

1. OBJETIVO

Definir los aspectos conceptuales y metodológicos para la determinación de Balance Hídrico Superficial, a través del tratamiento de los datos edafoclimáticos y la estimación de la variabilidad del almacenamiento del agua en el suelo; cálculo de interés en la evaluación de la disponibilidad de agua en el suelo y para los cultivos, estudios de conservación del recurso agrológico, establecimiento del régimen de humedad edáfico y criterios de diferenciación climática, en las diferentes aplicaciones del GIT de Gestión de Suelos y Aplicaciones Agrológicas.

2. ALCANCE

El presente instructivo aplica para los servidores públicos de la Subdirección de Agrología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. Inicia con el procesamiento de datos y finaliza con las aplicaciones del Balance Hídrico.

3. DESARROLLO

3.1. POLÍTICAS DE OPERACIÓN

- Utilizar insumos actualizados, tanto para las series de las variables meteorológicas de acuerdo con la norma climatológica vigente, como las bases de datos de perfiles de suelo.
- Consultar a diferentes entidades que tengan información de estaciones meteorológicas para aumentar la densidad de la información y revisar bases de datos que contengan información estimada de variables climáticas a través de sensores remotos para la zona de estudio.
- La base de datos de perfiles de suelos debe contener mínimo la información de retención de humedad, granulometría, densidad aparente y profundidad efectiva, dado que ayuda a determinar la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo.
- Cuando no se tenga la información completa de las variables edáficas, se sugiere que para su estimación se utilicen funciones de pedotransferencia o métodos geoestadísticos, sustentados en el comportamiento de las variables del suelo.

3.2. INSUMOS

- Información de series históricas de las variables meteorológicas de la zona de estudio.
- Base de datos de perfiles de suelos tomados en los diferentes estudios de la Subdirección de Agrología – IGAC.

3.3. PROCEDIMIENTO

3.3.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

3.3.1.1. Procesamiento de datos climáticos

Los balances hídricos se calculan a partir de NORMALES CLIMATOLÓGICAS; la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (2011) define las normales climatológicas estándar como "medias de datos climatológicos calculadas para períodos consecutivos de 30 años, las normales tienen como finalidad el poder comparar observaciones, de períodos de referencia Internacionales (1901-30; 1931-60; 1961-90; 1991-2020, 1971-2000; 1981-2010).

Así, el objetivo fundamental de la gestión de los datos climáticos consiste en conservar, captar y proporcionar datos y productos climáticos. Los datos climáticos resultan más útiles cuando se han editado y sometido a un control de calidad, de acuerdo con la OMM (2007, 2011), cuyo objetivo consiste en verificar si el valor de un dato notificado es representativo de la medición que se pretendía efectuar y no se ha visto afectado por factores no relacionados con el mismo (OMM, 2011). Dentro de las sugerencias que propone la OMM se encuentran:

- Comprobaciones sintácticas (la temperatura del aire debe ser una cifra de no más de un decimal).
- El valor de la precipitación fuese mayor a 0 mm.
- Intervalos de valores razonables con la climatología en Colombia (por ejemplo, temperaturas comprendidas entre -50 y +50).
- Comprobaciones de la franja de valores climáticos (coherencia del dato con la climatología).

- Coherencia interna de cada ficha (por ejemplo, la temperatura media, no fuese inferior a la temperatura mínima).
- Revisión de datos consecutivos iguales por más de cuatro periodos (días, meses).
- Coherencia de las series cronológicas (por ejemplo, la diferencia entre dos temperaturas sucesivas en un mismo sitio deberá ser aceptable).
- Coherencia espacial (por ejemplo, que no se excedieran las diferencias admisibles entre los valores de temperatura de una estación y los de estaciones vecinas).
- Consistencia entre variables meteorológicas (que días de altas temperaturas, dispongan de altas horas de brillo solar).

Una vez revisada la información, se debe determinar si los datos atípicos corresponden a un evento extremo, un evento de variabilidad climática (El Niño/La Niña), un error digital o un error de la estación; de no ser así, se desprecia el dato.

Por otra parte, que las series de datos contemplen al menos el 70% del periodo a trabajar, puesto que la carencia de datos puede hacer que el valor registrado resulte muy cuestionable.

Una vez, se disponga de una serie histórica de datos de 30 años, los valores pueden tabularse a nivel mensual, decadiario o diario, dependiendo de la precisión que se requiera, donde el usuario pueda leer su origen, tipo de información (precipitación, temperatura, brillo solar, humedad, etc.), frecuencia y fecha de toma, que servirán para realizar los cálculos respectivos acorde como se procede en el presente instructivo.

3.3.1.2. PROCESAMIENTO DE DATOS EDÁFICOS

La información edáfica será utilizada principalmente en la etapa de poscampo del levantamiento de suelos y su tratamiento consiste en recolectar la información de los suelos hasta la profundidad efectiva que esté limitada por fragmentos de roca o algún impedimento físico que impida el almacenamiento de agua. Con esta información se estimarán los valores de capacidad de almacenamiento de agua que se pueden utilizar en cada aplicación de un balance hídrico.

Los parámetros que se deben recolectar deben ser las variables o características que definen los horizontes del perfil que estén incluidos hasta la profundidad efectiva del suelo o hasta el límite inferior del suelo que cada aplicación requiera, estos parámetros se pueden almacenar y calcular en una base de datos como la que se muestra en la figura 1 donde están enunciadas de manera abreviada (número del perfil de suelos (Perfil), clasificación taxonómica (Tax), familia textural (F_Tex), profundidad efectiva (Prof_E), limitantes de la profundidad efectiva (L_Prof_E), profundidades finales de los horizontes(ProfHi), porcentaje de fragmentos de roca o pedregosidad por horizonte (FR_Hi), humedad aprovechable (HA_Hi), densidad aparente (Da_Hi), al final de cada tabla se destinan espacios para calcular la capacidad de almacenamiento en cada horizonte (CA_Hi) y la capacidad de almacenamiento de agua total (CA) que tiene el suelo en el espacio que requiera cada aplicación. El cálculo de la capacidad de almacenamiento se describirá en la sección 3.3.2.3.

Perfil	Tax	F_Tex	Prof_E	L_Prof_E				
ProfH₁	ProfH₂	ProfH₃	FR_H₁	FR_H₂	FR_H₃	HA_H₁	HA_H₂	HA_H₃
Da_H₁	Da_H₂	Da_H₃	CA_H₁	CA_H₂	CA_H₃	CA		

Figura 1. Base de datos de suelos para determinar capacidad de almacenamiento de agua

3.3.2. PASO A PASO

El balance hídrico representa la valoración del agua en el suelo, en un intervalo de tiempo determinado, generalmente a través del año (Leiva G., 2012).

El método utilizado para el cálculo del balance hídrico es el de Thornthwaite & Mather, (1955). Este método supone que el agua que llega al suelo proviene precipitación, escorrentía o aportes subterráneos y que las pérdidas hacia la atmósfera son ocasionadas por la evaporación y por la transpiración desde la vegetación existente en condiciones medias climáticas.

Es importante resaltar en este punto que, para el cálculo del balance hídrico se asume una serie de simplificaciones: el único aporte de agua proviene de la precipitación; en cuanto a salidas, solamente se considera la evapotranspiración potencial; no se tienen en cuenta los movimientos laterales ni verticales del agua, es decir no hay percolación por aguas superficiales y subterráneas afluentes y efluentes o ascenso capilar y el contenido de humedad del suelo para un determinado periodo está totalmente disponible para el periodo siguiente, sin importar su cantidad; estas simplificaciones se aducen ya que la variación del almacenamiento de los cuerpos de agua y las salidas y entradas del agua subterránea se compensan durante un año.

De igual manera, de acuerdo con Botey F. & Moreno G. (2015) se contemplan también las siguientes consideraciones:

- No existen aportes de riego.
- La cantidad de precipitación que se pierde por escorrentía superficial (Esi) y que no llega a penetrar en el suelo se considera nula. Para estimar diariamente la Esi sería necesario conocer para cada ubicación la velocidad de infiltración del suelo, la humedad del suelo, el estado de la vegetación y la intensidad de la lluvia. En general, Esi es cero en suelos bien drenados, sin pendiente y con pastos. Para balances diarios resulta difícil conocer el valor exacto de Esi, ya que las pérdidas por escorrentía en un lugar pueden suponer un aporte de agua en terrenos circundantes ubicados en depresiones.
- La evapotranspiración que puede llegar a tener el cultivo (evapotranspiración potencial), es la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) de Penman Monteith modificada por la FAO (Allen et al., 2006).
- No hay aportes por ascenso capilar, lo que supone una capa freática a suficiente profundidad.
- La diferencia entre el flujo subsuperficial entrante y saliente en el balance diario, se considera nulo.

3.3.2.1. BALANCE HÍDRICO CLIMÁTICO Y SUS ELEMENTOS

La forma de conocer la disponibilidad hídrica es generalmente mediante el cálculo de un balance hídrico, el cual tiene como información inicial tres parámetros fundamentales: la precipitación media, la evapotranspiración potencial (estimada de acuerdo con la disponibilidad de las variables climáticas) y el almacenamiento en función de las propiedades físicas del suelo. Para efecto del balance hídrico en el estado inicial (instante t) del sistema, que en este caso es el suelo, se define una disponibilidad inicial de agua o contenido de humedad, de manera que se haga un balance anual en los distintos estados (i= 1, 2,...n.), con base en los datos climáticos de precipitación y evapotranspiración de referencia, siendo i, la variable tiempo en días, semanas o meses (Leiva G., 2012), como se presenta en la figura 2.

Desde el punto de vista agroclimático el balance hídrico se centra en determinar los cambios o gradientes de humedad en el suelo ΔH en diferentes periodos i por lo cual, se plantea la ecuación en forma abreviada como:

$$\Delta H_i = P_i - ETP_i$$

Donde, P_i indica la precipitación o entrada del agua y ETP_i , las pérdidas debidas a la evapotranspiración potencial, estimada a través de las principales variables climáticas como los son temperatura máxima (T_{max}), temperatura mínima (T_{min}), temperatura media (T_{med}), humedad relativa (HR), brillo solar (BS), velocidad del viento (VV), radiación solar (Ra); entre otros. (Figura 2).

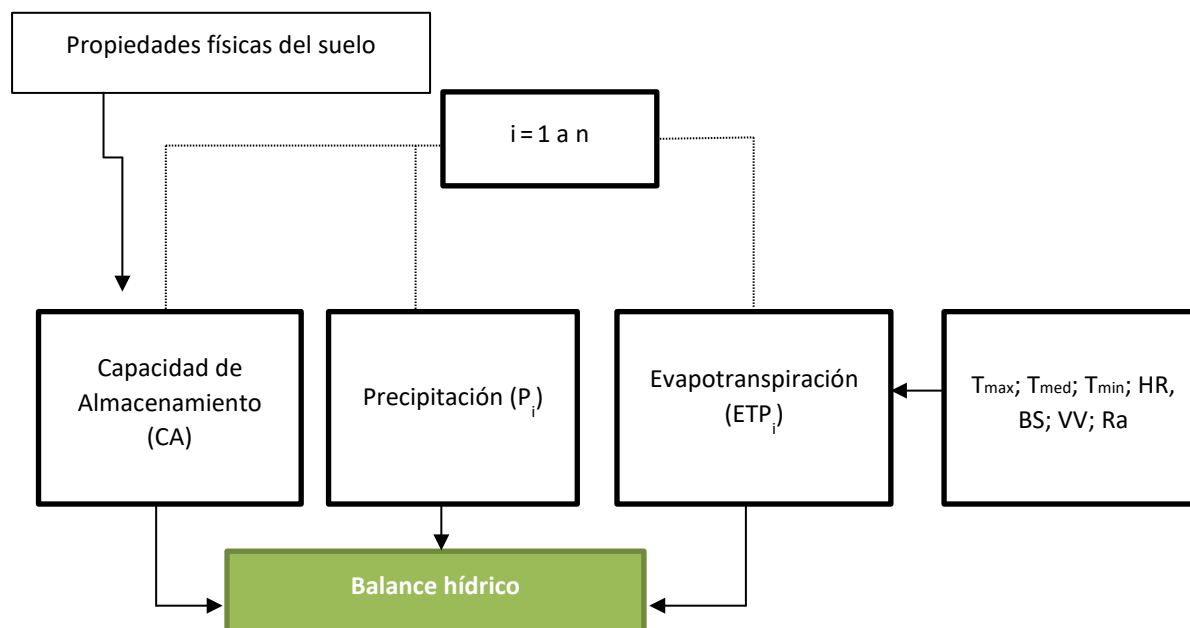


Figura 2. Esquema general del balance hídrico en el suelo

De acuerdo con el esquema de la figura 2, el primer paso consiste en obtener los valores temporales de las variables de precipitación y evapotranspiración potencial media y el almacenamiento inicial del balance, según como se presenta a continuación.

◦ Precipitación total (P) y precipitación efectiva (Pe):

En la mayoría de los casos, la precipitación representa el mayor aporte hídrico al suelo (Claro R., 2006), una parte es interceptada por la vegetación (intercepción foliar), otra percola debajo de las raíces del cultivo, otra escurre sobre la superficie del terreno y otra se infiltra y se incorpora a la capa radical (Saseendran et al., 2015; Echeverría et al., 2007); ésta última porción de la lluvia es la que se denomina precipitación efectiva (Pe), así, el agua que se infiltra en el suelo depende del tipo de suelo, pendiente, cobertura vegetal, intensidad de la precipitación y el contenido inicial de agua en el suelo (Smith, 1993).

La precipitación efectiva (Pe) significa lluvia útil o utilizable, es parte de la precipitación total que satisface directamente las necesidades de agua de los cultivos (Smith, 1993). Por lo anterior, en los cálculos debe tenerse en cuenta la precipitación efectiva (Pe), que es igual a la precipitación (P) multiplicada por un coeficiente menor que la unidad total.

El método más preciso para determinar la precipitación efectiva es a través de observación en campo. La lluvia es altamente efectiva cuando poco o nada se pierde por escorrentía. Bajas precipitaciones son poco efectivas pues se pierden rápidamente por evaporación, (Smith, 1993) y altas precipitaciones su volumen se pierde en su mayoría por escorrentía superficial y percolación profunda. Su estimación ha sido sujeta a una diversidad de estudios (Brouwer & Heibloem, 1986; USDA, 1992 & FAO, 2010), sin embargo, debido a la complejidad, la precipitación o lluvia efectiva (Pe) se estima mediante funciones empíricas dentro de las cuales se propone el uso del porcentaje fijo como se presenta en la siguiente ecuación (Smith, 1993):

$$Pe = \%Fijo * P (0.7 - 0.9)$$

De acuerdo con el método del USDA (1992) la precipitación efectiva se puede calcular de acuerdo con:

a) Para valores mensuales de precipitación:

$$Pe = Pmensual * (125 - 0.2 * Pmensual) / 125 \text{ para } Pmensual \leq 250 \text{ mm}$$

$$Pe = 125 + 0.1 * Pmensual \text{ para } Pmensual > 250 \text{ mm}$$

b) Valores decadiarios de precipitación:

$$Pe (\text{dec}) = Pdec * (125 - 0.6 * Pdec) / 125 \text{ para } Pdec \leq (250 / 3) \text{ mm}$$

$$Pe (\text{dec}) = (125 / 3) + 0.1 * Pdec \text{ para } Pdec > (250 / 3) \text{ mm}$$

° Evapotranspiración potencial (ETP)

La evapotranspiración potencial (ETP), es un importante elemento del balance hídrico, por cuanto determina las pérdidas de agua desde una superficie de suelo en las condiciones que se han definido. La cuantificación de las pérdidas es indispensable para el cálculo del agua disponible en el suelo para ser utilizada por las plantas para su crecimiento y producción. Mediante contraste con la lluvia, permite establecer las necesidades de riego o drenaje en una región determinada (IDEAM, 2005).

La ETP se mide y estima en milímetros por unidad de tiempo; puede ser medida directamente o estimada por medio de ecuaciones empíricas debidamente calibradas de acuerdo con Hargreaves & Samani, 1985; Monteith & Unsworth, 1990 y FAO, 1998, donde se recomienda esta última por su la adopción del método combinado de Penman-Monteith; propuesta que fue validada y aceptada por la comunidad científica mundial (Allen et al., 2006). Las metodologías mencionadas se exponen en el documento zonificación climática aplicada al levantamiento de suelos (IGAC, 2018), se sugiere el uso de la siguiente ecuación debido a que en el país la densidad de estaciones con instrumentación para la medición de temperaturas extremas y media son mayores que las de otras variables necesarias para calcular la ETP:

$$ETo = 0,0023(Tmedia + 17.8)(Tmax - Tmin)0,5Ra$$

° Almacenamiento (Ai)

Se denomina como reserva o almacenamiento a la cantidad de agua por unidad de superficie (mm) que el suelo es capaz de almacenar en su perfil. La cantidad de agua que supere la reserva máxima se escurrirá en la superficie o en profundidad.

Por tanto, se expone el concepto de capacidad de almacenamiento o reserva máxima (CA) o cantidad de agua por unidad de superficie (mm) que el suelo es capaz de almacenar en su perfil. Se determina en función de las características físicas del suelo; es decir, este valor no es constante y varía en función de los tipos de suelos, no obstante, cuando no se conocen las características del suelo se asumen diferentes capacidades de retención que pueden ser de 75, 100 y 150 mm (independientemente del suelo y vegetación), de acuerdo con autores como Thornthwaite & Mather, 1955 y Turc, 1961.

De esta manera, el almacenamiento se produce cuando en un periodo i se produzcan más entradas que salidas, ($P > ETP$), el agua sobrante pasará a engrosar las reservas del suelo, así el almacenamiento en un periodo A_i está en función del almacenamiento periodo anterior A_{i-1} como se presenta en la ecuación N° 1 de la tabla 1, sin embargo, debido al almacenamiento máximo del suelo (CA), cuando éste es superado por los aportes de ($P - ETP$) estos pasarán a escorrentía y el almacenamiento (A_i) será igual al almacenamiento máximo (CA) como se presenta el esquema de la figura 3. Por el contrario, cuando las salidas sean mayores que las entradas ($P < ETP$) se reducirá la reserva del suelo y se producirá una pérdida en el almacenamiento (PA) de acuerdo con la ecuación N° 2 de la tabla 1.

Tabla 1. Ecuaciones para calcular el almacenamiento

N°	Condición	Ecuación
1	Cuando $P > ETP$	$A_i = A_{i-1} + (P - ETP)$
2	Cuando $P < ETP$	$A_i = A_{i-1} - PA_i$

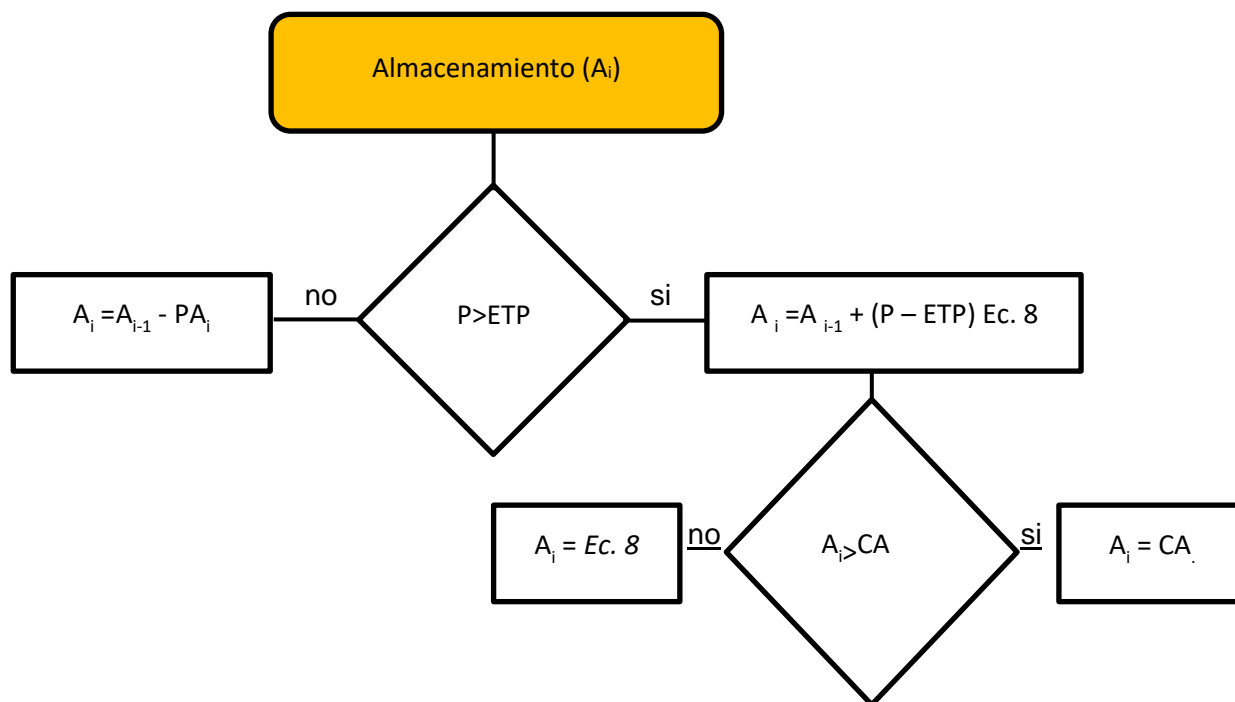


Figura 3. Esquema para la estimación del almacenamiento del balance hídrico en el suelo

Sobre las aplicaciones agrológicas, el almacenamiento se estima según las propiedades físicas del suelo y hasta la profundidad del perfil edáfico según corresponda, cuyos elementos y cálculos se explican en el numeral 3.3.2.3.

3.3.2.2. CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO

Partiendo del conocimiento de la precipitación efectiva (Pe), la evapotranspiración media del periodo a estimar (mensual, decadiario o diario) y el almacenamiento máximo, se procede a estimar el balance del agua en el suelo a lo largo del año, cuyo objetivo es determinar los periodos de déficit o excedente de agua en función de las variables que ya se han descrito.

El balance se inicia en una condición ideal de retención total de agua, es decir, cuando se presume en el suelo el mayor almacenamiento o sin humedad alguna: a comienzo de la época de lluvias o comienzo del periodo seco, asumiéndose una capacidad de almacenamiento máximo del suelo de 100 mm o sin humedad, como se explicó en el numeral 3.3.2.1 en la sección de almacenamiento.

Además de calcular el valor en mm de la reserva de humedad del suelo también se calculan por cada periodo i , la pérdida por almacenamiento, la evapotranspiración real, el déficit y el exceso, calculados a partir de las hipótesis de partida como se presenta a continuación:

◦ Pérdida por almacenamiento (PA_i)

Las pérdidas en el almacenamiento del suelo se calculan a una tasa proporcional, dependiendo de la fracción de agua almacenada en el suelo. Estas pérdidas se calculan cuando la lluvia es insuficiente para cubrir la demanda de agua (ETP), la cual deja una demanda de agua (ETP-P).

Entonces, a partir del almacenamiento máximo (CA) del agua en el suelo y del valor correspondiente al periodo anterior (A_{i-1}), se determina la fracción de agua almacenada para multiplicarlo por la demanda (ETP-P) y así cubrirla como se presenta en la siguiente ecuación. No obstante, PA_i no puede superar el almacenamiento anterior, dado que el suelo no puede perder más agua de la que ya está contenida en él, en cuyo caso PA_i será igual a A_{i-1} como se muestra en el esquema de la figura 4.

En caso contrario, cuando $P > ETP$, el excedente se infiltrará en el terreno hasta cubrir el almacenamiento máximo (CA.) que un suelo puede tener y PA_i será igual a cero (Figura 4).

$$PA_i = (ETP_i - P_{ei}) * A_{CA_{i-1}}$$

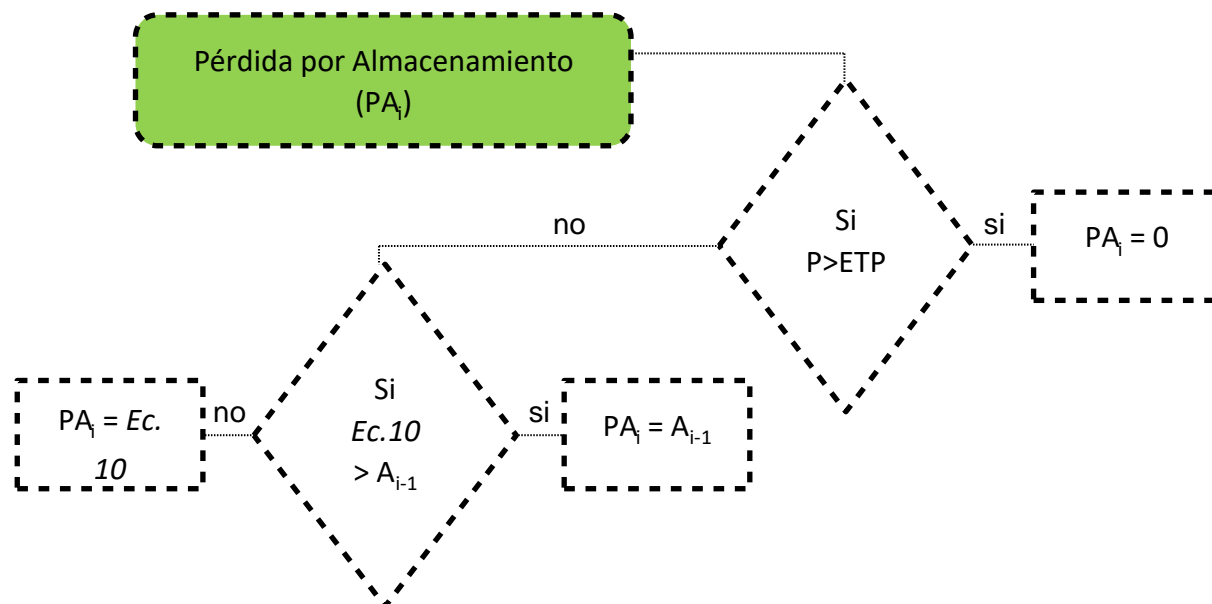


Figura 4. Esquema para la estimación de la pérdida por almacenamiento.

◦ Evapotranspiración real (ETi)

La evapotranspiración real es el volumen de agua que realmente se evapotranspira y se refiere al agua disponible para evaporar; corresponde a la precipitación en el periodo i y la existente en la reserva del suelo. Por su parte, dadas las características del clima, existe una capacidad potencial de evapotranspirar, pero tal cantidad solo se podrá dar si está se encuentra disponible, así las cosas, ETPi será siempre mayor o igual que ETi.

De esta manera, en el período húmedo cuando $P > ETP$ (Figura 5), al cubrir la precipitación la demanda potencial la ET es igual a la potencial; es decir,

$$ET_i = ETP_i$$

En el período seco, cuando $P < ETP$ (Figura 5), el agua que se evapora será el agua de precipitación más la pérdida por almacenamiento (PA), como se muestra en la siguiente ecuación:

$$ET_i = P_{e_i} + PA_i$$

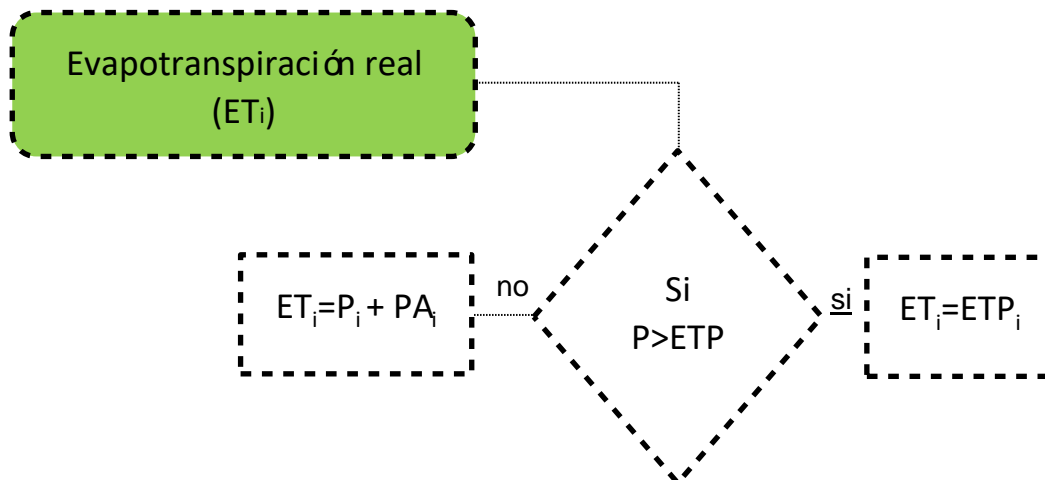


Figura 5. Esquema para la estimación de la evapotranspiración real.

◦ Déficit (Di) y excesos (Ei)

Del cálculo de los balances se derivan los índices de déficit y exceso que corresponden a la fracción de agua consumida con respecto a la demanda total que se utiliza para diferentes aplicaciones agrícolas.

De este modo, el déficit se define como la cantidad de agua que falta para cubrir las necesidades potenciales de agua (para evaporar y transpirar), y de este modo la ET coincidirá con el agua disponible que haya; así, la diferencia entre la ETP y la ET constituye lo que se llama el déficit hídrico, como se presenta en la siguiente ecuación:

$$D_i = ETP_i - ET_i$$

Pese a lo anterior, es importante recordar que el déficit se presenta sólo en los periodos (i) donde la ETP es mayor que P, de lo contrario el déficit es nulo, tal como se presenta en el esquema de la figura 6.

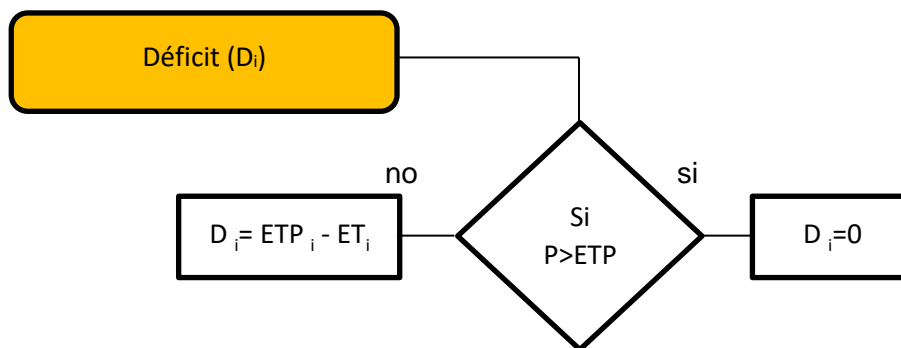


Figura 6. Esquema para la estimación del déficit de agua en el suelo

Por otra parte, el exceso es medido como la cantidad de agua que supera la reserva máxima (CA) y que se perderá por escorrentía superficial o profunda y se procede según la siguiente ecuación, donde el exceso se genera cuando supera el almacenamiento del periodo anterior y la suma entre la demanda (ETP – P), de lo contrario, el exceso es cero (0) según esquema (Figura 7):

$$E_i = A_{i-1} + (P_i - ETP_i) - CA$$

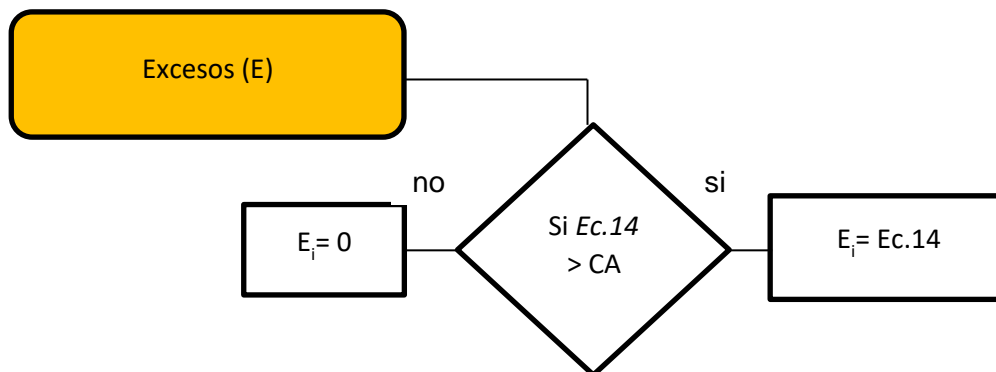


Figura 7. Esquema para la estimación del exceso de agua en el suelo

Como es lógico sólo puede haber exceso si la precipitación ha compensado previamente la ET, es decir, en los periodos húmedos. Los excesos de agua, aunque se pueden almacenar en las capas más profundas, no se tienen en cuenta en los periodos siguientes cuando las raíces alcancen dichas profundidades, debido a que estos valores no son significativos y sí pueden alterar equivocadamente el cálculo.

° Ejemplo de balance hídrico cuando no se conoce CA:

Con los datos de la normal climatológica vigente (1981- 2010) se estiman las variables de entrada Pe y ETP explicados en el numeral 3.3.2.1, con las que se realizan los cálculos para diligenciar la ficha hídrica (Tabla 2), datos que servirán para construir y explicar la curva del balance hídrico, suponiendo una capacidad de almacenamiento de 100 mm, según Thornthwaite & Mather, 1955 y Turc, 1961.

A partir de los valores de entrada y la capacidad de almacenamiento se definen, década (i) a década (i+1), los parámetros de Ai, PAi, ETi, Di y Ei explicados en la sección 3.3.2.1.

A continuación, se introduce a los cálculos de forma secuencial en un ejemplo en la escala decadiaria donde se muestra que la ficha hídrica y el balance de agua deben iniciarse en una década contrastante con las demás en el año, es decir, décadas que presenten altas o bajas precipitaciones:

a) Paso 1: identificar punto o década de partida para el cálculo del balance de agua.

Para el ejemplo, el balance se inicia en la década 26 (i-1) considerada como la más húmeda (o de mayor precipitación) y en donde se asume que el suelo se encuentra en su máxima capacidad de almacenamiento, que se ha supuesto de 100 mm (Tabla 2).

b) Paso 2: Identificar si se presenta oferta o demanda hídrica.

Estas condiciones se identifican a través de la diferencia entre la ETP_i y Pe_i, en la tabla 2, donde se observa que Pe_i es mayor que ETP_i durante las décadas 26 a 31, por tanto, se presenta oferta hídrica en estos periodos. Por su parte en las décadas 32 a 1, Pe_i es menor que ETP_i lo que indica demanda de agua.

Tabla 2. Ficha hídrica, identificación de oferta vs demanda de agua

Década	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	1
P_i	100,1	84,5	83,5	70,6	71,9	55,2	42,0	30,7	14,0	16,4	6,9	7,1
Pe_i	51,68	50,12	50,01	46,66	47,08	40,57	33,53	26,18	13,10	15,14	6,86	6,01
ETP_i	39,73	39,30	36,95	36,37	36,10	33,73	33,55	33,70	32,26	33,37	35,16	35,62
Pe>ETP												
ó	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe
ETP>Pe												
PA_i												
A_i	100,0											
ET_i												
D_i												
E_i												

c) Paso 3:

De acuerdo con las condiciones encontradas se utilizarán las ecuaciones cuando Pe_i>ETP_i (décadas 26 a la 31) que se definirá como caso A, y cuando Pe_i<ETP_i caso B (décadas 32 a la 1), como se define a continuación:

◦ Caso A Pe_i>ETP_i:

- Cálculo o estimación de la pérdida en el almacenamiento PA_i

Debido a que en los periodos de las décadas 26 a la 31 Pe_i>ETP_i, PA_i será igual a cero (ver esquema de la figura 4).

- Cálculo del almacenamiento A_i:

El almacenamiento se evalúa siguiendo el esquema de la figura 3 y mediante ecuación N° 1 de la tabla 1 y estará a su máxima capacidad (Tabla 3) dado que el agua que se encuentra almacenada y el agua ofertada por el ambiente superan la máxima capacidad de almacenamiento del suelo en estos periodos.

$$A_{i-1} + (Pe_i - ETP_i)$$

$$A_{26} + (Pe_{27} - ETP_{27})$$

$$100mm + (50.12mm - 39.30mm)$$

$$110.82mm > A_{máx}$$

$$A_{27} = 100 mm$$

Tabla 3. Ficha hídrica, diligenciamiento de pérdida y almacenamiento

Década	26	27
P_i	100,1	84,5
Pe_i	51,68	50,12
ETP_i	39,73	39,3
Pe>ETP ó ETP>Pe	Pe>ET P	Pe>E TP
PA_i		0
A_i	100	100

- Cálculo o estimación de la evapotranspiración real ET_i:

La estimación de la ET_i se realiza siguiendo el esquema de la figura 5 donde se indica que cuando Pe_i>ETP_i la ET_i será igual a ETP_i (Tabla 4).

Tabla 4. Ficha hídrica, diligenciamiento de evapotranspiración real

Década	26	27	28	29	30	31
P_i	100,1	84,5	83,5	70,6	71,9	55,2
Pe_i	51,68	50,12	50,01	46,66	47,08	40,57
ETP_i	39,73	39,3	36,95	36,37	36,1	33,73
Pe>ETP ó ETP>Pe	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP
PA_i		0	0	0	0	0
A_i	100	100	100	100	100	100
ET_i		39,30	36,95	36,37	36,10	33,73

- Cálculo o estimación del déficit hídrico D_i:

El déficit hídrico se calcula mediante lo expuesto en el esquema de la figura 6. Dado que Pe_i>ETP_i el D_i equivale a cero (Tabla 5), pues Pe_i cubre la necesidad potencial de agua en el suelo.

Tabla 5. Ficha hídrica, diligenciamiento del déficit hídrico

Década	26	27	28	29	30	31
P_i	100,1	84,5	83,5	70,6	71,9	55,2
Pe_i	51,68	50,12	50,01	46,66	47,08	40,57
ETP_i	39,73	39,3	36,95	36,37	36,1	33,73
Pe>ETP ó ETP>Pe	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP
PA_i		0	0	0	0	0
A_i	100	100	100	100	100	100
ET_i		39,30	36,95	36,37	36,10	33,73
D_i		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

- Cálculo o estimación del exceso hídrico E_i :

Los excesos de agua se estiman con base en lo expuesto en el esquema de la figura 7 y al evaluar la ecuación de E_i del numeral 3.3.2.2, como se muestra a continuación:

$$A_{i-1} + (P_{ei} - ETP_i) > A_{m\acute{a}x} \text{ o } A_{i-1} + (P_{ei} - ETP_i) < A_{m\acute{a}x}$$

$$A_{26} + (P_{e27} - ETP_{27})$$

$$100\text{mm} + (50.12\text{mm} - 39.30\text{mm}) < 100\text{mm}$$

$$110.82 \text{ mm} > 100\text{mm}$$

$$E_{27} = A_{i-1} + (P_{ei} - ETP_i) - A_{m\acute{a}x}$$

$$E_{27} = A_{26} + (P_{e27} - ETP_{27}) - A_{m\acute{a}x}$$

$$E_{27} = 100\text{mm} + (50.12\text{mm} - 39.30\text{mm}) - 100\text{mm}$$

$$E_{27} = 10.82\text{mm}$$

Los datos estimados para las décadas 27 a 31 se deben ingresar a la ficha hídrica como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Ficha hídrica, décadas 26 a 31

Década	26	27	28	29	30	31
P_i	100,1	84,5	83,5	70,6	71,9	55,2
P_{ei}	51,68	50,12	50,01	46,66	47,08	40,57
ETP_i	39,73	39,3	36,95	36,37	36,1	33,73
Pe > ETP ó ETP > Pe	Pe > ETP	Pe > ETP	Pe > ETP	Pe > ETP	Pe > ETP	Pe > ETP
PA_i		0	0	0	0	0
A_i	100	100	100	100	100	100
ET_i		39,30	36,95	36,37	36,10	33,73
D_i		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
E_i		10,82	13,07	10,29	10,98	6,84

◦ Caso B $P_{ei} < ETP_i$:

- Cálculo o estimación de la pérdida en el almacenamiento PA_i :

De acuerdo con el esquema de la figura 4 y con $P_{ei} < ETP_i$, PA_i se deberá calcular usando la ecuación de pérdida por almacenamiento (PA_i) explicada en el numeral 3.3.2.2., como se observa a continuación:

$$PA_i = (ETP_i - P_{ei}) * \frac{A_{i-1}}{A_{M\acute{a}x}}$$

$$PA_i = (ETP_{32} - P_{e32}) * \frac{A_{31}}{A_{M\acute{a}x}}$$

$$PA_{32} = (33.55 - 33.55) * \frac{100mm}{100mm}$$

$$PA_{32} = 0.02mm$$

- Cálculo del almacenamiento A_i :

Dado que existe pérdida de agua, el almacenamiento del suelo (A_i) deberá ser el resultado de la diferencia entre el almacenamiento de la década anterior y la pérdida calculada en el paso 3, en el caso A (ecuación N°2 de la tabla 1), como sigue:

$$A_i = A_{i-1} - PA_i$$

$$A_{32} = A_{31} - P A_{32}$$

$$A_{32} = 100 \text{ mm} - 0.02 \text{ mm}$$

$$A_{32} = 99.98 \text{ mm}$$

- Cálculo o estimación de la evapotranspiración real ET_i :

En este caso, la estimación de la evapotranspiración real se calcula mediante la ecuación ET_i explicada en el numeral 3.3.2.2., como se observa a continuación:

$$ET_i = Pe_i + PA_i$$

$$ET_{32} = Pe_{32} + PA_{32}$$

$$ET_{32} = 0.02 \text{ mm} + 33.53 \text{ mm}$$

$$ET_{32} = 33.55 \text{ mm}$$

Los datos obtenidos en el paso 3 para el caso B (PA_i , A_i y ET_i) se deben ingresar en la ficha hídrica según se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Ficha hídrica, diligenciamiento de pérdida, almacenamiento y evapotranspiración real para la década 32

Década	26	27	28	29	30	31	32
Pi	100,1	84,5	83,5	70,6	71,9	55,2	42,0
Pe_i	51,68	50,12	50,01	46,66	47,08	40,57	33,53
ETP_i	39,73	39,30	36,95	36,37	36,10	33,73	33,55
Pe>ETP ó ETP>Pe	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP	ETP>Pe
PA_i		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
A_i	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,98
ET_i		39,30	36,95	36,37	36,10	33,73	33,554
D_i		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Década	26	27	28	29	30	31	32
E_i		10,82	13,07	10,29	10,98	6,84	

- Cálculo o estimación del déficit hídrico D_i:

La determinación del déficit hídrico se realiza mediante lo expuesto en el esquema de la figura 6 y la solución de la ecuación D_i explicada en el numeral 3.3.2.2, sin embargo, a manera ilustrativa se mostrará el cálculo de tres décadas incluida la 32 y sus resultados se ingresarán en la ficha hídrica (Tabla 8):

$$D_{32} = ETP_{32} - ET_{32}$$

$$D_{32} = 33.55 \text{ mm} - 33.55 \text{ mm} = 0$$

$$D_{33} = ETP_{33} - ET_{33}$$

$$D_{33} = 33.696 \text{ mm} - 33.694 \text{ mm} = 0.002 \text{ mm}$$

$$D_{34} = ETP_{34} - ET_{34}$$

$$D_{34} = 32.255 \text{ mm} - 30.812 \text{ mm} = 1.443 \text{ mm}$$

- Cálculo o estimación del exceso hídrico E_i:

Los excesos de humedad cuando Pe_i < ETP_i, se evalúan y calculan según lo expuesto en el esquema de la figura 7 y sus resultados se registran en la ficha hídrica (Tabla 8):

$$A_{i-1} + (Pe_i - ETP_i) > A_{\text{máx}} \quad \text{ò} \quad A_{i-1} + (Pe_i - ETP_i) < A_{\text{máx}}$$

$$A_{31} + (Pe_{32} - ETP_{32})$$

$$100 \text{ mm} + (33.53 \text{ mm} - 33.55 \text{ mm})$$

$$99.98 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

$$E_i = 0$$

$$E_{32} = 0 \text{ mm}$$

Tabla 8. Ficha hídrica, diligenciamiento de déficit y exceso hídrico

Década	26	27	28	29	30	31	32	33	34
P_i	100,1	84,5	83,5	70,6	71,9	55,2	42,0	30,7	14,0
Pe_i	51,68	50,12	50,01	46,66	47,08	40,57	33,53	26,18	13,10
ETP_i	39,73	39,30	36,95	36,37	36,10	33,73	33,55	33,70	32,26
Pe > ETP ó ETP > Pe	Pe > ETP	Pe > ETP	Pe > ETP	Pe > ETP	Pe > ETP	Pe > ETP	ETP > Pe	ETP > Pe	ETP > Pe
PA_i	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	7,512	17,715
A_i	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,98	92,466	74,751

ET_i	39,73	39,30	36,95	36,37	36,10	33,73	33,554	33,694	30,812
D_i	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,002	1,443
E_i	0,00	10,82	13,07	10,29	10,98	6,84	0,00	0,00	0,00

d) Paso 4: Completar ficha hídrica.

Los pasos descritos en el procedimiento anterior se deben repetir, de acuerdo con las diferencias entre Pe_i y ETP_i, al determinar las variables de cada década y completar el diligenciamiento de la ficha hídrica (tabla 9). Cabe aclarar que en este caso la década final será la década 25 con cuyos datos se podrán determinar los datos faltantes en la década 26.

Tabla 9. Ficha hídrica

Década	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	1
P_i	100,1	84,5	83,5	70,6	71,9	55,2	42,0	30,7	14,0	16,4	6,9	7,1
Pe_i	51,68	50,12	50,01	46,66	47,08	40,57	33,53	26,18	13,10	15,14	6,86	6,01
ETP_i	39,73	39,30	36,95	36,37	36,10	33,73	33,554	33,696	32,255	33,37	35,16	35,62
Pe>ETP												
ó	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe
ETP>Pe												
PA_i	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	7,512	17,715	13,63	17,30	12,98
A_i	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,98	92,466	74,751	61,12	43,83	30,85
ET_i	39,73	39,30	36,95	36,37	36,10	33,73	33,554	33,694	30,812	28,77	24,16	18,99
D_i	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,002	1,443	4,60	11,00	16,63
E_i	0,00	10,82	13,07	10,29	10,98	6,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
6,2	3,0	5,7	6,7	11,4	12,4	13,1	23,3	44,3	44,8	67,7	74,6	
2,99	5,51	6,52	10,74	11,70	12,24	20,67	34,89	35,16	45,70	47,90	44,08	
36,20	38,49	38,74	37,86	40,51	40,04	39,60	39,24	38,69	38,55	37,96	38,05	
ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP
10,24	6,80	4,45	2,54	1,97	1,35	0,66	0,12	0,10	0,00	0,00	0,00	
20,61	13,81	9,36	6,82	4,86	3,51	2,84	2,72	2,62	9,78	19,72	25,74	
13,24	12,31	10,97	13,28	13,67	13,59	21,33	35,01	35,25	38,55	37,96	38,05	
22,96	26,18	27,77	24,58	26,85	26,45	18,27	4,23	3,43	0,00	0,00	0,00	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
63,3	85,2	40,8	24,6	17,9	28,5	31,2	39,6	47,5	53,0	64,8	57,0	
50,19	32,79	21,68	16,34	24,59	26,52	32,08	36,67	39,52	44,66	41,40	41,40	
38,01	37,13	37,59	37,23	38,08	38,24	38,63	39,94	39,93	40,04	40,12	40,12	
Pe>ETP	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP
0,00	1,65	5,77	6,37	3,25	2,45	1,21	0,56	0,07	0,00	0,00	0,00	
37,91	36,27	30,50	24,13	20,87	18,43	17,22	16,66	16,59	21,20	22,48	23,76	
38,01	34,43	27,45	22,71	27,85	28,97	33,29	37,23	39,58	40,04	40,12	40,12	
0,00	2,70	10,14	14,52	10,23	9,27	5,35	2,71	0,34	0,00	0,00	0,00	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

e) Paso 5: Representación gráfica de la curva de balance hídrico.

Los datos obtenidos y organizados en la ficha hídrica permiten elaborar la curva de balance de agua (Figura 8), en donde se puede expresar el comportamiento de las variables agroclimáticas, de entrada, almacenamiento y salida de agua en el sistema suelo en función de los periodos de tiempo, en este caso décadas durante un año.

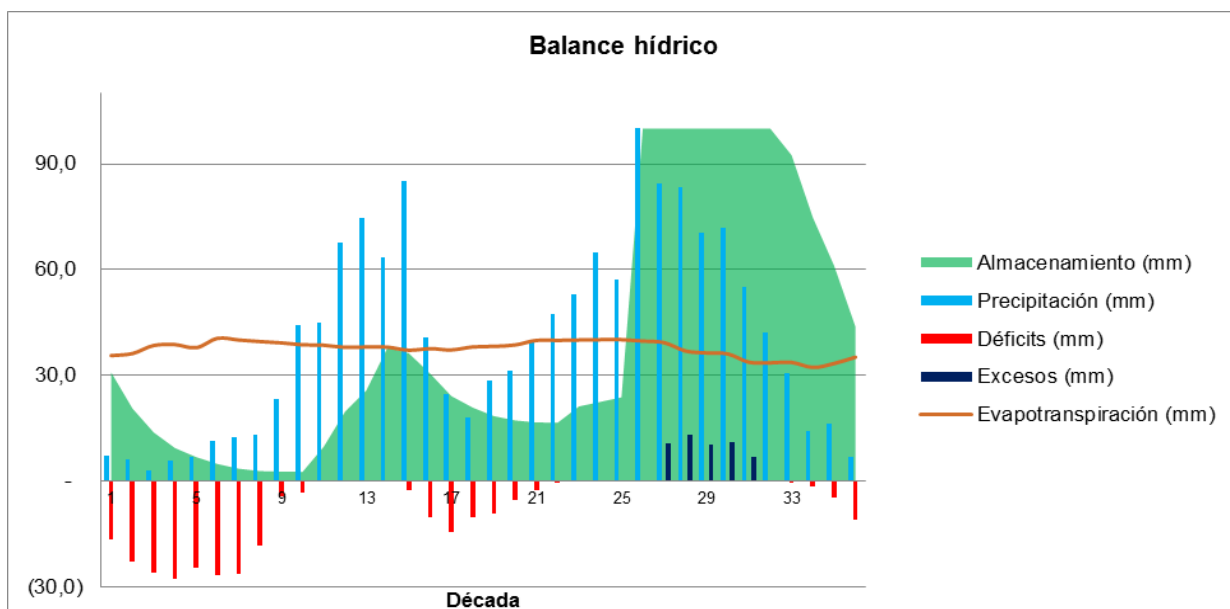


Figura 8. Curva de balance hídrico

f) Paso 6: (Opcional/Recomendación) recálculo de la ficha hídrica – equilibrio del balance de agua. Con el objetivo de involucrar la variabilidad de los parámetros climáticos durante un año, para la estimación del almacenamiento de agua en el periodo inicial de la ficha hídrica y encontrar equilibrio, se propone utilizar el almacenamiento estimado luego de que se calculen todas las variables para un año con un almacenamiento teórico de 100 mm.

Para el caso ilustrativo en la década 26 el almacenamiento inicial se supuso de 100 mm y una vez se realizó el cálculo de la ficha hídrica se encontró que el almacenamiento en la década 25 es de 23.76 mm, valor con el que se deberá estimar el almacenamiento y demás parámetros en la década 26 para reiniciar el cálculo de la ficha hídrica, siguiendo las condiciones y procedimiento antes descritos.

$$A_{26} = A_{i-1} + (P_{e_i} - ETP_i)$$

$$A_{26} = A_{25} + (P_{e_{26}} - ETP_{26})$$

$$A_{26} = 23.76\text{mm} + (51.68\text{mm} - 39.73\text{mm})$$

$$A_{26} = 23.76\text{mm} + 11.95\text{mm} < A_{m\acute{a}x}$$

$$A_{26} = 35.71 \text{ mm}$$

De esta forma, el almacenamiento en el suelo en la década 26 se habrá estimado luego de haber encontrado equilibrio en el balance de agua, y con este se reinicia el cálculo de la ficha hídrica (Tabla 10) y con ello, su diligenciamiento y elaboración de la curva del balance de agua (Figura 9).

Tabla 10. Ficha hídrica recalculada

Década	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	1
Pe_i	51,68	50,12	50,01	46,66	47,08	40,57	33,53	26,18	13,10	15,14	6,86	6,01
ETP_i	39,73	39,30	36,95	36,37	36,10	33,73	33,554	33,696	32,255	33,37	35,16	35,62
Pe>ETP												
ó	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP	Pe>ETP	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe
ETP>Pe												
PA_i	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	6,588	15,536	11,95	15,17	11,38
A_i	35,70	46,52	59,58	69,88	80,86	87,70	87,68	81,093	65,556	53,60	38,44	27,05
ET_i	39,73	39,30	36,95	36,37	36,10	33,73	33,552	32,770	28,633	27,09	22,03	17,39
D_i	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,926	3,622	6,28	13,13	18,23
E_i	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Década	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Pe_i	2,99	5,51	6,52	10,74	11,70	12,24	20,67	34,89	35,16	45,70	47,90	44,08
ETP_i	36,20	38,49	38,74	37,86	40,51	40,04	39,60	39,24	38,69	38,55	37,96	38,05
Pe>ETP												
ó	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	Pe>ETP	Pe>ETP
ETP>Pe												
PA_i	8,98	5,96	3,90	2,23	1,72	1,18	0,58	0,11	0,08	0,00	0,00	0,00
A_i	18,07	12,11	8,21	5,98	4,26	3,07	2,49	2,38	2,30	9,45	19,39	25,42
ET_i	11,98	11,47	10,42	12,96	13,42	13,42	21,25	35,00	35,24	38,55	37,96	38,05
D_i	24,22	27,02	28,32	24,89	27,09	26,62	18,35	4,24	3,44	0,00	0,00	0,00
E_i	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Década	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Pe_i	50,19	32,79	21,68	16,34	24,59	26,52	32,08	36,67	39,52	44,66	41,40	41,40
ETP_i	38,01	37,13	37,59	37,23	38,08	38,24	38,63	39,94	39,93	40,04	40,12	40,12
Pe>ETP												
ó	Pe>ETP	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	ETP>Pe	Pe>ETP	Pe>ETP
ETP>Pe												
PA_i	0,00	1,63	5,72	6,32	3,23	2,42	1,20	0,56	0,07	0,00	0,00	0,00
A_i	37,59	35,96	30,24	23,92	20,69	18,27	17,07	16,51	16,45	21,06	22,34	23,62
ET_i	38,01	34,42	27,40	22,65	27,82	28,95	33,28	37,23	39,58	40,04	40,12	40,12
D_i	0,00	2,71	10,19	14,57	10,26	9,29	5,36	2,71	0,34	0,00	0,00	0,00
E_i	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

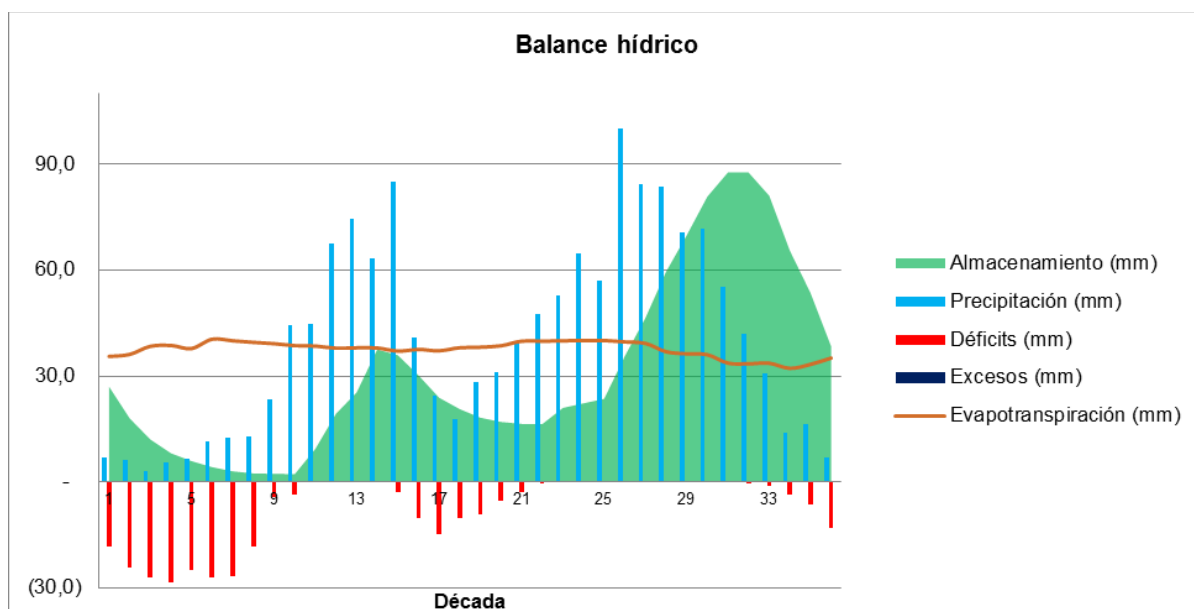


Figura 9. Curva de balance hídrico

3.3.2.3. ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AGUA

El análisis de la curva de retención de agua del suelo es fundamental para entender las necesidades hídricas de los cultivos y no someterlos a situaciones que afecten los rendimientos de producción y por ende los rendimientos económicos; además, es esencial para estimar la capacidad de almacenamiento de agua que tiene un suelo a determinada profundidad y que puede expresarse en términos de lámina de agua.

Para poder garantizar que el suelo contenga esta cantidad de agua o estimar los periodos de tiempo para los que el agua contenida es suficiente o no para un cultivo (o aplicación), deben conocerse para cada horizonte los contenidos de agua a capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), los cuales se obtienen a partir de la curva de retención de agua, así como los valores de densidad aparente para desarrollar la siguiente ecuación que expresa la capacidad de almacenamiento (CA) de agua del suelo.

CA generalmente expresa el contenido de agua que se almacenará en la fracción de tierra fina del suelo, de ahí, que la presencia de fragmentos de roca (FR) en el suelo disminuya su capacidad de almacenamiento, dado lo anterior, se descuenta el porcentaje volumétrico de los mismos en el cálculo de CA, cuando el porcentaje de FR es mayor al 10%.

$$CA = \frac{(CC - PMP) * Da * ProfH_i}{100} * \frac{100 - FR}{100}$$

Donde:

CA: Capacidad de almacenamiento en mm

CC: contenido de humedad del suelo a capacidad de campo (%)

PMP: contenido de humedad del suelo en punto de marchitez permanente (%)

Da: Densidad aparente (g/cm)

ProfH_i: Profundidad (mm)

FR: Fragmentos de roca (%)

- Ejemplo de cálculo de capacidad de almacenamiento de agua CA:

A manera de muestra a continuación se da un ejemplo de cálculo y estimación de la capacidad de almacenamiento de agua CA, para un suelo cuya información existente se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Información edáfica para determinar CA

Perfil	Tax	F_Text	Prof_E	L_Prof_E	P_Lim_Fís	ProfH1	ProfH2	ProfH3
54S0094	Typic Haplustepts	Francagruesa	Mod. Prof	FR>60%	75	40	75	N/A

FR_H1	FR_H2	FR_H3	HA_H1	HA_H2	HA_H3	Da_H1	Da_H2	Da_H3
25	0	0	5,95	11	16,9	1,56	1,54	N/A

Se observa un suelo Typic Haplustepts moderadamente profundo, limitado por abundantes fragmentos de roca a una profundidad de 75 cm y presenta fragmentos de roca en el primer horizonte en un 25%. Se desea determinar CA hasta la profundidad efectiva, para lo cual se siguen los siguientes pasos:

a) Paso 1. Cálculo CA primer horizonte de acuerdo con la ecuación del numeral 3.3.2.3:

$$CA = \frac{(5.95) * 1.56 * 400}{100} * \frac{100 - 25}{100}$$

$$CA_{H1} = 27.85 \text{ mm}$$

b) Paso 2. Cálculo CA segundo horizonte de acuerdo con la ecuación del numeral 3.3.2.3:

$$CA = \frac{(11) * 1.54 * (750 - 400)}{100} * \frac{100 - 0}{100}$$

$$CA_{H2} = 59.29 \text{ mm}$$

Debe tenerse en cuenta el espesor del horizonte, pues es allí donde se estimará CA, para el caso el segundo horizonte está entre 40 y 75 cm de profundidad, de ahí que ProfH2=750-400 expresado en milímetros.

c) Paso 3. Cálculo de CA del suelo

La capacidad de almacenamiento del suelo hasta su profundidad efectiva será la suma de CA de los horizontes que se encuentren en este espesor.

$$CA_{0-75cm} = CA_{H1} + CA_{H2}$$

$$CA_{0-75cm} = 27.85 + 59.29$$

$$CA_{0-75cm} = 87.14 \text{ mm}$$

3.3.3. APLICACIONES DEL BALANCE HÍDRICO

3.3.3.1. DETERMINACIÓN DEL RÉGIMEN DE HUMEDAD DEL SUELO

El régimen de humedad se refiere a la presencia o ausencia de agua retenida por el suelo en su sección control de humedad (USDA, 2014) por periodos del año. Se considera que el horizonte o un suelo está seco cuando la tensión de humedad es de 1500 KPa (menor a PMP) o más y está húmedo si el agua está retenida a una tensión entre 33 KPa y 1500 KPa.

De esta forma y en relación con los resultados de calcular el balance hídrico se considera que el suelo está húmedo mientras el almacenamiento (A_i) sea mayor a cero, es decir, el agua que esté contenida en el suelo esté dentro de su máxima capacidad de almacenamiento.

Se sugiere que, para estimar el régimen de humedad de un suelo, se realice el cálculo de la CA en la sección control de humedad del suelo, la cual se encuentra relacionada con la textura así: entre 10 y 30 cm debajo de la superficie, si la clase de tamaño de partícula es franca-fina, limosa-gruesa, limosa-fina, fina o arcillosa; entre 20 y 60 cm si la clase es franca-gruesa y entre 30 y 90 cm si la clase es arenosa, (USDA, 2014).

El valor de CA calculado en la sección control de humedad corresponde al almacenamiento máximo, dato de entrada que deberá utilizarse en el cálculo del balance hídrico.

Por lo anterior, la determinación del régimen de humedad de los suelos se realiza con base en el resultado del balance hídrico aplicado a la sección control de humedad del suelo y cuantificando los periodos y por ende los días que el suelo permanecerá seco o húmedo de acuerdo con lo estipulado en la clave para la taxonomía de suelos (USDA, 2014) (Tabla 12).

Tabla 12. Características y criterios para la clasificación del régimen de humedad de los suelos

Clase	Características
No identificado	
Acuico	El suelo está saturado con agua por lo menos unos pocos días, en un ambiente virtualmente libre de oxígeno disuelto porque está saturado por agua o por el agua del borde capilar.
Perácuico	El suelo está saturado con agua la mayor parte del año.
Perúdicico	La precipitación excede la evapotranspiración todos los meses en la mayoría de los años. El nivel freático siempre está muy cerca o en la superficie..
Udico	Suelo no seco en ninguna parte de la sección control por más de 90 días acumulativos por año.
Ustico	Suelo húmedo en un período de tiempo tal que las condiciones son propicias para el crecimiento de las plantas. La sección de control está seca por más de 90 o más días acumulativos por año. Pero la sección control de humedad es húmeda en alguna parte durante más de 180 días acumulativos por año o durante 90 o más días consecutivos.
Aridico	a. Seco en todas sus partes para más de la mitad de los días acumulativos por año, cuando la temperatura del suelo a una profundidad de 50 cm es mayor de 5 °C, y.
	b. La humedad en alguna o en todas sus partes no ocurre en períodos tan largos como 90 días consecutivos cuando la temperatura del suelo a una profundidad de 50 cm es mayor de 8 °C.
Tórrido	Los mismos términos que para el Aridico. Se presenta únicamente en regiones templadas donde los suelos aparecen cálidos y secos en la estación de verano.
Xérico	Típico de climas mediterráneos con inviernos fríos y húmedos y veranos cálidos y secos.

3.3.3.2. CAPACIDAD DE USO

Con fines de calificar la disponibilidad de agua en el suelo como suficiente o insuficiente, se estima la capacidad del almacenamiento de agua hasta la profundidad efectiva.

De esta forma, los cálculos del almacenamiento (A_i) por periodo resultante del balance hídrico, se clasifican como suficientes cuando el agua supera el 50% de la capacidad de almacenamiento máxima (CA) (capacidad estimada por las propiedades físicas del suelo) y esta condición permanece también por al menos 90 días consecutivos; por el contrario, son aguas insuficientes cuando no cumple con las condiciones expuestas.

Es de anotar, que resultados derivados del balance también son los excesos (E_i) y déficits (D_i), los cuales se cuentan para saber si se presentan más de 90 días seguidos.

Dado lo anterior, esta descripción se utiliza como un parámetro que se define de manera semestral e influye en la capacidad de uso de los suelos.

3.3.3.3. DISPONIBILIDAD DE AGUA EN APTITUD DE USO

Para caracterizar la disponibilidad de agua en el suelo para un tipo de utilización (TUT), la CA se define según los requerimientos teóricos del TUT (profundidad radicular).

Así, los resultados del balance hídrico en términos de almacenamiento (A_i) se estiman como el agua disponible en la zona de estudio y se compara con el volumen de agua necesario para cada TUT, según sus etapas fenológicas.

Las diferencias encontradas entre la oferta natural y la demanda por el tipo de uso se expresan en términos de porcentaje, siendo el porcentaje un índice que se clasifica de manera cualitativa y mide la capacidad de un lugar específico de producir los rendimientos alcanzables de un cultivo.

3.4. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (Vol. N° 56). Roma: Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO.
- Botey F. R. & Moreno G. J. (2015). Metodología para estimar la humedad del suelo mediante un balance hídrico exponencial diario. España.
- Brouwer, C. & Heibloem, M. (1986). Irrigation water management: irrigation water needs. Training manual, 3. Roma: FAO.
- Claro, R. F. (2006). Índice de disponibilidad Hídrica (IDH). Bogotá, Colombia HIMAT.
- Echeverría, C., Huber, & Taberlet, F. (2007). Estudio comparativo de los componentes del balance hídrico en un bosque nativo y una pradera en el sur de Chile (Vol. 3). Bosque 28.
- FAO. (1998). Evapotranspiración del cultivo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma
- FAO. (2010). Food and Agriculture Organization of the United Nations. CROPWAT 8 . Land and Water Development Division of FAO. Roma, Italia.
- Hargreaves, G.H. & Samani, Z.A., (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Eng. in Agric., 1(2): 96-99.
- IDEAM. (2005). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Atlas climatológico de Colombia. Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.
- IGAC. (2018). Instituto Geografico Agustin Codazzi. Metodología Zonificación climática aplicada al levantamiento de suelos s.p. GIT Levantamiento de Suelos y Aplicaciones Agrológicas, Subdirección de Agrología. Bogotá, Colombia.
- Leiva G. N. (2012). Metodología para el cálculo de la humedad del suelo usando parámetros topográficos (MDE), climáticos y edáficos en un sector del piedemonte depositacional del municipio de Villavicencio. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía, Escuela de Posgrados.
- Monteith, J.L. & Unsworth, M.H. (1990). Principles of Environmental Physics, 2nd ed., Edward Arnold, Londres.
- Saseendran, S., Ahuja, L., Ma, L., Trout, T., McMaster, G., Nielsen, D., & Fang, Q. (2015). Developing and normalizing average corn crop water production functions across years and locations using a system model (Doi: 10.1016/j.agwat.2014.09.002 ed.). Agric. Water Manage.
- Smith, M. (1993). Cropwat: programa de ordenador para planificar y manejar el riego. Roma: FAO. 1993. 133 p.: cdrs.
- Thornthwaite, C., & Mather, J. (1955). Publications in climatology. The Water Balance (Vol. 8). Centerton, New Jersey, USA: Laboratory of Climatology.
- Turc, L. (1961). Evaluation des besoins en eau dirigation, evapotranspiration potielle (Vol. 12). Ann. Agron.
- USDA. (2014). Claves para la taxonomía de suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de Recursos Naturales.

4. CONTROL DE CAMBIOS

FECHA	CAMBIO	VERSIÓN
11/05/2021	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Se adopta como versión 1 debido a cambios en la Plataforma Estratégica (actualización del mapa de procesos), nuevos lineamientos frente a la generación, actualización y derogación de documentos del SGI tales como: cambios de tipos documentales y nueva codificación por procesos. Emisión Inicial Oficial. ◦ Se actualiza el instructivo "Balance Hídrico y sus Aplicaciones", código I40600-26/19.V1, versión 1, a código IN-GAG-PC05-01, versión 1. ◦ Se deroga totalmente la circular 096 del 13 de septiembre del 2019. 	1

FECHA	CAMBIO	VERSIÓN
	<ul style="list-style-type: none"> ° Se asocia al procedimiento "Levantamiento de Suelos a diferentes escalas", código PC-GAG-05, versión 1. ° Se eliminó la tabla de contenido del instructivo. ° Se ajustaron todos los capítulos de acuerdo con los nuevos lineamientos dados para la actualización de documentos y teniendo en cuenta la plantilla diseñada para el desarrollo de instructivos. 	
13/09/2019	<ul style="list-style-type: none"> ° Se crea el documento que define los aspectos conceptuales y metodológicos para la determinación de Balance Hídrico Superficial, a través del tratamiento de los datos edafoclimáticos y la estimación de la variabilidad del almacenamiento del agua en el suelo; cálculo de interés en la evaluación de la disponibilidad de agua en el suelo y para los cultivos, estudios de conservación del recurso agrológico, establecimiento del régimen de humedad edáfico y criterios de diferenciación climática, en las diferentes aplicaciones del GIT de Gestión de Suelos y Aplicaciones Agrológicas. 	1

Elaboró y/o Actualizó	Revisó Técnicamente	Revisó Metodológicamente	Aprobó
<p>Nombre: Claudia Porras Vanegas Cargo: Contratista Subdirección de Agrología.</p> <p>Nombre: Johanna Cordero Casallas Cargo: Contratista Subdirección de Agrología.</p> <p>Nombre: María Paula Rojas Rueda Cargo: Contratista Subdirección de Agrología.</p>	<p>Nombre: Janeth González Nivia Cargo: Coordinadora del GIT Gestión de Suelos y Aplicaciones Agrológicas</p> <p>Nombre: Diego Cortés Delgadillo Cargo: Contratista Subdirección de Agrología.</p>	<p>Nombre: Marcela Yolanda Puentes Castrillón Cargo: Profesional Especializado Oficina Asesora de Planeación.</p>	<p>Nombre: Napoleón Ordoñez Delgado Cargo: Subdirector de Agrología</p>