

HIDROGRAFÍA MARINA Y CONTINENTAL

BALANCE HIDROLÓGICO.

Comparación del método de Holdridge y Thornthwaite para el cálculo de la Evapotranspiración Potencial (EVTp).

Prof. GÓMEZ, Claudia Verónica
Sr. ARELLANO, Hugo Orlando

MATERIAL PARA CÁTEDRAS

Departamento de Geografía-Facultad de
Humanidades

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE

INTRODUCCIÓN

El **Balance Hídrico**, local o regional, está integrado por las entradas representadas por las precipitaciones (**P**), y las salidas indicadas por la evaporación física y biológica (**EVT**) más la cuota de agua escurrida superficial y subterránea (**P'**, que incluye la porción infiltrada), en proporciones diversas que dependerán de las condiciones climáticas de la cuenca.

De estos elementos conocemos las precipitaciones, que constituyen el punto de partida, y las temperaturas, a partir de las cuales podemos calcular indirectamente la evaporación. Con estos parámetros conocidos podemos estimar la porción de agua escurrida y sus variaciones estacionales, y también del agua infiltrada o en tránsito en el suelo.

Para el cálculo indirecto de la evaporación existen varios métodos más o menos complejos, y sólo por citar algunos de los más conocidos podemos mencionar: **Penman, Thornthwaite, Holdridge**, entre otros.

OBJETIVOS

De los diversos métodos que se utilizan para el cálculo de la evapotranspiración potencial el más simple es el propuesto por **Holdridge**, por lo que se propone:

- Aplicar el método de **Holdridge** para el cálculo de la evapotranspiración potencial (EVTp);
- Realizar el Balance Hidrológico,
- Comparar los resultados obtenidos en el Balance Hidrológico según **Holdridge** con el método propuesto por **Thornthwaite**.

ASPECTOS GENERALES

El método propuesto por Holdridge para el cálculo de la evapotranspiración potencial sigue los parámetros establecidos por Thornthwaite. El mérito de este último radica en que consideró la evapotranspiración como independiente de la naturaleza de la vegetación por la que la denomina, precisamente, evapotranspiración climática o equivalente al poder evaporante de la atmósfera.

En este sentido Holdridge, al igual que Thornthwaite, considera que la evapotranspiración potencial es una función lineal de la Temperatura (Le Carpentier, 1975).

BIOGRAFÍA

Leslie Ransselaer Holdridge

(27 de septiembre de 1907-19 de junio de 1999)

Fue un botánico y climatólogo oriundo de Estados Unidos. Su aportación más conocida es un sistema de clasificación de zonas biogeográficas, llamado “Sistema de clasificación de zonas de vida”, que habitualmente es aplicado y explicado mediante un diagrama triangular muy característico.

Realizó estudios de Silvicultura en la Universidad de Maine, más tarde estudió Ecología en la Universidad de Míchigan, donde obtuvo el grado de Doctor.

En 1947 se desempeñó como jefe de Departamento de Recursos Naturales en el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Costa Rica, donde también fundó el Centro Científico Tropical (CCT).

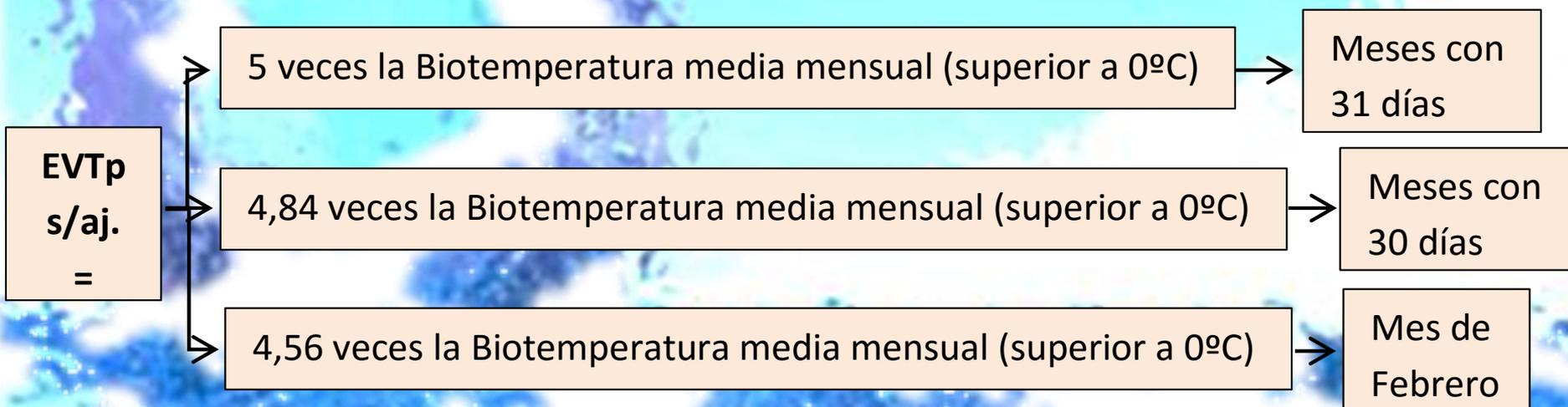
Este centro, junto a otras instituciones similares que se crearon bajo su influencia, han servido

en Costa Rica como sostén de la causa principal que marcó la vida del Doctor Holdridge: la conservación de los recursos naturales. También trabajó por períodos cortos en Haití, Guatemala y Honduras.



MÉTODO DE HOLDRIDGE

Este autor facilita notablemente el procedimiento para determinar la evapotranspiración potencial sin ajustar (EVTp s/aj) en mm. de acuerdo a la siguiente relación:



MÉTODO DE HOLDRIDGE

Para tener en cuenta:

“La **biotemperatura** media se presenta como el dato básico para calcular la evapotranspiración potencial en la cuenca.

La **biotemperatura** es el **promedio mensual de temperaturas** que se encuentran en un rango entre 0° y 30° C, lo que se considera un aspecto de suma importancia para el cálculo de evapotranspiración, ya que se define que el crecimiento vegetativo tiene lugar en ese rango debido a la influencia directa de los procesos fisiológicos de la vegetación en los valores de transpiración” (Lücke, O., 1985).

MÉTODO DE HOLDRIDGE

Ejemplo 1: Cálculo de la EVT_p según método de Holdridge.

BALANCE HIDRICO RESISTENCIA 1981/90													
Lat. 27°27' S; Long. 59°03' O; Alt. 51 m.													
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
T° C	27	26,1	24,4	21,1	17,9	14,7	15	16,8	17,8	21,6	23,9	25,8	21,0
Holdridge	5	4,56	5	4,84	5	4,84	5	5	4,84	5	4,84	5	
Ev. Pot. s/aj	135,0	119,0	122,0	102,1	89,5	71,1	75,0	84,0	86,2	108,0	115,7	129,0	1236,6

Se procede de la siguiente manera para todos los meses:

Enero (31 días) = 27°C (primera fila) X 5 (segunda fila)= 135 mm

Febrero (28 días) = 26,1 °C X 4,56= 119 mm

Abril (30 días) = 21,1 °C X 4,84= 102,1 mm, (los resultados se colocan en la tercera fila).

MÉTODO DE HOLDRIDGE

Esta fórmula evita el uso de la tabla de conversión de la temperatura media mensual al **índice calórico “i”** y del **nomograma** para el cálculo de la EVTp s/aj. que lo utiliza, por el contrario, **Thornthwaite**.

A los resultados de EVTp s/aj conviene realizar un ajuste, como lo hace Thornthwaite en su sistema, que tenga en cuenta la radiación solar recibida en cada latitud y estación del año. Para ello se debe utilizar los valores de la **Tabla Nº 3**: Duración media de resplandor solar posible en el Hemisferio Sur (o del Hemisferio Norte, según sea el caso).

En el ejemplo 1 se calculó la EVTp s/aj para los meses de enero, febrero y abril, a esos valores se los debe multiplicar por el valor de la duración del resplandor solar según latitud de la estación meteorológica, es decir, los datos correspondientes a la latitud de 27°.

MÉTODO DE HOLDRIDGE

Tabla Nº 3: Duración media de resplandor solar posible en el Hemisferio Sur (o del Hemisferio Norte, según sea el caso).

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
22	1.14	1.00	1.05	.97	.95	.90	.94	.99	1.00	1.09	1.10	1.16
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	1.23	1.04	1.06	.94	.89	.82	.87	.94	1.00	1.13	1.17	1.25
37	1.23	1.04	1.06	.94	.89	.82	.87	.94	1.00	1.13	1.17	1.25
38	1.23	1.04	1.06	.94	.89	.82	.87	.94	1.00	1.13	1.17	1.25
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	.90	.99	1.17	1.24	1.34
46	1.32	1.10	1.07	.91	.82	.72	.79	.90	.99	1.17	1.25	1.35
47	1.33	1.11	1.07	.91	.81	.71	.78	.89	.99	1.18	1.26	1.36
48	1.34	1.11	1.08	.90	.80	.70	.76	.89	.99	1.18	1.27	1.37
49	1.35	1.12	1.08	.89	.78	.68	.75	.88	.99	1.19	1.28	1.40
50	1.37	1.12	1.08	.89	.77	.67	.74	.88	.99	1.19	1.29	1.41

27 * 1.18 * 1.02 * 1.05 * .96 * .93 * .87 * .92 * .97 * 1.00 * 1.11 * 1.12 * 1.19

MÉTODO DE HOLDRIDGE

Ejemplo 2: Ajuste de la EVT_p s/aj según la duración del resplandor solar en el Hemisferio Sur.

BALANCE HIDRICO RESISTENCIA 1981/90													
Lat. 27°27' S; Long. 59°03' O; Alt. 51 m.													
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
T° C	27	26,1	24,4	21,1	17,9	14,7	15	16,8	17,8	21,6	23,9	25,8	21,0
Holdridge	5	4,56	5	4,84	5	4,84	5	5	4,84	5	4,84	5	
Ev. Pot. s/aj	135,0	119,0	122,0	102,1	89,5	71,1	75,0	84,0	86,2	108,0	115,7	129,0	1236,6
Resp. Solar	1,18	1,02	1,05	0,96	0,93	0,87	0,92	0,97	1,0	1,11	1,12	1,19	
Ev. Pot.aj	159,3	121,4	128,1	98,0	83,2	61,9	69,0	81,5	86,2	119,9	129,6	153,5	1292

Se procede de la siguiente manera para todos los meses:

Enero = 135 mm (tercera fila) X 1,18 (cuarta fila)= 159,3 mm

Febrero = 119 mm X 1,02=121,4 mm

Abril = 102,1 mm X 0,96=98,0 mm. Todos los valores de EVT_p aj. obtenidos se colocan en la quinta fila.

BALANCE HIDROLÓGICO

Una vez realizado el cálculo de la **EVTp aj** según **Holdridge** se procede a comparar el aporte pluviométrico con este valor y calcular los excesos, déficits y escurrimientos según corresponda. Estos datos nos permitirán conocer el régimen anual del agua en el suelo y su dinámica estacional.

El proceso se inicia de la siguiente manera:

- 1-Se calcula las diferencias entre las precipitaciones mensuales (6^o fila) y los valores de EVTp aj calculadas (5^o fila) y los valores se colocan en la 7^o fila;
- 2-Los resultados positivos indican que la precipitación es superior a las necesidades de EVTp por lo que el agua queda retenida en el suelo hasta alcanzar su capacidad de campo o saturación (en nuestro ejemplo 100 mm) a partir del cual comienzan a quedar excedentes o excesos;

BALANCE HIDROLÓGICO

PARA TENER EN CUENTA:

LA CAPACIDAD DE CAMPO O RETENCIÓN ESPECÍFICA CORRESPONDE, EN NUESTROS EJEMPLOS, A UNA LÁMINA DE 100 MM.

“ESTA RESERVA DE AGUA ÚTIL PUEDE VARIAR EN FUNCIÓN DE LA PERMEABILIDAD DEL SUELO ENTRE 50 Y 300 MM., PERO SE CONSIDERA QUE 100 MM ES UNA CIFRA REPRESENTATIVA DE LA MEDIA REGIONAL” (BRUNIARD, 2004:180).

BALANCE HIDROLÓGICO

3-Los resultados negativos indican que la precipitación no alcanza a colmar las necesidades de la EVT_p, por lo que se consumen paulatinamente las reservas de agua almacenadas en el suelo hasta generar un déficit cuando se evaporan totalmente;

BALANCE HIDRICO RESISTENCIA 1981/90													
Lat. 27°27' S; Long. 59°03' O; Alt. 51 m.													
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
T° C	27	26,1	24,4	21,1	17,9	14,7	15	16,8	17,8	21,6	23,9	25,8	21,0
Holdridge	5	4,56	5	4,84	5	4,84	5	5	4,84	5	4,84	5	
Ev. Pot. s/aj	135,0	119,0	122,0	102,1	89,5	71,1	75,0	84,0	86,2	108,0	115,7	129,0	1236,6
Resp. Solar	1,18	1,02	1,05	0,96	0,93	0,87	0,92	0,97	1,0	1,11	1,12	1,19	
Ev. Pot. aj	159,3	121,4	128,1	98,0	83,2	61,9	69,0	81,5	86,2	119,9	129,6	153,5	1292
P (mm)	147	174	205	263	98	90	54	46	83	99	159	105	1523
P-E	-12	53	77	165	15	28	-15	-35	-3	-21	29	-49	
Alm.Hum. S		53	100	100	100	100	85	50	47	26	55	6	
Excesos			30	165	15	28							238
Déficit	6												6
Escurrimiento por Tercios	7	5	3	22	125	93	81	54	36	24	16	11	
			33	187	140	121							
	2	2	11	62	47	40	27	18	12	8	5	4	238

BALANCE HIDROLÓGICO

4-De registrarse excesos, como en el ejemplo trabajado, se deben calcular los escurrimientos. Para ello se debe tener en cuenta que en cuencas extensas desarrolladas en ámbitos de planicies o llanuras donde el desplazamiento de las aguas es muy lento se calcula el escurrimiento por tercios (se divide por 3)(Bruniard, 1992), en cuencas de montañas el cálculo es por mitades (se divide por dos).

ASPECTO A TENER EN CUENTA:

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.

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL BALANCE HIDROLÓGICO REALIZADO A PARTIR DE LA FÓRMULA DE HOLDRIDGE CON LOS ALCANZADOS POR THORNTHWAITE:

BALANCE HIDROLÓGICO

El balance hidrológico de la estación meteorológica de Resistencia (1981/90) aplicando el método de Thornthwaite para el cálculo de la EVT_p arroja los siguientes resultados:

Nota: Para su realización consultar los pasos en <http://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/default.htm> Revista Geográfica Digital. IGUNNE. Año 12. Nº 23. Enero –Junio 2015).

Ejemplo 3: Balance Hidrológico según la fórmula de Thornthwaite.

BALANCE HIDRICO RESISTENCIA 1981/90													
Lat. 27°27' S; Long. 59°03' O; Alt. 51 m.													
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
T° C	27	26,1	24,4	21,1	17,9	14,7	15	16,8	17,8	21,6	23,9	25,8	21,0
i	12,85	12,21	11,02	8,85	6,9	5,12	5,28	6,26	6,84	9,17	10,68	11,99	107
Ev. Pot. s/a	139,5	130,0	109,0	79,0	52,0	33,0	35,0	45,0	52,0	82,0	102,0	124,0	
Resp. Solar	1,18	1,02	1,05	0,96	0,93	0,87	0,92	0,97	1,0	1,11	1,12	1,19	
Ev. Pot. aj	164,6	132,6	114,5	75,8	48,4	28,7	32,2	43,7	52,0	91,0	114,2	147,6	1045
P (mm)	147	174	205	263	98	90	54	46	83	99	159	105	1523
P-E	-18	41	91	187	50	61	22	2	31	8	45	-43	
Alm.Hum. S	39	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	57	
Excesos			71	187	50	61	22	2	31	8	45		477
Déficit													0
Escurrimiento por Tercios	43	29	19	60	165	143	136	105	71	68	51	64	
			90	247	215	204	158	107	102	76	96		
	14	10	30	82	72	68	53	36	34	25	32	21	477

COMPARACIONES

1-Diferencias en la EVT_p aj.: los valores de evapotranspiración calculados con el método de Holdridge excede un 247 mm. Anual con respecto al valor obtenido con Thornthwaite para la misma estación meteorológica;

2-Excesos: los 247 mm de EVT_p que existen de diferencia entre los dos métodos repercute en los excesos, es decir, en el balance realizado a partir del cálculo de Thornthwaite la EVT_p anual es menor por lo tanto hay mayor disponibilidad de agua en el suelo que le permite alcanzar su capacidad de campo y generar excedentes;

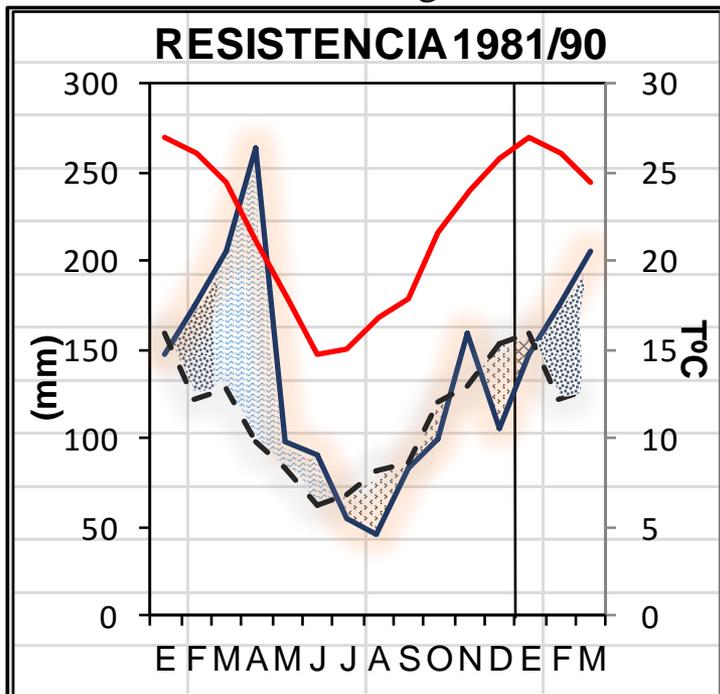
3-Déficits: mientras que con Holdridge el mes de enero registra 6 mm de déficit, para Thornthwaite todo el año el suelo almacena humedad;

4-Otras de las diferencias se presentan en el tiempo en que las precipitaciones son superiores a las necesidades de la evapotranspiración, en el caso de Holdridge hay 11 meses con almacenamiento y 4 con excesos, con Thornthwaite los 12 meses presentan almacenamiento, 9 de los cuales tienen excesos. Este aspecto está en directa relación con los 247 mm de diferencia de EVT_p que se obtienen con esos dos cálculos.

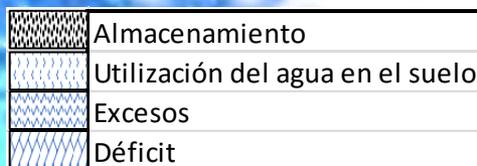
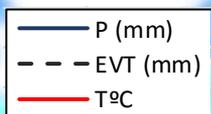
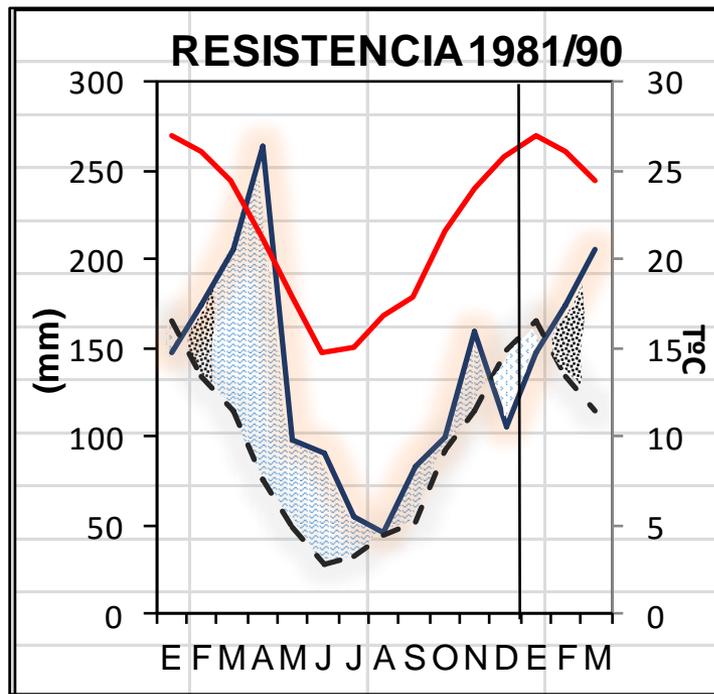
COMPARACIONES

En los siguientes gráficos se pueden observar estas particularidades:

Holdridge



Thornthwaite



COMPARACIONES

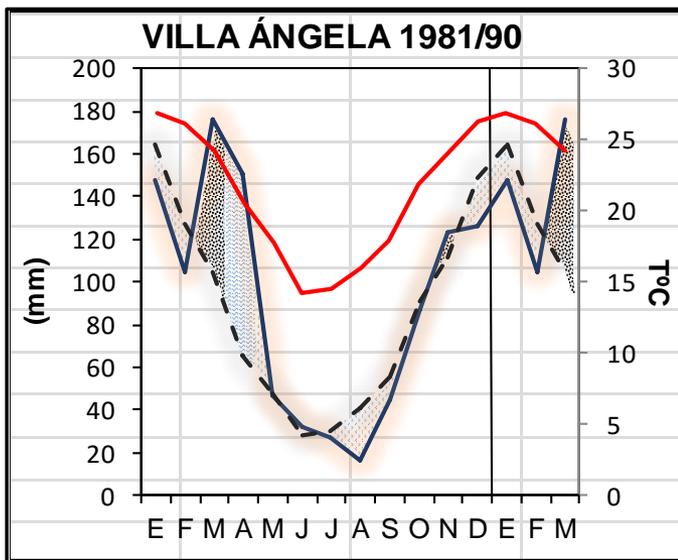
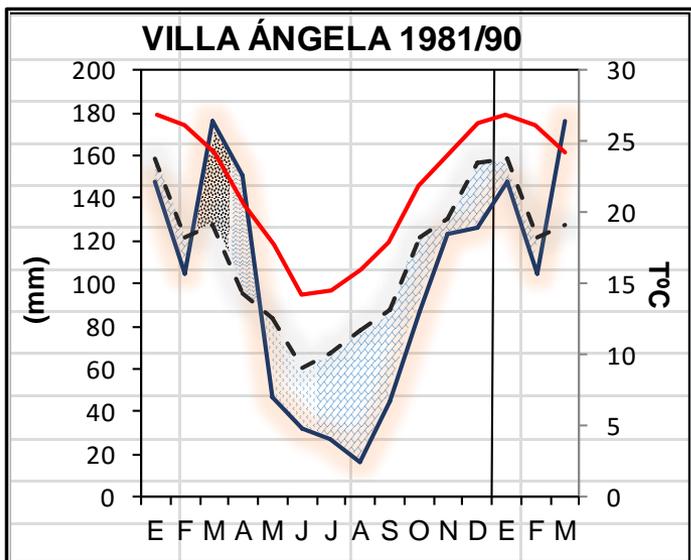
NO OBSTANTE ESTAS PEQUEÑAS DIFERENCIAS LOS VALORES DE EVTP CALCULADOS POR LOS DOS MÉTODOS DESCRIBEN UNA CURVA SEMEJANTE A LA MARCHA ANUAL DE LA TEMPERATURA, ASPECTO EN EL QUE SE FUNDAMENTAN.

COMPARACIONES

Sin embargo, se debe mencionar que, en algunos casos, estas diferencias de milímetros en la EVTp calculadas por ambos métodos exacerban las particularidades mencionadas anteriormente lo que confiere disimilitudes notables en los resultados de los balances, como por ejemplo en Villa Ángela:

Holdridge

Thornthwaite



— P (mm)
 - - - EVT (mm)
 — T°C

Almacenamiento
 Utilización del agua en el suelo
 Excesos
 Déficit

COMPARACIONES

En el gráfico del balance realizado en Villa Ángela a partir del método de Holdridge se puede observar que:

-los meses de enero, febrero y de julio a diciembre se registran déficits;

-el mes de marzo registra almacenamiento;

-el mes de abril, excesos;

-mayo y junio, utilización de agua en el suelo.

Y según Thornthwaite se obtiene:

-ningún mes presenta déficits,

-el mes de marzo registra almacenamiento;

-en los meses de abril y junio, excesos;

- el resto del año, utilización de agua en el suelo.

CONCLUSIONES

Según todo lo desarrollado se puede rescatar lo siguiente:

- El cálculo de la EVTp según el método de Holdridge simplifica y evita el uso de tablas y nomogramas del sistema original propuesto por Thornthwaite;
- Los resultados de EVTp anual obtenidos no difieren sustancialmente;
- Si bien ambos sistemas permiten calcular la EVTp a partir del cual se puede realizar el balance hídrico de la mayoría de las cuencas con resultados muy semejantes, en algunos casos, se debe analizar bien cual de los dos conviene para obtener resultados acordes a la realidad de la cuenca trabajada.

BIBLIOGRAFÍA

- Gómez, C.** (2015). **BALANCE HIDROLÓGICO**. Resúmenes. Revista Geográfica Digital. IGUNNE. Facultad de Humanidades. UNNE. Año 12. Nº 23. Enero -Junio 2015. Resistencia. En: <http://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/default.htm>
- Bruniard, E.** (1992). "Hidrografía. Procesos y tipos de escurrimiento superficial". Colección Geográfica. Ed. CEYNE. 124 p.
- Bruniard, E.** (2004). "Clima, Paisaje y Geografía. (El clima en la definición de los complejos naturales y la evaluación de sus recursos)". 1º Ed. EUDENE, Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes. 448 p.
- García Coll, I. y otros** (s/año). "Balance hídrico de la cuenca del río Pixquiac (documento técnico). Senderos y Encuentros para un Desarrollo Autónomo Sustentable A.C. (SENDAS A.C). Disponible en: http://fmcn.org/wp-content/uploads/2012/02/01_Anexo1_INFORME_BALANCE_HIDRICO1.pdf. Consultado por última vez el 31/05/16.
- Lecarpentier, C.** (1975). L'évapotranspiration potentielle et ses implications géographiques. En Annales de Géographie Nº 563 y 564. Paris.
- Lücke, O.** (1985). "Estado actual de investigación, recopilación y aplicación de la metodología para el cálculo del balance hídrico en la asociación climática de L. R. Holdridge". Departamento de recursos naturales y renovables. Programa de áreas silvestres y cuencas. Disponible en: http://bibliotecaorton.catie.ac.cr:8080/bitstream/handle/11554/1691/Estado_actual.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Manoiloff R.** (director) (2008) "ATLAS de la Provincia del Chaco. Tomo I. *El Medio Natural*. Reedición. En: Revista GEOGRAFICA 14. Instituto de Geografía - Facultad de Humanidades. Resistencia.

Páginas web:

Administración Provincial del Agua (APA). <http://www.chaco.gov.ar/apa/>
http://puranatural.blogspot.com.ar/2011/03/leslie-holdridge_12.html
http://www.conicit.go.cr/sector_cyt/cientificos/Biografia-LeslieHoldridge.pdf