. (mm)	T° C	E.P. (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

3º Paso

Si las temperaturas de la estación meteorológica o puesto pluviométrico superan los 26,5 °C se emplea la Tabla 2 para obtener los valores de EVT_p sin ajustar.

4º Paso

Para ajustar los valores mensuales de EVTp calculados se emplea la Tabla 3, que nos permite corregir o ajustar estos datos según la latitud aproximada, o duración media del resplandor solar en el hemisferio sur, de la localidad objeto de estudio. Para ello se debe multiplicar los valores mensuales de la EVTp s/aj. por los valores de cada mes de la tabla y obtendremos la EVTp aj. Sumando todos los valores mensuales se obtiene el monto anual de la EVTp de la localidad.

Tabla 3: Evapotranspiración Potencial mensual sin ajustar con temperaturas superiores a 26,5 °C

Lat.	S.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
5		1.06	.95	1.04	1.00	1.02	.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
10		1.08	.97	1.05	.99	1.01	.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
15		1.12	.98	1.05	.98	.98	.94	.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
20		1.14	1.00	1.05	.97	.96	.91	.95	.99	1.00	1.08	1.09	1.15
21		1.14	1.00	1.05	.97	.96	.91	.95	.99	1.00	1.08	1.09	1.15
22		1.14	1.00	1.05	.97	.96	.91	.95	.99	1.00	1.08	1.09	1.15
23		1.15	1.00	1.05	.97	.95	.89	.94	.98	1.00	1.09	1.10	1.17
24		1.16	1.01	1.05	.96	.94	.89	.93	.98	1.00	1.10	1.11	1.17
25		1.17	1.01	1.05	.96	.94	.88	.93	.98	1.00	1.10	1.11	1.18
26		1.17	1.01	1.05	.96	.94	.87	.92	.98	1.00	1.10	1.11	1.18
27		1.18	1.02	1.05	.96	.93	.87	.92	.97	1.00	1.11	1.12	1.19
28		1.19	1.02	1.06	.95	.93	.86	.91	.97	1.00	1.11	1.13	1.20
29		1.19	1.03	1.06	.95	.92	.86	.90	.96	1.00	1.12	1.13	1.20
30		1.20	1.03	1.06	.95	.92	.85	.90	.96	1.00	1.12	1.14	1.21
31		1.20	1.03	1.06	.95	.91	.84	.89	.96	1.00	1.12	1.14	1.22
32		1.21	1.03	1.06	.95	.91	.84	.89	.95	1.00	1.12	1.15	1.23
33		1.22	1.04	1.06	.94	.90	.83	.88	.95	1.00	1.13	1.16	1.23
34		1.22	1.04	1.06	.94	.89	.82	.87	.94	1.00	1.13	1.16	1.24
35		1.23	1.04	1.06	.94	.89	.82	.87	.94	1.00	1.13	1.17	1.25
36		1.24	1.04	1.06	.94	.88	.81	.86	.94	1.00	1.13	1.17	1.26
37		1.25	1.05	1.06	.94	.88	.80	.86	.93	1.00	1.14	1.18	1.27
38		1.25	1.05	1.07	.93	.87	.80	.85	.93	1.00	1.14	1.19	1.27
39		1.26	1.06	1.07	.93	.86	.79	.84	.92	1.00	1.15	1.19	1.28
40		1.27	1.06	1.07	.93	.86	.78	.84	.92	1.00	1.15	1.20	1.29
41		1.28	1.06	1.07	.93	.85	.77	.83	.92	1.00	1.15	1.21	1.30
42		1.28	1.07	1.07	.92	.85	.76	.82	.92	1.00	1.16	1.22	1.31
43		1.29	1.07	1.07	.92	.84	.75	.81	.91	1.00	1.16	1.22	1.32
44		1.30	1.08	1.07	.92	.83	.74	.81	.91	.99	1.17	1.23	1.33
45		1.31	1.09	1.07	.92	.82	.73	.80	.91	.99	1.17	1.24	1.34

Latitud de Bernardo de Irigoyen 26º 15'

X

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
Tº C	22,3	21,4	20,7	18,7	16,1	14,6	14,2	16,6	17,2	18,5	20,1	21,8	18,5
Indice I	9,62	9,04	8,59	7,37	5,87	5,07	4,86	6,15	6,49	7,25	8,22	9,29	88
EVTp s/Aj	98,0	90,0	84,0	69,0	52,0	44,0	42,0	55,0	60,0	68,0	80,0	94,0	
EVTp Aj.	115	91	88	66	49	38	39	54	60,0	75	89	111	875

Monto Anual de EVTp

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
T° C	22,3	21,4	20,7	18,7	16,1	14,6	14,2	16,6	17,2	18,5	20,1	21,8	18,5
Indice I	9,62	9,04	8,59	7,37	5,87	5,07	4,86	6,15	6,49	7,25	8,22	9,29	88
EVTp s/Aj	98,0	90,0	1º mes con valor positivo					55,0	60,0	68,0	80,0	94,0	
EVTp Aj.	115	91						54	60,0	75	89	111	875
P (mm)	50	381	258	212	317	323	127	155	176	240	228	59	2475
P-EVTp Aj.	-65	240	170	146	268	285	88	101	116	165	139	-52	1601
Alm.Hum.		100	El Suelo se satura de humedad.										
Excesos		140	Los mm sobrantes pasan automáticamente a excesos.										
Déficit													
Esc. p/mitades													

5º Paso

El próximo paso es encontrar la diferencia entre precipitación y EVTp Ajustada.

6º Paso

De los resultados obtenidos se busca el mes con valor positivo. Se debe tener en cuenta que el suelo se satura o puede almacenar hasta 100 mm de humedad (reserva útil para la vegetación según Thornthwaite) a partir del cual los mm sobrantes pasan a ser excesos.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
T° C	22,3	21,4	20,7	18,7	16,1	14,6	14,2	16,6	17,2	18,5	20,1	21,8	18,5
Indice I	9,62	9,04	8,59	7,37	5,87	5,07	4,86	6,15	6,49	7,25	8,22	9,29	88
EVTp s/Aj	98,0	90,0	84,0	69,0	52,0	44,0	42,0	55,0	60,0	68,0	80,0	94,0	
EVTp Aj.	115	91	88	66	49	38	39	54	60,0	75	8	111	875
P (mm)	50	33	258	212	317	323	127	155	176	240	22	59	2475
P-EVTp Aj.	-65	240	170	146	268	285	88	101	116	165	119	-52	1601
Alm.Hum.		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	48	
Excesos		140	170										
Déficit													
Esc. p/mitades													

7º Paso

El agua almacenada en el suelo se suma a los valores resultantes de la diferencia entre P y EVTp aj. de los meses siguientes, si estos son positivos, por el contrario, se restan si estos son negativos.

Aspectos a tener en cuenta:

- 1) Se toma la evolución hídrica anual o de una larga serie de años como un ciclo cerrado y continuo, por lo tanto se debe ajustar hasta que los Totales de P-EVTp aj. y los excesos (o déficits) coincidan.
- 2) Se considera 100 mm como almacenamiento máximo de agua útil en el perfil del suelo (valor propuesto por Thornthwaite), no obstante esto puede variar según el tipo de suelo y vegetación.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
T° C	22,3	21,4	20,7	18,7	16,1	14,6	14,2	16,6	17,2	18,5	20,1	21,8	18,5
Indice I	9,62	9,04	8,59	7,37	5,87	5,07	4,86	6,15	6,49	7,25	8,22	9,29	88
EVTp s/Aj.	98,0	90,0	84,0	69,0	52,0	44,0	42,0	55,0	60,0	68,0	80,0	94,0	
EVTp Aj.	115	91	88	66	49	38	39	54	60,0	75	89	111	87
P (mm)	50	331	258	212	317	323	127	155	176	240	228	59	243
P-EVTp Aj.	-65	240	170	146	268	285	88	101	116	165	139	-52	1601
Alm.Hum.		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	48	
Excesos		140	170	146	268	285	88	101	116	165	139		1618
Déficit	17												17
Esc. p/mitades		70	120	133									1618

Coinciden

=1601

se suman los valores y el resultado se divide por 2

8º Paso

A partir de los excesos podemos hallar el escurrimiento, que se puede realizar por mitades o por tercios. La elección depende de las características que reúna la cuenca, por ejemplo:

- para ríos de llanura, alimentación pluvial, pendiente escasa, con presencia de esteros y bañados que retienen sus aguas, es aconsejable el cálculo del escurrimiento **Por Tercios** (los excesos se dividen por 3);
- Por el contrario, para ríos de montañas **Por Mitades** (los excesos se dividen por 2).

En ambos casos el procedimiento es sencillo: a) se localiza el 1º mes con excesos; b) se divide por 2 (según nuestro ejemplo); c) la primera mitad escurre ese mismo mes y el 50% restante se adiciona al mes siguiente y así sucesivamente.

Se debe tener en cuenta que el total escurrido coincide con los valores de excesos.

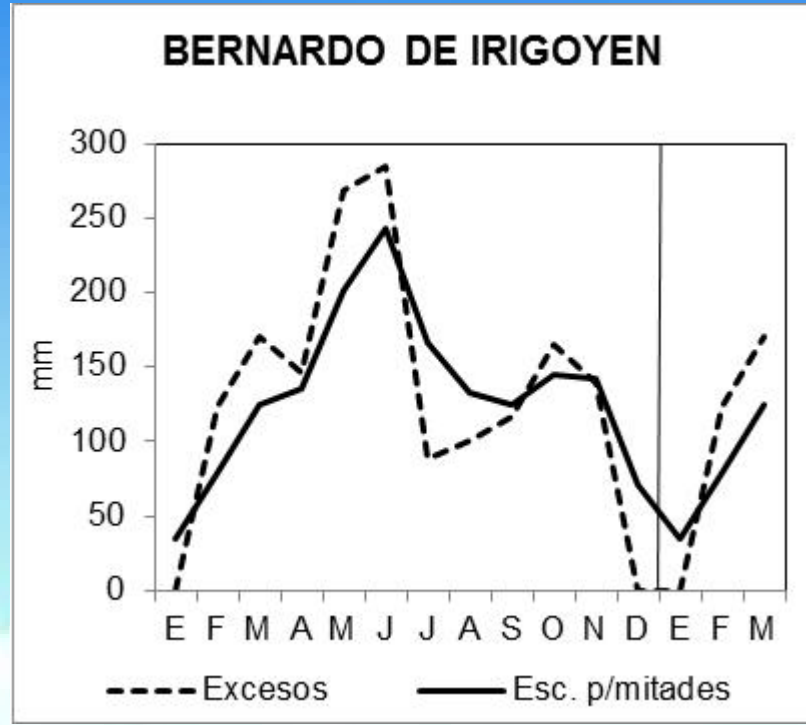
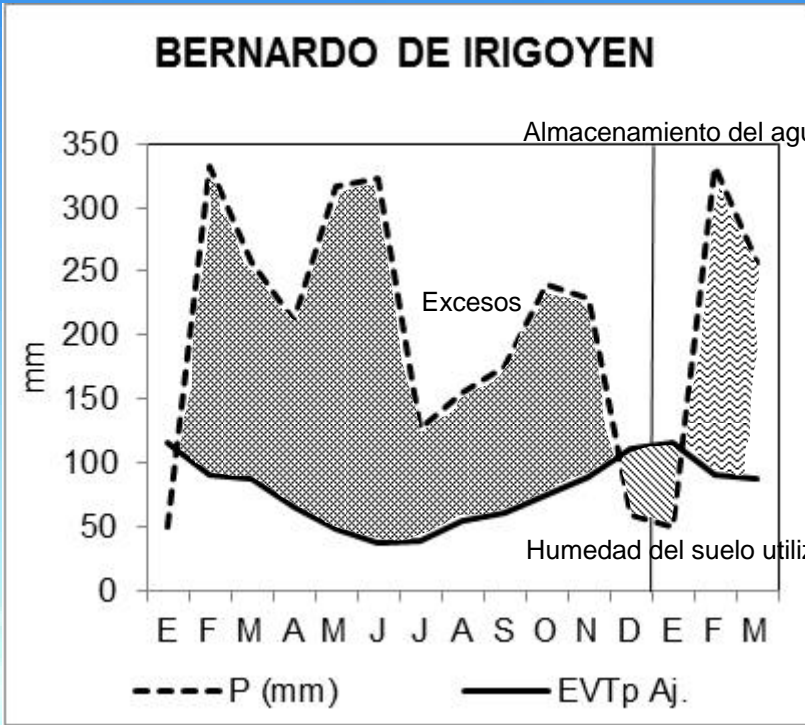
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
T° C	22,3	21,4	20,7	18,7	16,1	14,6	14,2	16,6	17,2	18,5	20,1	21,8	18,5
Indice I	9,62	9,04	8,59	7,37	5,87	5,07	4,86	6,15	6,49	7,25	8,22	9,29	88
EVTp s/Aj.	98,0	90,0	84,0	69,0	52,0	44,0	42,0	55,0	60,0	68,0	80,0	94,0	
EVTp Aj.	115	91	88	66	49	38	39	54	60,0	75	89	111	875
P (mm)	50	331	258	212	317	323	127	155	176	240	228	59	2475
P-EVTp Aj.	-65	240	170	146	268	285	88	101	116	165	139	-52	1601
Alm.Hum.		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	48	
Excesos		140	170	146	268	285	88	101	116	165	139		1618
Déficit	17												17
Esc. p/mitades	70	35	87	128	137	202	243	165	133	124	144	141	
	35	88	129	137	203	244	166	133	125	145	142	71	1618

Para tener en cuenta:

Un error muy común en el cálculo del balance hídrico o hidrológico es la falta de coincidencia entre los Totales Anuales de excesos (o déficit) y P-EVTp Aj.

Esto suele estar asociado al uso de decimales, por lo que se recomienda trabajar únicamente con valores enteros de precipitación y EVTp Aj.

Representaciones Gráficas



Los gráficos que frecuentemente se realizan son aquellos donde se observan la relación entre la Precipitación-EVTp y Excesos-Escurrimiento (eventualmente se incluye el caudal (Q) para comparar con el escurrimiento calculado). El primero de ellos pone en evidencia la estacionalidad de las precipitaciones, a partir de la cual se puede determinar el régimen pluviométrico, además del período de almacenamiento de humedad en el suelo, de utilización y excesos.

Bibliografía:

1. **Bruniard, E. y otros (1992)**. “Hidrografía: procesos y tipos de escurrimiento superficial”. Colección Geográfica. Ed. Ceyne. Buenos Aires. 124 pp.
2. **Vich, A. (1996)**. “Aguas continentales: formas y procesos”. Centro de Economía, Legislación y Administración del agua y el Ambiente. Mendoza.

Sitios Web consultados (Mayo 2015):

3. http://es.wikipedia.org/wiki/Hidrolog%C3%ADa_agr%C3%ADcola
4. http://records.ancestry.com/charles_thornthwaite_records.ashx?pid=41865154
5. http://es.wikipedia.org/wiki/Charles_Warren_Thornthwaite