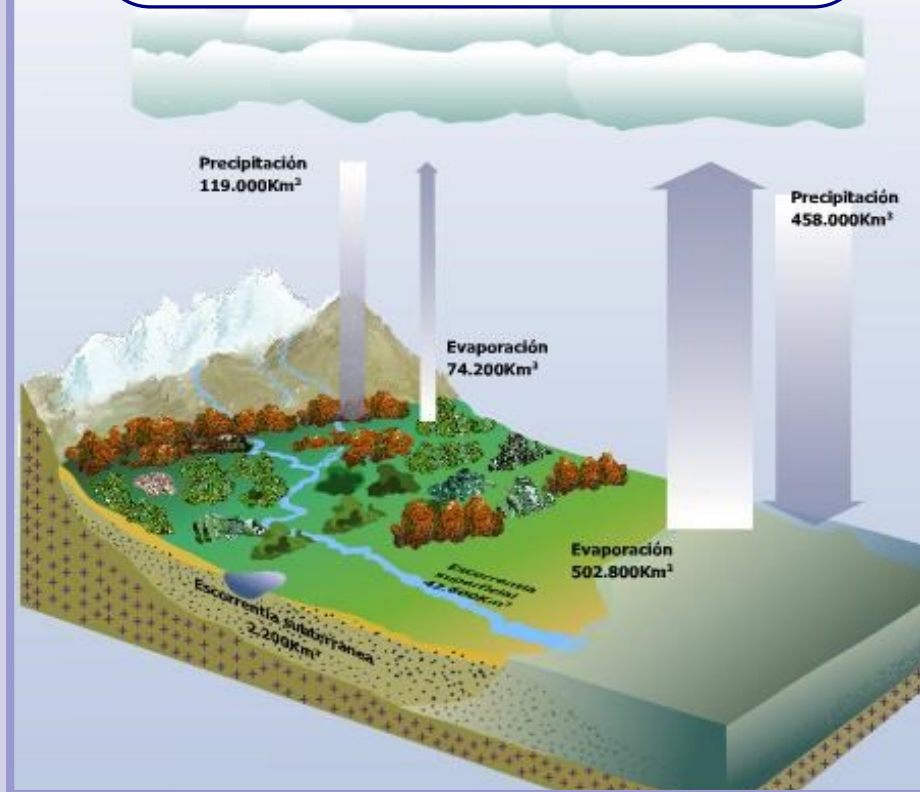




Sociedad Geográfica de Lima



Balance Hídrico Superficial



CARTILLA TÉCNICA

“Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico”

LIMA - PERÚ

2011

CARTILLA TÉCNICA: BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL

**Juan Julio Ordoñez Gálvez
SENAMHI**



Sociedad Geográfica de Lima



CARTILLA TÉCNICA: BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL

Editado por : Sociedad Geográfica de Lima

Dirección : Jr. Puno 450 - Lima

Editor : Zaniel I. Novoa Goicochea

Coeditor : Foro Peruano para el Agua - GWP Perú

Autor : Dr. Juan Julio Ordoñez Gálvez

Edición : Primera

Diseño : Juan Julio Ordoñez Gálvez, Miriam Rocío Casaverde Riveros

ISBN: 978-9972-602-75-7

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2012-08873

Esta Carpeta s publicado con el apoyo de la Sociedad Geográfica de Lima

CONTENIDO

- I.- Introducción**
- II.- Objetivo**
- III.- Antecedentes**
- IV.- Materiales y métodos**
 - 4.1 Definiciones**
 - 4.2 Materiales**
 - 4.3 Metodología**
- V.- Cuestionario práctico**
- VI.- Bibliografía**

Balance Hídrico

Herramienta básica de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico

I.- INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico, a nivel nacional, está siendo altamente afectado por la presión humana, agravando cada vez más su disponibilidad (cantidad y calidad). Estos factores de presión son fundamentalmente la sobreexplotación de acuíferos, el vertimiento de sustancias contaminantes a los cuerpos de agua, los cambios en el uso del suelo tales como la deforestación, las prácticas agrícolas inadecuadas, el incremento de urbanizaciones en zonas de producción hídrica, entre otros.

Este decrecimiento en la disponibilidad hídrica aunando a un alto índice de crecimiento poblacional, generan conflictos los cuales están incrementando y que tienden a agravarse; si no se toman las medidas necesarias, como la regulación del uso del agua a través de mecanismos de planificación normativas y leyes que permitan su protección y su distribución en forma racional.

En ese sentido, es necesario determinar el estado actual de la oferta y disponibilidad del recurso hídrico, así como la presión por la demanda del mismo, teniendo en cuenta su distribución espacial y temporal, que permita establecer lineamientos a seguir para su protección, y que sirva de base a los usuarios del recurso y planificadores, para considerar su uso y disponibilidad en proyectos actuales y futuros.

Si al proceso de variabilidad climática, se le incorpora el tema de Cambio Climático, observamos que el comportamiento espacial y temporal de la precipitación, temperatura y caudal, vienen sufriendo alteración en su régimen que hacen prever la probabilidad de ocurrencias de eventos extremos asociados a una deficiencia o exceso de agua. En ambos casos, es importante cuantificar el recurso hídricos superficial, para buscar el equilibrios entre las necesidades antrópica y del ecosistema natural.

La GWP- Perú y el SENAMHI, presenta este documento técnico con información básica referente a la disponibilidad de agua (oferta hídrica), con el fin de que el lector se familiarice con la terminología que se utiliza y visualice la importancia de cada una de las variables dentro del balance hídrico, además se explica las metodologías utilizadas para el cálculo de cada uno de los parámetros analizados.

II.- OBJETIVO

Dar a conocer los aspectos conceptuales y metodológicos para la determinación de Balance Hídrico Superficial, así como la descripción de cada una de las variables hidrometeorológicas, su análisis y caracterización espacial y temporal.

III.- ANTECEDENTES

*El concepto de **Balance Hídrico**, que ampliamente se usó en hidrología, puede causar alguna confusión al suponer que la precipitación es igual a la suma de la escorrentía y la evaporación; ya que en muchos casos sucede que las cuencas no tienen un ciclo exclusivo de su entorno, es por ello que el término **Ciclo Hidrológico** tome el sentido de distribución y movimiento del agua en diferentes fases, bajo y sobre la superficie de la tierra.*

El ciclo del agua implica un cambio continuo de grandes masas de agua de un estado físico a otro y su transporte de un lugar a otro. Al volumen de agua que se desplaza de un depósito a otro a lo largo de un año se llama balance hídrico global.

*Para Sánchez San Román (2001), “se denomina **Ciclo Hidrológico** al movimiento general del agua, ascendente por evaporación y descendente primero por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea”; es decir, que es el proceso global por el cual se considera al agua un recurso natural renovable; debido a que en esa circulación espontánea y continua el líquido vital se purifica y retorna temporalmente a sus fuentes, que la ponen al alcance de sus múltiples demandantes.*

*La **ecuación de continuidad**, o de **balance hidrológico**, es la ley más importante en Hidrología, y aunque su expresión es muy simple, la cuantificación de sus términos es normalmente complicada, principalmente por la falta de mediciones directas en campo y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (a acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en una cuenca. Como respuesta a estas dificultades, generalmente se admiten dos asunciones:*

- a. Supone que las pérdidas profundas son despreciables (se considera, por tanto, que la cuenca es impermeable),*
- b. Admite que las variaciones del agua almacenada en la cuenca son despreciables para un período suficientemente largo (normalmente un año).*

IV.- MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Definiciones

Dentro de los términos que generalmente se utilizan, para definir e identificar los componentes que identifican las características de una cuenca tenemos:

- **Ciclo Hidrológico**

El ciclo hidrológico (Figura 1) es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación.

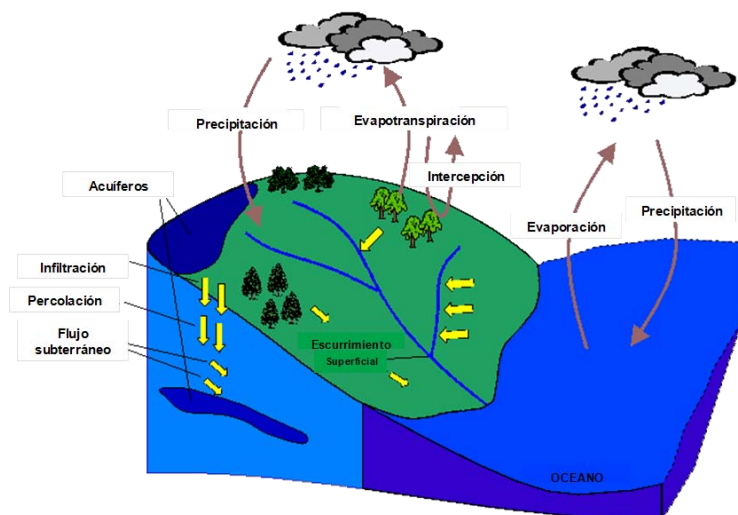


Figura 1. Representación del Ciclo Hidrológico
Fuente: Musy, André, 2001

El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento).

Chereque, 1989, se entiende como el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) como

en su forma (superficial, sub-superficial, subterránea, etc.).

- **Sistema hidrológico**

Guevara y Cartaya, 1991: los fenómenos hidrológicos son muy complejos, por lo que nunca pueden ser totalmente conocidos. Sin embargo, a falta de una concepción perfecta, se pueden representar de una manera simplificada mediante el concepto de sistema.

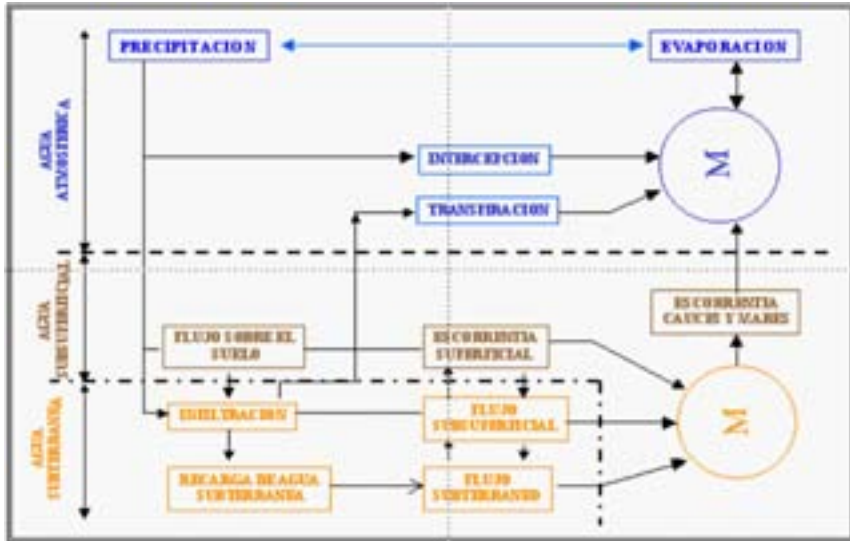


Figura 2. Representación del sistema hidrológico

Fuente: Estrela, 1992.

- **Año Hidrológico**

Período continuo de doce meses seleccionados de manera que los cambios globales en el almacenamiento sean mínimos, por lo que la cantidad sobrante de un año al siguiente, se reduce al mínimo. En el Perú, el año hidrológico empieza en septiembre y termina en agosto del año siguiente.

- **Precipitación**

Se denomina precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico continental (Musy, 2001).

Para la formación de la precipitación se requiere la condensación del vapor de agua atmosférico. La saturación es una condición esencial para desbloquear la condensación.

Los varios procesos termodinámicos son convenientes para realizar la saturación de las partículas atmosféricas inicialmente no saturadas y causar su condensación:

- *Saturación y condensación isobárica (a presión constante),*
- *Saturación y condensación por presión adiabática,*
- *Saturación y condensación por presión de vapor de agua,*
- *Saturación por mezcla y turbulencia.*

*Existen diferentes tipos de precipitación: precipitación convectiva, precipitación orográfica y precipitaciones frontales, tal como se puede apreciar en la **Figura 3**.*

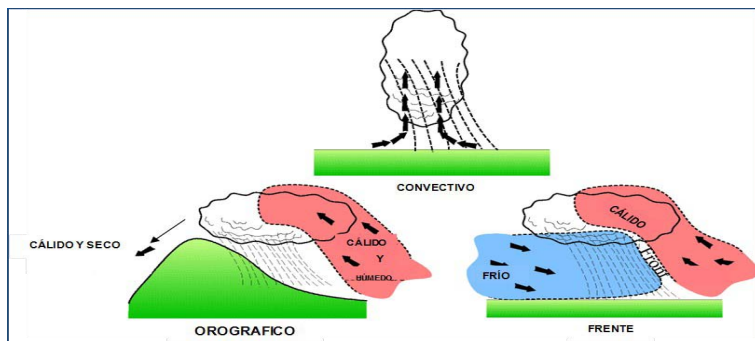


Figura 3. Principales tipos de precipitación: convectiva, orográficas y frontales
Fuente: Musy, André, 2001.

Precipitación Convectiva. Resultan de una subida rápida de las masas del aire en la atmósfera. La precipitación que resulta de este proceso es generalmente tempestuosa, de corta duración (menos de una hora), de intensidad fuerte y de poca extensión espacial.

Precipitación Orográfica. Como su nombre indica (del griego oros = montaña), este tipo de precipitación se relaciona con la presencia de una barrera topográfica. La característica de la precipitación orográfica es su intensidad y frecuencia regular.

Precipitación frontal o del tipo ciclónico. Se denomina Frentes, a la asociación de la temperatura de la masa de aire y la humedad. Los frentes fríos crean precipitaciones cortas e intensas. Los Frentes calientes generan precipitaciones de larga duración pero no muy

• Temperatura

La cantidad de energía solar, retenida por el aire en un momento dado, se denomina Temperatura. Se puede afirmar que la temperatura depende ante todo de la radiación solar. El termómetro es el instrumento de fiabilidad que se utiliza para medir esa cantidad de energía. Esta medición debe realizarse a 1,5 metros del suelo, siendo un lugar ventilado y protegido de la influencia directa de los rayos del sol. El resultado de ello se expresa en una escala centígrada o en grados Celsius, o bien en la escala de Fahrenheit (**Figura 4**).

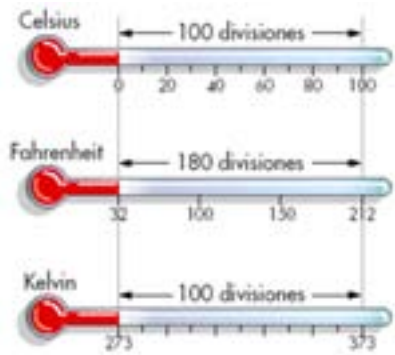


Figura 4. Escalas térmicas utilizadas
Fuente: <http://blnlaus.blogspot.com/>

No obstante, son tres los factores del clima que hacen funcionalmente variar la temperatura. Ellos son: la altitud, la latitud y la proximidad al mar. Pero además hay que agregarle en la influencia de los cambios términos a los movimientos de rotación y traslación de la tierra.

• Caudal.

Volumen de agua que fluye a través de una sección transversal de un río o canal en la unidad de tiempo, tal como se aprecia en la **Figura 5**.

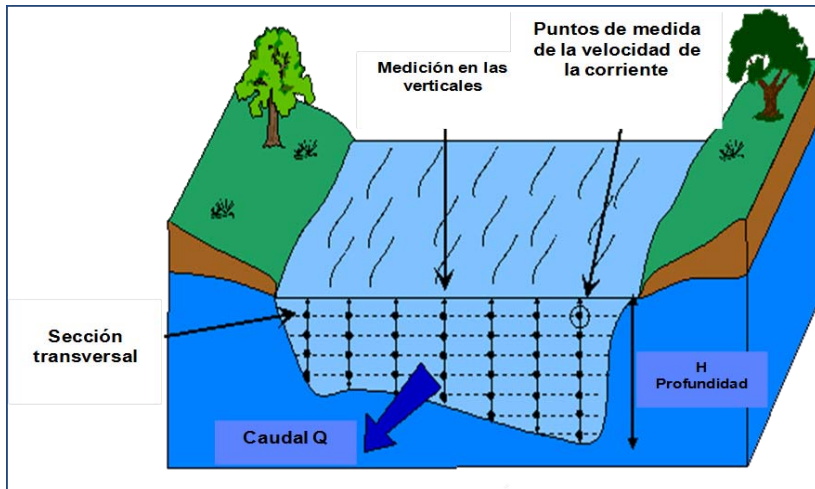


Figura 5. Caudal circulante a través de una sección transversal
Fuente: Musy, André, 2001.

- **Hidrograma**

Expresión gráfica de la variación del caudal a lo largo del tiempo.

Un hidrograma de caudal es una gráfica o una tabla que muestra la tasa de flujo como función del tiempo en un lugar dado de la corriente. En efecto el hidrograma es una expresión integral de las características fisiográficas y climáticas que rigen las relaciones entre la lluvia y escorrentía de una cuenca de drenaje particular.

Según Heras (1983), el hidrograma permite representar la variación del caudal de un río, en función del tiempo.

*El hidrograma, está en función del aporte de precipitaciones que puedan ocurrir en la superficie de la cuenca y de las características físicas de ella, tal como se puede apreciar en la **Figura 6**, donde se observa una comparación de dos hidrogramas en función de la forma de la cuenca. Es decir para este caso a mayor pendiente de la cuenca la respuesta del hidrograma es más directa.*

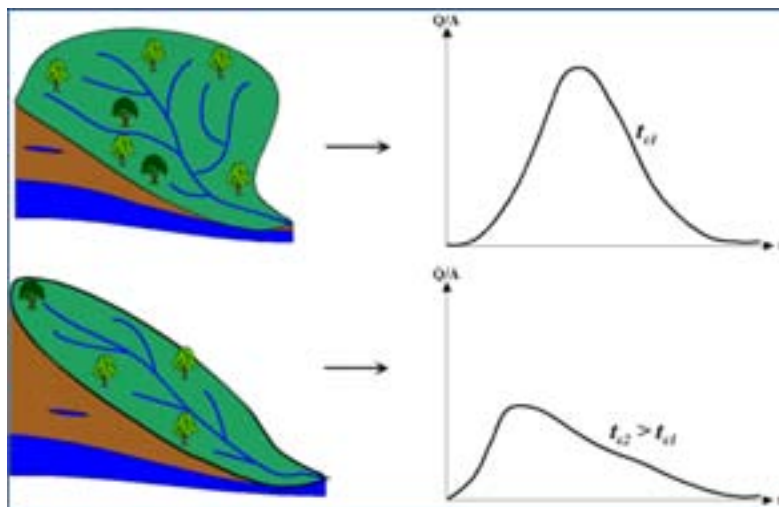


Figura 6. Tipos de hidrograma en función a la cuenca

Fuente: Musy, André, 2001.

- **Cuenca Hidrográfica**

La cuenca hidrográfica se define como una unidad territorial en la cual el agua que cae por precipitación se reúne y escurre a un punto común o que fluye toda al mismo río, lago o mar. En esta área viven seres humanos, animales y plantas, todos ellos relacionados (Sing, 1989).

- **Subcuenca**

Unidad de drenaje de menor superficie que una cuenca y que forma parte de esta, constituyendo un tributario de la misma, o sea una cuenca que sale o que drena a una cuenca más grande (Sing, 1989).

- **Evaporación**

La evaporación es el fenómeno físico que permite a un fluido, convertirse en vapor o sea, en gas e incorporarse al aire. Es un fenómeno no conocido exhaustivamente y forma parte del ciclo hidrológico. (Figura 7)

- **Transpiración**

Es la evaporación a través de las hojas. El proceso fisiológico de alimentación de las plantas se efectúa mediante el paso de ciertas cantidades de agua, portadoras de los alimentos, por el interior de ellas y ese tráfico solamente es posible gracias a la transpiración (Figura 7).

- **Intercepción**

Es la parte de la precipitación que es interceptada por objetos superficiales como la cubierta vegetal (Figura 7) o los tejados, en general, parte de esta agua interceptada nunca alcanza al suelo porque se adhiere y humedece estos objetos y se evapora.

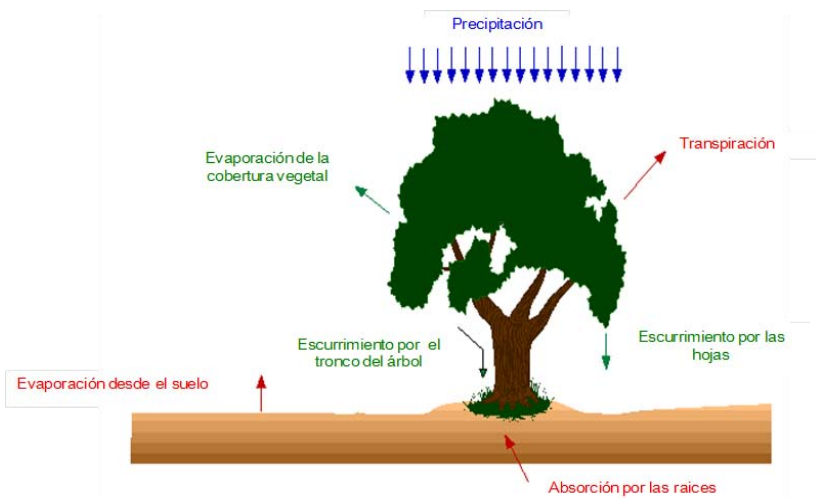


Figura 7. Principales componentes que intervienen en los conceptos de evapotranspiración e intercepción.

Fuente: Musy, André, 2001.

- **Evapotranspiración**

Es el total de agua convertido en vapor por una cobertura vegetal; incluye la evaporación desde el suelo, la evaporación del agua interceptada y la transpiración por los estomas de las hojas (Figura 8).

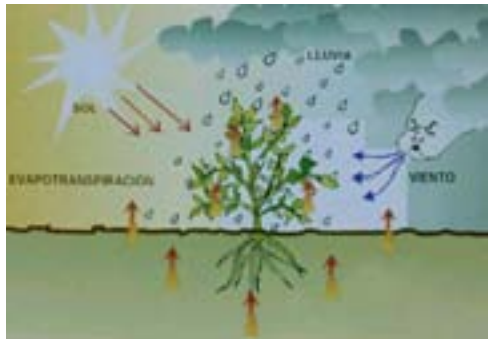


Figura 8. Evapotranspiración
Fuente: www.eureka.ya.com

La evapotranspiración, es la combinación de dos procesos separados que originan pérdida de agua:

- **Evaporación:** es el proceso por el cual el agua líquida es convertido en vapor de agua (vaporización). La energía requerida para cambiar el estado de las moléculas de agua a vapor es la radiación solar directa, la temperatura ambiental del aire.
- **Transpiración:** Consiste en la vaporización del agua líquida contenida en las plantas y el vapor removido a la atmósfera. La pérdida del agua es a través de las estomas de las plantas.

La transpiración, depende de la energía radiante, gradiente de presión de vapor y viento, radiación, temperatura del aire, humedad del aire y viento. La razón de la transpiración también está influenciada por, la característica de la vegetación, aspecto del ambiente y práctica de cultivo.

Los factores que influyen en la Evaporación son los siguientes:

- Radiación Solar
- Temperatura
- Humedad: menos humedad, más evaporación
- Presión Atmosférica: la altitud, la latitud y longitud
- Viento: más viento, más evaporación

La evaporación desde un suelo desnudo depende de:

- El poder evaporante de la atmósfera
- El tipo de suelo (textura, estructura, etc.)
- El grado de humedad del suelo

La transpiración esta en función de:

- El poder evaporante de la atmósfera
- El grado de humedad del suelo
- El tipo de planta
- Variaciones estacionales
- Variaciones interanuales

La evaporación y transpiración ocurren simultáneamente que no es fácil de distinguirlos. Cuando la planta es pequeña, el agua perdida es por evaporación del agua en el suelo, pero cuando la planta va desarrollándose paulatinamente, la transpiración va cobrando mayor importancia en este proceso, tal como se puede apreciar en la **Figura 9**, donde se observa que el 100% de la ET es por evaporación y cuando la planta está en su máximo desarrollo sólo llega al 90% la transpiración.

Figura 9. Componentes de la evapotranspiración

Fuente: El riego.com, 2001



La correcta determinación de la ET (**Figura 10**) es uno de los mayores problemas prácticos que se debe afrontar, debido a que su cuantificación básicamente se realiza a través de métodos y modelos semi-empíricos, tal como se muestra en la **Tabla 1**; donde el requerimiento de información juega un papel importante en el tema de la selección de los mismo. Mientras mas variables tenga el método, más real es el calculo.

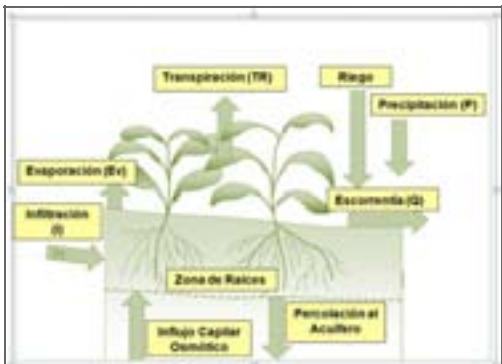


Figura 10. Evaporación y transpiración

Fuente: www.recursosaguapuertorico.com

Entre los métodos tenemos aquellos, que requieren desde una variable, como es el caso de Thorthwaite, hasta los mas exigentes como es el de

Tabla 1. Métodos empíricos para calcular la Evapotranspiración

Método	Medidas necesarias	Otros datos
Thornthwaite	Temperatura	De la latitud por una tabla se obtiene el número de horas de
Jensen—Haise	Temperaturas, Altitud y Radiación Solar	Tablas de número teórico de horas de sol. La radiación solar
Blanney—Criddle	Temperatura	Tablas de número teórico de horas de sol. Coeficiente que depende del
Turc	Temperatura Horas de sol	De las hora de sol, se obtiene la radiación global incidente (cal/
Penman	Temperatura Hora de sol Velocidad de viento Humedad relativa	Por tabfilas se obtienen otros parámetros necesarios

Fuente: www.eureka.ya.com

Dentro del método práctico, tenemos que la evapotranspiración se mide mediante un **lisímetro** (**Figura 11**), que consiste de un recipiente rectangular enterrado y que permita que el agua drene por gravedad, siendo recogida por un drenaje ubicado en la parte inferior.

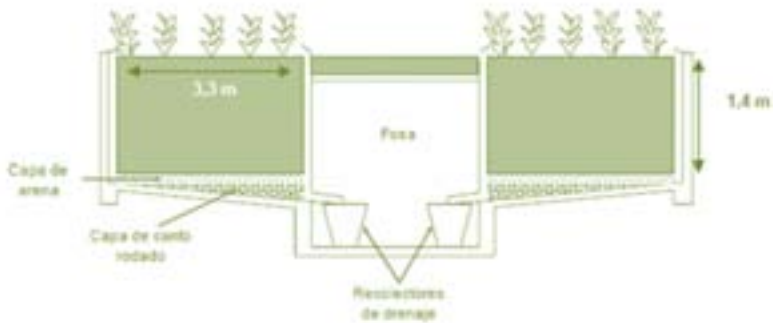


Figura 11. Esquema de un Lisímetro
Fuente: Sasal, M et al, 2010

En su construcción se debe tener el máximo cuidado, para restituir el suelo que se excavó en unas condiciones lo más similar posible a las que se encontraba originalmente.

Adicionalmente se debe instalar o un pluviómetro, para registrar el aporte de la precipitación.

Entre las fórmulas más utilizadas tenemos

A) **Formula de Hargreaves**

$$ET_o = 0,0023 * (t_{med} + 17,78) * R_o * (t_{dmáx} - t_{dmin})^{0,5}$$

Donde:

ET_o	Evapotranspiración potencial, mm/día
T_{med}	Temperatura media diaria, °C
R_o	Radiación solar extraterrestre, en mm/día
$T_{dmáx}$	Temperatura diaria máxima
T_{dmin}	Temperatura diaria mínima

B) **Formula de Thornthwaite**

- Determinar el Índice de calor mensual (i):

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}$$

A partir de la temperatura media mensual (t).

- Determinar el Índice de calor anual (I):

sumando los 12 valores de i .

$$I = \sum i$$

- Determinar la ET mensual “sin corregir” mediante la fórmula:

$$ET_{(sin\ corregir)} = 16 \left(\frac{10 * t}{I} \right)^a$$

Donde:

$ET(sin\ corregir)$	Evapotranspiración potencial a nivel mensual en mm/mes, para meses de 30 días y 12 horas de sol (teóricas)
t	Temperatura media mensual °C
I	Índice de calor anual Obtenido con la expresión siguiente

$$a = 675 * 10^{-9} * I^3 - 771 * 10^{-7} * I^2 + 1792 * 10^{-5} * I + 0,49239$$

- Realizar la corrección para el número de días del mes y el número de horas de sol.

$$ET = ET_{(\sin \text{ corregir})} * \frac{N}{12} * \frac{a}{30}$$

Donde:

- ET* Evapotranspiración potencial corregida
N Número máximo de horas de sol, depende del mes y de la latitud.
D Número de días del mes

C) Formula de Turc y Coutagne

Se determina empíricamente comparando las precipitaciones y la escorrentía total de numerosas cuencas.

TURC	COUTAGNE
$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$	$ETR = P - \chi * P^2$

Donde:

- ETR* Evapotranspiración real en mm/año
P Precipitación en mm/año, para la formula de Turc
P Precipitación en metros /año, para la formula de Coutagne
t Temperatura media anual en °C

$$L = 300 + 25 * t + 0,05 * t^3$$

$$\chi = \frac{1}{0,8 + 0,14 * t}$$

La fórmula de Coutagne, sólo es valida para valores de *P* (en metros/año) comprendido entre 1/8 y 1/2 de *X*.

4.2 Materiales

Para realizar un balance hídrico superficial es necesario conocer no solo los procesos o caminos que sigue el agua en el suelo, sino también las características fisiográficas, edafológicas y biológicas del lugar en los cuales ellos se desarrollan; por eso, una evaluación precisa del balance hídrico está estrechamente ligada con la cantidad y calidad de la información disponible y, en particular, de la red de estaciones y número de años de sus registros.

a) Información cartográfica, edafológica y biológica

La información cartográfica comprende la convencional obtenida en el campo, y los derivados de la percepción remota (fundamentalmente cobertura del terreno, relieve y suelos, acuíferos) también verificados en campo. La cartografía de los recursos naturales se ve estrechamente ligada al desarrollo de las tecnologías de prospección e inventario mediante la percepción remota (o teledetección) y de posicionamiento global satelital; que hoy en día con el avance de la tecnología se ve favorecida con el uso de la plataforma de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que agilizan el proceso de ingreso, almacenamiento, cálculo y análisis de datos geográficos para generar información temática adecuada y precisa; con el propósito de convertir datos en información apta para la toma de decisiones (Figura 12).

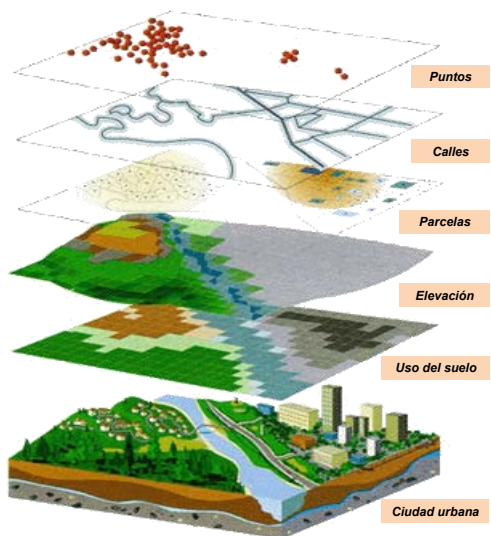


Figura 12. Esquema de desarrollo de un SIG
Fuente: <http://www.chema.site88.net/sig.html>

b) Información hidrometeorológica

El período para el cálculo del balance de agua está directamente condicionado por: la superficie y topografía del continente, los parámetros hídricos que se deciden analizar para tipificar el fenómeno, los datos realmente factibles de obtener en las redes de estaciones y la disponibilidad de información simultánea en todo el continente.

Un balance puede ser realizado para distintos períodos (horas, días, meses, estaciones del año, años). Los balances medios de agua se realizan en forma anual, permitiendo de esta manera minimizar el cálculo del término de variación de almacenamiento, reduciendo la ecuación general del Balance Hídrico.

4.3 Metodología

El desarrollo metodológico y conceptual del Balance Hídrico, se presenta a continuación, como una guía técnica de para su aplicación y determinación final.

a) Balance Hídrico Superficial

Para Pladeyra (2003), la evaluación de los recursos hídricos de una cuenca requiere de una estimación correcta del balance hidrológico, es decir, comprender el ciclo en sus diferentes fases, la forma en que el agua que se recibe por precipitación y se reparte entre el proceso de evapotranspiración, escorrentía e infiltración.

La ecuación de Balance Hidrológico es una expresión muy simple, aunque la cuantificación de sus términos es normalmente complicada por la falta de medidas directas y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (en acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en la cuenca (Llorens, 2003).

En general podemos afirmar que:

- *Del agua que cae en un determinado sitio (**precipitación = PP**)*
- *Parte vuelve a la atmósfera ya sea por evaporación directa o por transpiración de la vegetación (**evapotranspiración = ET**);*
- *Otra parte escurre por la superficie de la cuenca (**escorrentía superficial = Esc**).*

*Este escurrimiento, fluye a través de la red de drenaje hasta alcanzar los cauces principales y finalmente el mar, y el resto se infiltra en el terreno y se incorpora al sistema de aguas subterráneas o acuífero (**infiltración = I**).*

*Estas magnitudes deben cumplir con la siguiente ecuación que se conoce con el nombre de Balance Hidrológico (**Figura 13**):*

$$P = ETR + ES + I \quad (I)$$

La fórmula general que se utiliza en el Balance Hidrológico es la siguiente:

$$\text{CAPTACIÓN} - \text{EVAPOTRANSPIRACIÓN} = \text{ESCORRENTÍA SUPERFICIAL} + \text{INFILTRACIÓN} \quad (II)$$

Del Balance Hidrológico, podemos conocer el estado de humedad de la cuenca la cual esta asociado al aporte de precipitación recibida y descontando las perdidas generadas, estamos en la condición de clasificar el tipo de año (húmedo, normal o seco).

Esto permitirá planificar el recurso hídrico, en base a las demandas.

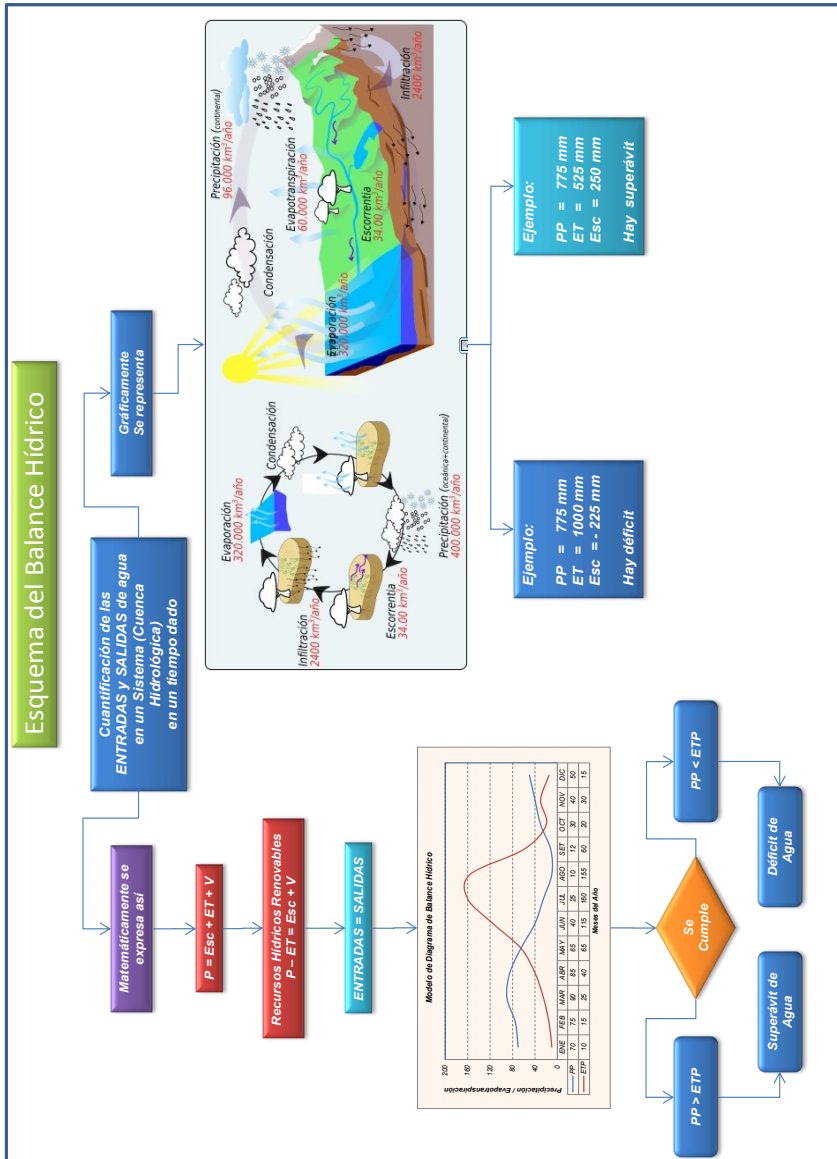


Figura 13. Esquema del Balance Hídrico

 Fuente: modificado por Ordoñez, 2011 de www.cmapspublic2.ihmc.us

En la **Tabla 1**, se muestran los componentes naturales que se propone utilizar para definir cada uno de los componentes de la fórmula, y cada uno de éstos será analizado y ponderado en función de su influencia en la fase del movimiento del agua en el que participen.

Tabla 2. Componentes del Balance Hídrico.

Componentes naturales	Componentes de la fórmula de Balance Hídrico			
	Captación (P x área)	Evapotranspiración (ETR)	Escorrentía superficial (Es)	Infiltración (I)
Precipitación (isoyetas y mediciones)				
Temperatura (isotermas y mediciones)				
Tipo de suelo				
Tipos litológicos				
Tipos de pendientes				
Tipos de vegetación y usos del suelo				

Fuente: Balance Hídrico de la Cuenca del Río Pixiquiac (2003).

En cada una de las subcuencas se estiman las áreas ocupadas por cada uno de los componentes naturales relacionados en la tabla anterior, en función al área total de cada subcuenca. De esta manera se establecen las magnitudes en que cada una de ellas interviene sobre los componentes de la fórmula de balance.

A continuación se describe el concepto y la metodología utilizada para calcular cada uno de los componentes de la fórmula del balance.

b) Precipitación (P)

La precipitación constituye la principal entrada de agua dentro del Ciclo Hidrológico, y varía tanto espacial como temporalmente en una cuenca y subcuenca. Es el agua que cae en una zona determinada que se delimita como cuenca o subcuenca y puede ocurrir como lluvia, neblina, nieve, rocío, etc. La medición de la lluvia se realiza en las estaciones climáticas a través de instrumentos llamados pluviómetros y es uno de los datos necesarios para el balance que con mayor frecuencia se encuentran disponibles, si bien puede variar la periodicidad y confiabilidad de éstos dependiendo del método de medición y de la permanencia de las estaciones climáticas a través del tiempo (**Figura 14**).

Se elaboran las isoyetas de precipitación promedio anual característico para la cuenca, así como el climograma general de la misma para observar la relación entre precipitación y temperatura promedio mensual a través del año. La información de los mapas de isoyetas mensuales y anuales, permite calcular la precipitación media areal de las cuencas, con los que se inicia el cálculo de los parámetros del Balance Hídrico.

La **precipitación horizontal**, agua en forma de niebla que condensa al entrar en

contacto con la vegetación, adquiere importancia en aquellos lugares cubiertos con masas boscosas y con frecuencia de días con neblina; no obstante su importancia, el valor de esta precipitación no se cuantifica en las estaciones climáticas por lo que debe medirse en campo o estimarse mediante modelos que relacionen las variables que confluyen en la presencia de este fenómeno.

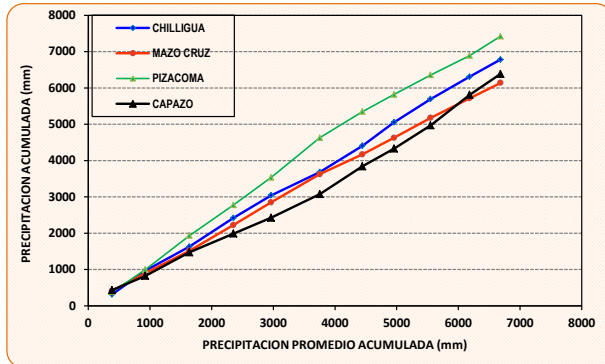


Figura 14. Análisis de consistenciado (Doble masa)
Fuente: SENAMHI, 2011

c) Temperatura (T)

Esta variable juega un papel importante, ya que interviene en todas los métodos empíricos y por lo general junto con la precipitación son las únicas que podemos encontrar en las estaciones meteorológicas con plena seguridad. Su análisis contempla su homogenización y caracterización térmica de la zona en estudio.

Las variables climatológicas, por lo general no presentan variaciones considerables a través del tiempo, sin embargo con el fin de poder uniformizar la serie de datos de cada una de las estaciones; se realizó un análisis de extensión de los datos de temperatura a nivel medio, máximo y mínimo (**Figura 15**).

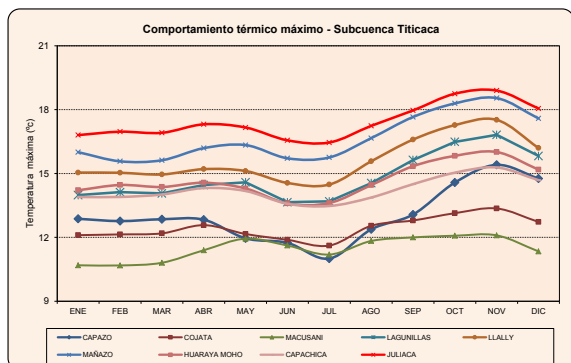


Figura 15. Análisis térmico
Fuente: SENAMHI, 2011.

d) Evapotranspiración

La evapotranspiración es la cantidad de agua que retorna a la atmósfera, tanto por transpiración de la vegetación como por evaporación del suelo. Su magnitud depende del agua realmente disponible, es decir la que el suelo ha logrado retener para el consumo de la vegetación, así como la que ha sido interceptada por ésta. (Figura 16)

Los valores de interceptación de la precipitación por la cobertura vegetal, varían en función de la composición del bosque, sus características y ubicación. Un rango de valores medios de interceptación expresada como porcentaje de la lluvia total, generalmente aceptado para los bosques 15 a 40 %. Como se indicó anteriormente, la interceptación es parte de la evapotranspiración (Bruijnzel 1990, 1991)”.

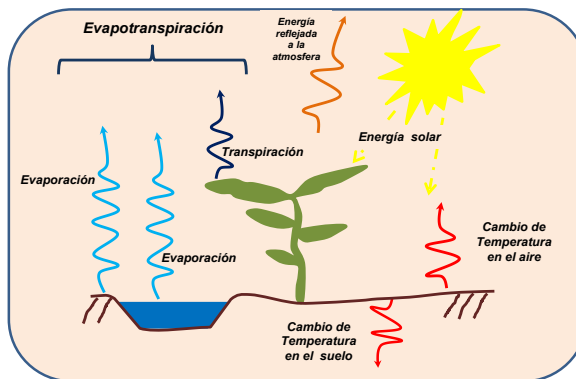


Figura 16. Componentes de la evapotranspiración
Fuente: Watplan.com

La determinación de este parámetro, es de difícil cuantificación, sobre todo por la ausencia de estaciones que permitan medir este parámetros en el campo, por lo que resulta necesario deducir, en primer lugar, el valor de la evapotranspiración potencial (ETP) mediante fórmulas empíricas.

Aunque la evapotranspiración es el segundo término en importancia en un balance hidrológico –después de la precipitación– o el primero en zonas áridas y semiáridas, en la actualidad no existe una metodología para medirla a escala de cuenca, por lo que se estima a partir de la utilización de diferentes modelos. La dificultad de la modelación de la evapotranspiración radica en representar los procesos y factores que la determinan de una manera simple.

A continuación se desarrollan en síntesis los métodos utilizados para estimar la evapotranspiración potencial (ETP), evapotranspiración de referencia o del cultivo de referencia (ET_o), evapotranspiración real (ETR) y la evapotranspiración del cultivo de referencia. (ET_c).

- **Evapotranspiración potencial (ETP)**

- **Mediante Thornthwaite**

Thornthwaite introdujo el término evapotranspiración potencial (ETP) para expresar "la cantidad de agua que perderá una superficie completamente cubierta de vegetación en crecimiento activo si en todo momento existe en el suelo humedad suficiente para su uso máximo por las plantas".

Para el cálculo de la ETP de un mes determinado, se debe corregir la ETP mediante un coeficiente que tenga en cuenta el número de días del mes y horas de luz de cada día, en función de la latitud. Para lo cual se introduce el índice de iluminación mensual en unidades de 12 horas, que deberá multiplicar a la ETP para obtener la ETP según Thornthwaite (mm/mes) final.

Cálculo de la E.T.P. Evapotranspiración potencial mensual (mm)
$ETP = 16 \times (10 T / I)^a$ (II)
<i>I = índice de calor anual I = suma de los 12 valores del índice de calor mensual (i).</i>

donde :

<i>i = (T / 5) elevado a 1,514 T = temperatura media mensual en °C. a = función del índice de calor anual (I), que simplificado equivale a 0,016 elevado a 0,5 a se calcula como:</i> $a = 0,000000675 \times I^3 - 0,0000771 \times I^2 + 0,01792 \times I + 0,49239$

$ETP \text{ (corregida)} = ETP \times L \text{ (mm/mes)}$ (III)

donde:

ETP : evapotranspiración mensual en mm

L : factor de corrección del número de días del mes (Ndi) y la duración astronómica del día Ni—horas de sol-

Li = Ndi/30 x Ni/12 (Tablas de L mensuales por latitud).

- **Mediante Hargreaves**

La fórmula de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985) para evaluar la Evapotranspiración Potencial necesita solamente datos de temperaturas y de radiación solar.

La expresión general es la siguiente:

$$\text{ETP} = 0,0135 (t_{\text{med}} + 17,78) R_s \quad (\text{IV})$$

Donde:

ETP evapotranspiración potencial diaria, mm/día
 t_{med} temperatura media, °C
 R_s radiación solar incidente, convertida en mm/día

La radiación solar incidente, R_s , se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre R_o , cuyos datos se extraen de tablas en función de la latitud del lugar y del mes. Para la determinación de la R_s , Samani (2000) propone la siguiente fórmula:

$$R_s = R_o * K_T * (t_{\text{max}} - t_{\text{min}}) 0,5 \quad (\text{V})$$

donde:

R_s Radiación solar incidente
 R_o Radiación solar extraterrestre (tabulada)
 K_T coeficiente
 T_{max} temperatura diaria máxima
 t_{min} temperatura diaria mínima

Puesto que los valores de R_o están tabulados y las temperaturas máximas y mínimas son datos empíricos relativamente fáciles de obtener, la dificultad para aplicar esta sencilla expresión la encontramos en el coeficiente K_T .

*Para evaluar la Radiación Solar Extraterrestre (R_o) existen varias tablas, todas ellas en función de la latitud y del mes. Al final de este documento se incluye la **Tabla A1**.*

El coeficiente K_T de la expresión (V) es un coeficiente empírico que se puede calcular a partir de datos de presión atmosférica, pero Hargreaves (citado en Samani, 2000) recomienda $K_T = 0,162$ para regiones del interior y $K_T = 0,19$ para regiones costeras.

Fórmula simplificada

Sustituyendo del valor de R_s de (V) en la expresión inicial (IV), y tomando para el coeficiente KT el valor medio de 0,17, resulta la expresión citada con más frecuencia en la bibliografía:

$$ETP = 0,0023 (t_{med} + 17,78) R_o * (t_{max} - t_{min})0,5 \quad (VI)$$

donde:

ETP	evapotranspiración potencial diaria, mm/día
t_{med}	temperatura media diaria, °C
R_o	Radiación solar extraterrestre, en mm/día (tabulada)
T_{max}	temperatura diaria máxima
t_{min}	temperatura diaria mínima

• Evapotranspiración de referencia (ET_o)

La evapotranspiración de referencia es la pérdida de agua por evaporación y transpiración de un cultivo tomado como referencia (gramíneas o pastos), debido a condiciones climáticas. Es definida como “la evapotranspiración de una superficie extensa de gramíneas de 8 –15 cm de altura uniforme, de crecimiento activo, que asombran totalmente el suelo y que no escasean de agua. Generalmente es simbolizada en los textos como ET_o (Figura 17). Su determinación es en base a datos climáticos, empleando diferentes fórmulas empíricas, cuya elección para el cálculo depende básicamente del tipo de dato disponible en la zona.

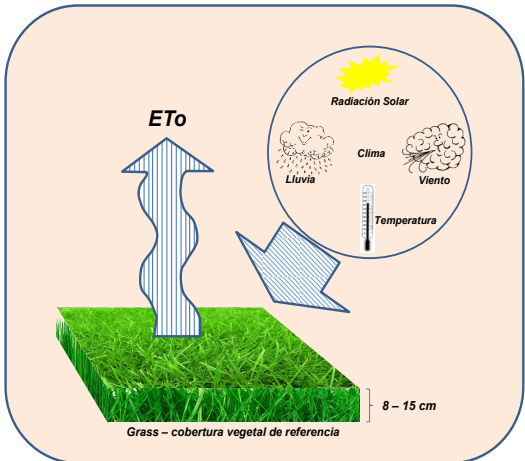


Figura 17. Evapotranspiración de referencia
Fuente: FAO, 2011

Las fórmulas más utilizadas en diferentes regiones son las de Penman, Penman—Montheith, Hargraves, Blaney—Criddle, entre otras, las cuales han sido calibradas localmente en algunos sitios.

Los estudios comparativos entre los diferentes métodos llevados a cabo por FAO, se resumen de la siguiente manera:

- Todos los métodos necesitan calibración in situ mediante lisímetros y técnicas de medición indirecta, métodos micrometeorológicos.
- Los métodos de radiación muestran buenos resultados en regiones donde el término aerodinámico es relativamente pequeño, pero la realización en condiciones áridas tiende a subestimar la evapotranspiración de referencia.
- En el caso de los métodos que utilizan la cubeta de evapotranspiración claramente reflejan las insuficiencias de predecir la evapotranspiración del cultivo a partir de la evaporación de agua al aire libre. Los métodos son susceptibles a las condiciones microclimáticas bajo las cuales están las cubetas y el rigor del mantenimiento de la estación.
- La relativa precisión y cumplimiento de la aproximación de Penman-Monteith tanto en climas áridos y húmedos ha sido indicado en los estudios de American Societ. Y of Civil Enginneers (A.S.C.E) y en estudios europeos.

Uno de los métodos más sencillos, en la determinación de la evapotranspiración de referencia E_{To} , es el que utiliza el tanque de evaporación (**Figura 18**); sin embargo, no todas las estaciones meteorológicas cuenta con este instrumento.

En la expresión VII, se muestra la relación matemática utilizada para convertir los datos de tanque a valor de E_{To} , a través de un coeficiente del tanque.

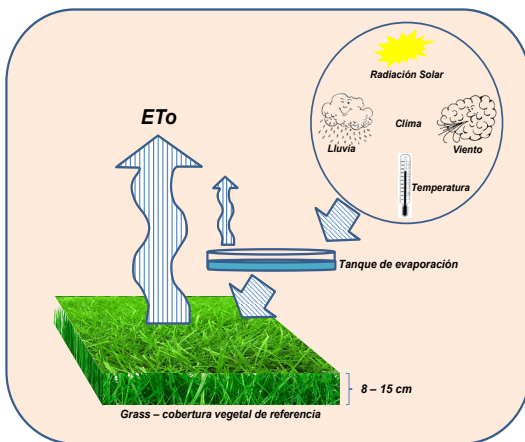


Figura 18. Evapotranspiración a través del tanque
Fuente: adaptado por Ordoñez, www.fao.org

La evapotranspiración de referencia, en base al tanque tenemos:

$$E_{To} = K_{(tanque)} * E_{v(tanque)} \quad (VII)$$

Donde:

E_{To} Evapotranspiración de referencia
 K_{tanque} Coeficiente de tanque
 E_{tanque} Evaporación de tanque

La ecuación original de Penman Montith, para determinar la ETo, es la que se muestra en la expresión algebraica **VIII** (Allen et al., 1994, 1998) :

$$\lambda * ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \quad \text{(VIII)}$$

Donde:

- R_n es la radiación neta,
 G es el flujo del calor en el suelo,
 $(e_s - e_a)$ representa el déficit de presión de vapor del aire,
 ρ_a es la densidad media del aire a presión constante,
 C_p es el calor específico del aire,
 Δ representa la pendiente de la curva de presión de vapor de saturación,
 γ es la constante psicrométrica, y
 r_s y r_a son las resistencias superficial (total) y aerodinámica.

$$r_a = \frac{\ln \left[\frac{Z_m - d}{Z_{om}} \right] * \ln \left[\frac{Z_h - d}{Z_{oh}} \right]}{k^2 * u_x} \quad r_s = \frac{r_1}{IAF_{activo}}$$

- r_a resistencia aerodinámica [s m-1],
 z_m altura de medición del viento [m],
 z_h altura de medición de humedad [m],
 d plano de altura de desplazamiento cero [m],
 z_{om} longitud de la rugosidad que gobierna la transferencia del momentum [m],
 z_{oh} longitud de la rugosidad que gobierna la transferencia de calor y vapor de agua [m],
 K constante de Von Karman, 0,41 [-],
 U_z velocidad del viento a la altura z [m s -1].
 R_s resistencia superficial (total) [s m-1],
 RI resistencia estomática total de una hoja bien iluminada [s m-1],
 IAF_{activo} índice activo de área foliar [m² (área de la hoja) m-2 (superficie del suelo)].

El método de FAO Penman-Monteith para estimar E_{To} , puede ser derivado (IX) de la ecuación original de Penman-Monteith (VIII) y las ecuaciones de la resistencia aerodinámica (r_a) y superficial (r_s):

El método FAO Penman-Monteith fue desarrollado haciendo uso de la definición del cultivo de referencia como un cultivo hipotético con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial de 70 s m⁻¹ y un albedo de 0,23 y que representa a la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y adecuadamente regado (Figura 19). Estas consideración hacen que la expresión general (VIII), sea reducida a:

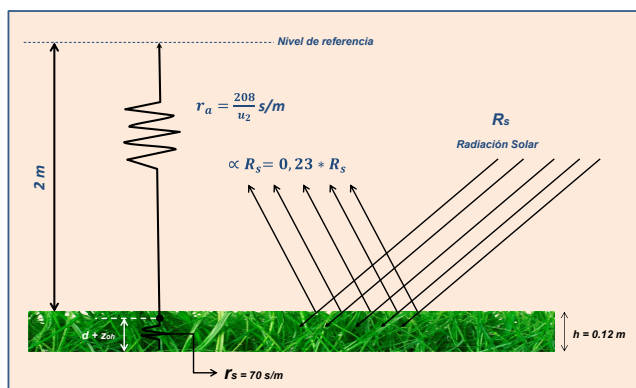


Figura 19. Característica del cultivo de referencia

Fuente: Adaptado por Ordoñez. Estudio FAO Riego y Drenaje N°56.

$$ET_o = \frac{0,408 * \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 * u_2)}$$

- E_{To} evapotranspiración de referencia (mm día-1)
 R_n radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día-1)
 R_a radiación extraterrestre (mm día-1)
 G flujo del calor de suelo (MJ m⁻² día-1)
 T temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
 u_2 velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹)
 e_s presión de vapor de saturación (kPa)
 e_a presión real de vapor (kPa)
 $e_s - e_a$ déficit de presión de vapor (kPa)
 Δp pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹)
 γ constante psicométrica (kPa °C⁻¹)

• Evapotranspiración de Cultivo (ETc)

La evapotranspiración de cultivo es aquella que se produce cuando no existe ninguna restricción de agua en el suelo y depende de las condiciones de los cultivos tales como sus características, el ritmo de desarrollo de las plantas (periodo vegetativo) y las condiciones climáticas de temperatura, viento y humedad relativa.

Para tener en cuenta los efectos de las características del cultivo sobre las necesidades de agua, se han desarrollado unos **coeficientes de cultivo Kc**, los cuales relacionan la evapotranspiración de referencia ETo con la evapotranspiración de cultivo ETc (**Figura 20**), y representan la evapotranspiración de un cultivo en condiciones óptimas, que produzca rendimientos óptimos.

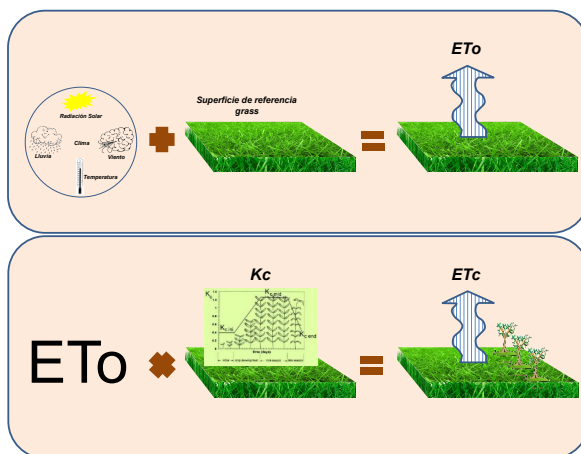


Figura 20. Proceso de cálculo de la ETc

Fuente: adaptado por Ordoñez de www.Fao.org.

La evapotranspiración de cultivo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$ETc = Kc * ETo \quad (IX)$$

donde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo en mm/día

ETo = Evapotranspiración de referencia en mm/día

Kc = Coeficiente de Cultivo (adimensional)

Las características del cultivo influyen en la pérdida de agua de las plantas a través de la evapotranspiración de acuerdo a la fisiología

de las mismas, específicamente del mecanismo a oponer resistencia a la transpiración a través de los estomas de las hojas (los estomas son las células que permiten el intercambio de dióxido de carbono y oxígeno con el exterior).

Existen plantas que presentan una buena regulación en la pérdida de agua, a través de mecanismos de cierre de sus estomas durante el día y su apertura en la noche cuando la temperatura es menor, perdiendo menor cantidad de agua que al abrir los estomas en el día (como las xerofíticas y la piña) (**Figura 21**).

- Los cítricos, presentan buena regulación en la pérdida de agua debido a sus hojas cerosas que igualmente evitan una alta pérdida de agua a través de los estomas.
- Los granos básicos, el algodón, las hortalizas y los mismos pastos que son tomados como el cultivo de referencia, presentan un alto grado de pérdida de agua a través de sus hojas, especialmente en el momento de mayor producción, el cual corresponde al periodo de la elaboración de flores, frutos o granos.

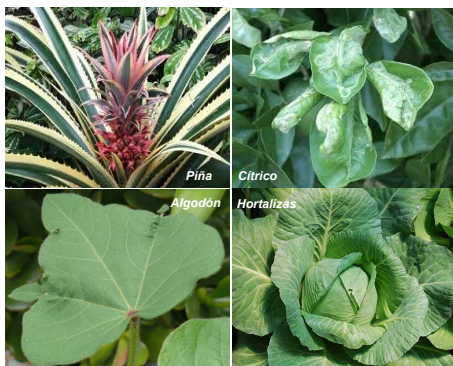


Figura 21. Tipos de hojas y la ET
Fuente: www.google.com

Otro factor importante de pérdida de agua en las plantas, es el periodo vegetativo, ya que las plantas pierden menor cantidad de agua a inicio de sus desarrollo (germinación y crecimiento inicial), que cuando están en su fase de mediados del periodo, que corresponde a la etapa de maduración donde presenta un requerimiento hídrico mayor (**Figura 22**).

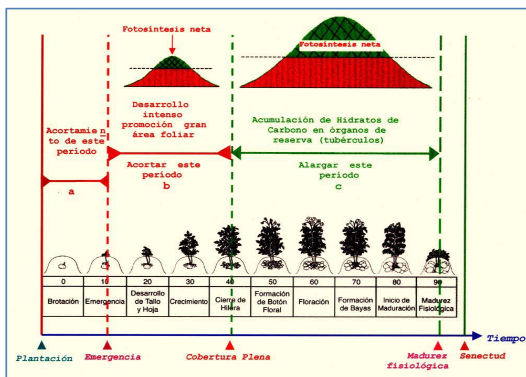


Figura 22. Período vegetativo de la Papa
Fuente: www.agrarias.uach.cl

Las características climáticas de viento y humedad relativa también inciden en las pérdidas de agua por parte de las plantas. En zonas de mayor viento, se produce mayor pérdida de agua, al igual que en zonas más secas y con temperaturas mas elevadas.

- **Evapotranspiración real**

El suministro de humedad a la superficie de evaporación es un factor determinante en la evapotranspiración. A medida que el suelo se seca, la tasa de evaporación cae por debajo del nivel que generalmente mantiene en un suelo bien humedecido. Es esta evapotranspiración que depende de la cantidad de humedad existente en el suelo, la que se denomina Evapotranspiración Real.

La evapotranspiración real es inferior a la evapotranspiración potencial para los siguientes factores:

- *Falta de agua en algunos períodos;*
- *Variación de la evapotranspiración según el desarrollo de la planta;*
- *Variaciones de las condiciones atmosféricas como la humedad, la temperatura, etc.*

Por todo ello:

$$\text{Evapotranspiración real} = K \cdot \text{evapotranspiración potencial}$$

El coeficiente K es variable y oscila entre 0,10 y 0,90, aproximándose a 1 cuando la planta está en su máximo desarrollo de foliación y fruto.

e) **Infiltración**

La infiltración es el volumen de agua procedente de las precipitaciones que atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo y del subsuelo.

Entre los factores que afectan la capacidad de infiltración tenemos:

- **Entrada superficial:** *La superficie del suelo puede estar cerrada por la acumulación de partículas que impidan, o retrasen la entrada de agua al suelo.*
- **Transmisión a través del suelo:** *El agua no puede continuar entrando en el suelo con mayor rapidez que la de su transmisión hacia abajo, dependiendo de los distintos estratos.*
- **Acumulación en la capacidad de almacenamiento:** *El almacena-*

miento disponible depende de la porosidad, espesor del horizonte y cantidad de humedad existente.

- **Características del medio permeable:** La capacidad de infiltración está relacionada con el tamaño del poro y su distribución, el tipo de suelo –arenoso, arcilloso–, la vegetación, la estructura y capas de suelos.
- **Características del fluido:** La contaminación del agua infiltrada por partículas finas o coloides, la temperatura y viscosidad del fluido, y la cantidad de sales que lleva.

Para determinar el cálculo de la precipitación que se infiltra mensualmente (P_i) al suelo, viene dado por la expresión algebraica siguiente:

$$P_i = (C_i) * (P - R_{et}) \quad \text{(VIII)}$$

Donde:

P_i —> Precipitación que infiltra mensualmente al suelo (mm/mes)

C_i —> Coeficiente de infiltración (adimensional)

P —> Precipitación mensual en (mm/mes)

R_{et} —> Retención de lluvia mensual por follaje en (mm/mes)

Por lo general, en la ecuación del Balance Hídrico, y dependiendo de la escala temporal del análisis (anual), este valor se asume que su variabilidad es mínima y puede ser considerada cero.

f) **Escorrentía superficial o caudal**

• **Caudal**

Para el aprovechamiento del recurso hídrico, es necesario conocer en un punto dado o en la salida de la cuenca, el caudal disponible a partir de las precipitaciones. El problema es aparentemente simple en su presentación, pero de una solución en muchos casos compleja, para ello se han ideado una serie de metodologías que van desde las más simples a las más complejas, como: isólinas de escorrentía, caudales específicos, generación por modelos de simulación precipitación – escorrentía, etc.

Para cuencas con características fisiográficas, cobertura vegetal y comportamiento hidrológico similar, se puede estimar el caudal específico en función de la siguiente expresión:

$$Q_x = \frac{(A_x * P_x) * Q}{A * P} \quad \text{(IX)}$$

donde:

Q_x	=	Caudal a estimar en la cuenca X en m^3/s
A_x	=	Área de la cuenca X en Km^2
Q_A	=	Caudal registrado en la cuenca A en m^3/s
AA	=	Área de la cuenca A en m^2

Para el análisis y estimación de caudales en las subcuencas se ha tenido en cuenta la ecuación X, la cual se considera como la más adecuada, ya que no solo relaciona área y caudal sino que también relaciona el aporte pluviométrico de las cuencas.

$$Q_x = \frac{A_x}{A_A} * Q_A \quad (X)$$

donde:

Q_x	=	Caudal a estimar subcuenca en m^3/s
A_x	=	Área de la subcuenca en Km^2
P_x	=	Precipitación espacial sobre la subcuenca en mm
Q	=	Caudal del río en m^3/s .
A	=	Área de la cuenca del río
P	=	Precipitación espacial sobre la cuenca del río

• **Escorrentía**

El agua de las precipitaciones que no es evaporada ni infiltrada, escurre superficialmente en forma de:

- *Escorrentía directa que es el agua que llega directamente a los cauces superficiales en un periodo corto de tiempo tras la precipitación, y que engloba la escorrentía superficial y la sub-superficial (agua que tras un corto recorrido lateral sale a la superficie sin llegar a la zona freática).*
- *Escorrentía basal que es la que alimenta a los cauces superficiales en época de estiaje.*

Una vez estimados los volúmenes de agua que se infiltran mensualmente en cada subcuenca, se establece que el agua restante es la que va a escurrir superficialmente, lo que denominamos caudal o escurrimiento superficial.

Para el cálculo de la escorrentía anual (mm) en las subcuencas y cuenca total se utiliza la expresión matemática que relaciona el caudal y el área de drenaje.

Su fórmula es:

$$E = \frac{31,536 * Q}{A} \quad (XI)$$

donde:

$$\begin{aligned} E &= \text{Escorrentía en mm} \\ Q &= \text{Caudal en m}^3/\text{s} \\ A &= \text{Área de drenaje km}^2 \end{aligned}$$

Finalmente, con la cuantificación de cada una de las variables identificadas en la ecuación del Balance Hídrico y dependiendo de la escala temporal de análisis, tendríamos así expresiones siguientes:

- Cuando el balance hídrico superficial se realiza a nivel mensual y multianual, el término correspondiente al cambio de almacenamiento (S) se considera que toma el valor de 0, debido a que la variabilidad del agua almacenada en la cuenca en períodos largos no experimenta cambios significativos.

Teniendo en consideración el párrafo anterior, la expresión algebraica del Balance Hídrico queda como:

$$Esc = PP \times ETc \quad (XII)$$

Para áreas con control hidrométrico, se utiliza la siguiente expresión:

$$P = E \times ETR \quad (XIII)$$

Donde:

$$\begin{aligned} P &= \text{Precipitación media del período y área en mm.} \\ E &= \text{Escorrentía del período y área en mm.} \\ ETR &= \text{Evapotranspiración real media del período y área en mm.} \end{aligned}$$

En áreas sin control hidrométrico, el Balance hídrico es determinado mediante la siguiente ecuación:

$$E = P \times ETR \quad (XIV)$$

“Quien fuere capaz de resolver los problemas del agua, será merecedor de dos premios Nobel, uno por la Paz y otro por la Ciencia”.
John F. Kennedy.

Tabla A1. Valores medios mensuales de la radiación solar diaria total, H_t en (kJ/m² día * 10⁶), sobre una superficie horizontal fuera de la atmósfera terrestre $I_0 = 1,353$ kJ/m², en latitudes comprendidas entre 60° N y 30° S

Latitud	60°N	50°N	40°N	30°N	20°N	10°N	0°N	10°S	20°S	30°S
Enero	3.4	9	15.1	21.1	26.7	31.7	35.9	39.3	41.4	42.5
Febrero	8.7	14.5	20.3	25.6	30.3	34.2	37.1	39	39.5	39.2
Marzo	17	22.5	27.3	31.3	34.4	36.4	37.4	37.2	35.9	33.4
Abril	27.1	30.9	34	36.4	37.5	37.5	36.2	34	30.9	26.7
Mayo	36.2	38	39.3	39.6	39	37.2	34.3	30.7	26.3	21.1
Junio	40.2	41.1	41.4	40.7	39.2	36.6	33.1	29	23.9	18.5
Julio	38	39.6	40.4	40.2	39	36.7	33.5	29.6	24.9	19.6
Agosto	31.2	34.1	36.3	37.6	37.9	37	35.2	32.5	28.7	23.9
Septiembre	21.3	26	30	33.3	35.6	36.7	36.7	35.7	33.4	30.3
Octubre	11.6	17.4	22.9	27.7	31.8	34.9	36.9	38	37.8	36.6
Noviembre	5	10.8	16.8	22.7	27.9	32.4	36.1	38.9	40.6	41.2
Diciembre	2.4	7.5	13.5	19.8	25.6	30.8	35.3	39	41.7	43.3

Fuente: Fernández Díez, 2011, www.ives.edu.mx

V.- CUESTIONARIO PRÁCTICO

¿Qué es el ciclo hidrológico?

- a) *Es el movimiento permanente del agua*
- b) *Sucesión de etapas que atraviesa el agua*
- c) *Conjunto de procesos que circulan el agua en forma permanente*
- d) *Proceso por el cual el agua cambia de un estado a otro*
- e) *N/A*

¿Indique los componentes del ciclo hidrológico?

- a) *Precipitación, evaporación y escurrimiento*
- b) *Evaporación, precipitación y escurrimiento*
- c) *Evaporación, condensación, precipitación, escurrimiento e infiltración*
- d) *Evaporación, precipitación, acumulación y escurrimiento*
- e) *N/A*

¿A que se debe el movimiento permanente del ciclo hidrológico?

- a) *Al movimiento de rotación y traslación de la tierra.*
- b) *A las corrientes oceánicas*
- c) *A la energía solar y la gravedad terrestre*
- d) *Al campo magnético terrestre*
- e) *N/A*

¿Qué es Balance Hídrico Superficial?

- a) *Estimación del agua precipitada y distribuida en diferentes procesos.*
- b) *Cuantificación de las entradas y salidas de agua en un sistema (cuenca hidrológica)*
- c) *Herramienta para conocer el estado de humedad de un área.*
- d) *Es la disponibilidad de agua en función de la oferta*
- e) *N/A*

¿Cuáles son los tipos de precipitación?

- a) *Lluvia, granizo y nieve*
- b) *Convectiva, orográfica y frontal*
- c) *Cumulus, nimbus y cirrus*
- d) *Líquida, sólida y gaseosa*
- e) *N/A*

¿Cuándo el sol calienta el agua de los ríos y mares se produce ...?

- a) *Precipitación*
- b) *Evaporación*
- c) *Condensación*
- d) *Transpiración*
- e) *Infiltración*

¿En que consiste la transpiración?

- a) *Es cuando el agua pasa de líquido a vapor*
- b) *Es cuando el agua pasa de vapor a líquido*
- c) *Es la evaporación través de las hojas de las plantas*
- d) *Es la perdida de agua de los cuerpos líquidos*
- e) *N/A*

¿Qué es evapotranspiración?

- a) *Cantidad de agua que pierde un sistema hídrico*
- b) *Cantidad de agua que retorna a la atmósfera, tanto por transpiración de la vegetación como por evaporación del suelo.*
- c) *Cantidad de agua que se convierte en vapor,*
- d) *Cantidad de agua que circula por una corriente, se mide con molinete*
- e) *N/A*

¿A que se denomina escorrentía (o escurrimiento)?

- a) *Determinación del volumen de agua en una corriente o flujo de agua*
- b) *Proceso donde se acumulan las aguas que precipitan en el terreno*
- c) *Deslizamiento del agua infiltrada en el subsuelo*
- d) *Porción de lluvia que no es infiltrada, interceptada o evaporada y fluye sobre la superficie del terreno.*
- e) *N/A*

¿Qué es infiltración?

- a) *Cantidad de agua que se acumula en los ríos*
- b) *Cantidad de agua que retorna a la atmósfera*
- c) *Cantidad de agua procedente de las precipitaciones que atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo*
- d) *Gráfica que representa la variabilidad del agua*
- e) *N/A*

¿A que llamamos caudal?

- a) *Proceso para determinar el nivel de un río*
- b) *Proceso para determinar el volumen que escurre por una cuenca*
- c) *Proceso para determinar el volumen que escurre por una corriente o río*
- d) *Proceso para medir el volumen de un río*
- e) *N/A*

¿Los métodos para determinar la evapotranspiración más usados...?

- a) *Thornwhaite*
- b) *Penman Moteith*
- c) *Hargreaves*
- d) *a y b*
- e) *Todas*

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arreola Muñoz, A. (s/f) El Manejo integral de cuencas: limitaciones de una política sectorial para la gestión territorial del agua. Instituto para el Desarrollo Sustentable en Mesoamérica, A.C. (IDESMAC).
- Bruijnzeel, L.A. y Hamilton, L.S. (2000) Decision Time for Cloud Forests. UNESCO, IUCN, WWF, 39 pp.
- Bruijnzeel, L.A. (1990) Hydrology of moist tropical Forests and effects of conversion: a state of knowledge review. UNESCO, IAHS, Free University Amsterdam, 224pp.
- Bruijnzeel, L.A. (1991) Hydrological impacts of tropical forest conversion. *Nature & Resources* 27 (2):36-45.
- Estrela, T., 1992. *Metodología y Recomendaciones para la Evaluación de Recursos Hídricos. Centro de Estudios Hidrográficos.- Madrid: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Gabinete de Formación y Documentación, Madrid, España. 52 p.*
- Hamilton, L.S., Juvik, J.O. y Scatena, F.N. (Editores, 1995) Tropical Montane Cloud Forests, *Ecological Studies* Vol.110, Springer-Verlag, Ann Arbor, 407pp.
- Heras, R. (1983). Recursos Hídricos Síntesis Metodología y Normas. Edita Cooperativa de Publicaciones del ocelgio de Ingenieros de Caminos, canales y Puertos. Almagro, 42 –Madrid. 4361 p.
- Holdridge, L.R. Life Zone Ecology (San José, Costa Rica: Tropical Science Center, 1967).
- Llerena, C. A. 2003. Servicios ambientales de las cuencas y producción de agua, conceptos, valoración, experiencias y sus posibilidades de aplicación en el Perú. FAO Presentado en el Foro Regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA), Arequipa, Perú, 9-12 junio 2003, durante el Tercer Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas.
- Musy, A. 2001. Cours "Hydrologie générale". Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. IATE/HYDRAM. Laboratoire d'Hydrologie et Aménagement. Capítulo 1, 2, 3, 4 y 5.
- Pladeyra 2003. Paisajes hidrológicos y balance hídrico de la cuenca Lerma Chapala, México.
- Rendón, Luis. 2003. La cuenca: sistema hidrológico o curso de agua natural. IMTA. Documento electrónico.

Stadtmuller, T. (1987) Los bosques nublados en el trópico húmedo, UNU, CATIE, Turrialba, 85pp.

Sánchez San Roman, J. (2001), El agua en el suelo.
Web.usual.es/~javisan/hidro/temas/T040

Sing, H.V.P. (1989). Hydrologic Systems Vol II watershed modeling Prentice Hall, New Jersey 320 pp.

Sasal, M et al, 2010

WWF/IUCN (2000). Bosques Nublados Tropicales Montanos: Tiempo para la Acción, WWF International, The World Conservation Union, Arborvitae, 28 pp.

Páginas Web:

http://blnlaus.blogspot.com/	<i>Escalas Térmicas</i>
http://www.eureka.ya.com/	<i>Evapotranspiración</i>
http://www.elriego.com , 2001	<i>Componentes de evapotranspiración</i>
www.recursosaguapuertorico.com	<i>Evaporación y transpiración</i>
http://www.chema.site88.net/sig.html	<i>Esquema de Desarrollo de un SIG</i>
http://www.cmapspublic2.ihmc.us	<i>Esquema del Balance Hídrico</i>
http://www.Watplan.com	<i>Componentes de la Evapotranspiración</i>
http://www.fao.org	<i>Evapotranspiración de respiración</i>
www.google.com	<i>Tipos de hojas y la ETo</i>
www.agrarias.uach.cl	<i>Periodo vegetativo de la Papa</i>
www.ives.edu.mx	<i>Valores medios mensuales</i>

Esta Cartilla se terminó de imprimir en el mes de
Setiembre 2012 en la imprenta IBEGRAF
Jr. Cangallo N° 217 Int. 5
Lima-Perú

CONSEJO DIRECTIVO

Juan Julio Ordoñez Gálvez
SENAMHI

Karen Kraft
Asociación Especializada para el Desarrollo Sostenible—AEDES

German Torre Villafane
Centro de Estudios Solidaridad - CESS SOLIDARIDAD

Elder Gustavo Palacios Salazar
Asociación de Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento - ANEPSSA

Marco Antonio Nuñez de del Prado Coll
Autoridad Nacional del Agua - ANA

Nicole Bernex Weiss
Pontificia Universidad Católica del Perú - PUCP



Río Blanco, Cuenca del Rímac.