

Enero de 2021

INDICE DE DISPONIBILIDAD HIDRICA PARA COLOMBIA

Autores:

Nota Técnica Original (2006): Francisco Claro - Gonzalo Hurtado

Actualización:

Grupo de Climatología y Agrometeorología (2022)

INTRODUCCION

El seguimiento de las condiciones de humedad en el suelo es de gran utilidad para obtener un indicador del agua disponible para satisfacer la demanda de la vegetación. La ocurrencia de fenómenos de variabilidad climática hace que el comportamiento de la precipitación presente escenarios extremos en los que el déficit o el exceso de agua en el suelo puede ser un factor limitante para el normal desarrollo de los cultivos. Los periodos prolongados de exceso o déficit hídrico podrían tener consecuencias negativas en su rendimiento, por lo cual es importante hacer el seguimiento de las condiciones meteorológicas, que brinden un indicador de la disponibilidad de agua en el suelo, de manera oportuna y útil.

Este documento presenta la metodología de cálculo del balance hídrico y un indicador derivado denominado “Índice de Disponibilidad Hídrica”, que funciona para el seguimiento operativo del agua en el suelo, mediante la relación sencilla entre la precipitación como oferta hídrica y la evapotranspiración como una cuantificación de la demanda de la vegetación. Es una metodología sencilla que aplica como indicador, ya que permite estandarizar los parámetros y brinda una buena aproximación de condiciones aptas o limitantes para el desarrollo de la vegetación. Resultados que deben ser complementados con análisis específicos que tomen en cuenta características de cada región en términos de textura y estructura del suelo, pendiente y clima.

Se muestra una actualización de la metodología implementada inicialmente en el año 2006, incorporando la automatización del proceso que se hace de manera espacial mediante álgebra de mapas y la superposición de coberturas de almacenamiento en el suelo (escala gruesa), evapotranspiración de referencia (climatología) y los datos de seguimiento de la lluvia diaria de la fuente de datos global CHIRPS, ajustada con información de la lluvia diaria recolectada por la Oficina del Servicio de Pronósticos y Alertas del Ideam.

EL BALANCE HIDRICO DE SEGUIMIENTO

La pérdida de agua del sistema suelo-planta, a través de los procesos de evaporación en el suelo y transpiración en las plantas se conoce como evapotranspiración. Se denomina entonces al balance hídrico del suelo, a la diferencia entre las pérdidas por ET, escorrentía y percolación, y el ingreso de humedad por precipitación y riego. Un análisis sobre el balance hídrico podría también determinar las necesidades hídricas de un cultivo que no son cubiertas por la precipitación.

En términos generales, los parámetros que intervienen en el balance hídrico son:

Precipitación (P)

Este parámetro meteorológico se refiere a las partículas de agua, bien sea en fase sólida o líquida, que se forman en la atmósfera y caen sobre la superficie de La Tierra. Su valor se mide de forma lineal (en milímetros generalmente) a través de pluviómetros. Su registro por lo general se hace diariamente y con esta información, se pueden determinar valores en nivel mensual, decadal o anual, según se requiera.

Evaporación (E)

Es el proceso natural mediante el cual el agua depositada sobre la superficie terrestre (en cualquiera de sus tres fases) se convierte en vapor y se transfiere a la atmósfera. Es por lo tanto, el proceso inverso de la precipitación dentro del ciclo del agua. En términos generales, ambos procesos deben equilibrarse. Esto se da mediante lo que se conoce como balance hídrico.

Transpiración (T)

Este proceso, paralelo al de evaporación, es otra forma en que regresa el vapor de agua a la atmósfera. Consiste básicamente en la pérdida de humedad a través del tejido vegetal de las plantas. Esta pérdida se da a través de los estomas; estructuras celulares que controlan el contenido de agua en las plantas y que se regulan dependiendo de diversos factores, tanto ambientales como fisiológicos. Los estomas suelen estar abiertos durante el día, para regular la temperatura interna de la planta, ya que ambientalmente, es el momento del día con mayores tasas de temperatura ambiente.

Evapotranspiración (ET)

Dada su importancia, el estudio de la evaporación y la transpiración es absolutamente necesario. Sin embargo, es común (y necesario) tratarlos como un solo proceso llamado evapotranspiración. Esto, teniendo en cuenta la complejidad de tomar lecturas de la transpiración.

La medición de ET en campo es especialmente difícil, ya que normalmente requiere equipos complejos que midan la evaporación del suelo como lisímetros. Las lecturas de un tanque evaporímetro, por otra parte, pueden dar una buena idea de cómo es el comportamiento de esta variable, sin embargo, pueden presentarse diferencias importantes en la pérdida de agua en la superficie de agua del tanque y una superficie cultivada.

Por lo anterior, un método más práctico para representar la ET es el de Penman-Monteith, acogido por la FAO, que no es otra cosa que la representación de la ET por medio de ecuaciones.

Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)

Este concepto permite estudiar de forma estándar la evapotranspiración de la atmósfera, sin tener en cuenta los distintos cultivos que existen y su estado de desarrollo. Para tal fin, se toma como referencia un cultivo hipotético de pasto, con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial de 70 s m^{-1} y un albedo de 0,23. Esta simulación corresponde con una superficie extensa de pasto verde, bien regado, de altura uniforme, creciendo activamente y dando sombra totalmente al suelo. La resistencia superficial fija de 70 s m^{-1} implica un suelo moderadamente seco que recibe riego con una frecuencia semanal aproximadamente (FAO. 2005). Debido a que hay una adecuada disponibilidad de agua en

la superficie de evapotranspiración de referencia, los factores del suelo no tienen ningún efecto sobre la ET. En la literatura la ETo es representada también como Evapotranspiración Potencial (ETP), aunque el uso de este último concepto no se recomienda.

De las diversas formas de estimar la ETo, el método Penman-Monteith es el más recomendado, debido a su robustez. Además, según diversos estudios, tiene una mejor relación con la Evapotranspiración cuando esta se logra cuantificar. Este método requiere únicamente datos meteorológicos (radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento), lo que lo convierte en un parámetro netamente climático.

Con base a lo anterior, el requerimiento hídrico se define como la cantidad de agua que debe ser suministrada en forma de riego o precipitación para suplir las necesidades de un cultivo, mientras que la necesidad de riego se define como la diferencia de la necesidad de agua y la precipitación efectiva.

Ecuación general del balance hídrico

En términos generales, la ecuación del balance hídrico tiene en cuenta los ingresos de humedad en el suelo, así como los factores que intervienen en su consumo como se muestra a continuación (FAO. 2005):

$$ET = R + P - ES - D + C \pm \Delta FS \pm \Delta SW$$

En donde:

ET: Evapotranspiración

R: Riego

P: Precipitación

ES = Escorrentía superficial

D: Percolación profunda

C: Capilaridad

ΔFS : Flujo subsuperficial hacia dentro y fuera de la zona radicular

ΔSW : Cambio en el contenido de agua en el suelo

CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO DE PALMER

En el Ideam se utiliza la metodología de Palmer (Palmer, 1965) para hacer el balance hídrico en la escala nacional, que no es más que la ecuación general, con algunos ajustes adicionales

Balance hídrico de Palmer

El balance hídrico planteado por Palmer considera dos capas del suelo: una superficial (a 20 mm) y una profunda. Lo anterior teniendo en cuenta que mientras el recurso hídrico presente en la capa más superficial se encuentra totalmente disponible, en capas más profundas del suelo la pérdida de agua es más lenta y, por lo tanto, disponible en menor proporción. Asumiendo que el balance hídrico es en esencia la diferencia entre la oferta hídrica y su demanda en el suelo, podemos expresar los componentes del balance hídrico como:

La **oferta hídrica**, que se compone de la cantidad de agua que ingresa al sistema por precipitación, junto con el almacenamiento de humedad presente en el suelo:

$$Oferta = PREC + ALMS + ALMP$$

Siendo ALMS el almacenamiento de humedad en una capa superficial y ALMP el almacenamiento en una capa profunda.

A su vez, la **demanda hídrica** de humedad en el suelo se puede resumir como la evapotranspiración de referencia:

$$Demanda = ETo$$

Por otra parte, podemos considerar que el contenido de humedad en la capa profunda del suelo, es el total de la fracción volumétrica menos el valor de la capa superficial:

$$P = FVAA - 20$$

Siendo FVAA la fracción volumétrica del suelo.

En ese sentido, es posible expresar la demanda a satisfacer en la capa profunda (adp) como

$$adp = \frac{ALMP}{FVAA} * (ETo - PREC - ALMS)$$

Variación de la reserva de agua en el suelo (VR)

La diferencia entre las entradas y salidas de agua en el suelo permite determinar un periodo como seco ($P - ETo < 0$) o húmedo ($P - ETo > 0$) (dependiendo de si la diferencia es negativa o positiva). Cuando se presentan más entradas que salidas ($P > ETo$), el agua excedente se acumula en el suelo, aumentando su reserva de humedad. Por el contrario, cuando las salidas del sistema son mayores que los ingresos ($P < ETo$), las reservas de humedad del suelo tenderán a reducirse.

Sin embargo, los suelos tienen un nivel máximo de retención de agua, y el agua que lo exceda, generalmente se pierde en forma de escorrentía o de infiltración profunda. Dicho nivel máximo se conoce como reserva máxima (R_{max}).

Capacidad de almacenamiento de agua del suelo (R_{max}).

Se refiere a la cantidad de agua por unidad de superficie (en milímetros) que el suelo es capaz de almacenar en su perfil. Por consiguiente, se refiere a la cantidad de agua aprovechable por las plantas que puede almacenar el suelo. Depende principalmente de factores físicos del suelo, tales como su textura, su estructura y su profundidad. Dependiendo de las características de los sistemas de riego, se requerirá el nivel de detalle de las características físicas.

Sin embargo, es común usar la condición media de la fracción volumétrica de agua aprovechable (FVAA). Dicha condición media se obtiene a partir de las características físicas medias del suelo, de la siguiente forma.

$$FVAA = PS * fvaa$$

En donde:

FVAA: Fracción volumétrica de agua aprovechable en el perfil (mm)

PS: Profundidad efectiva del suelo (cm.)

fvaa: Fracción volumétrica de agua aprovechable unitaria (mm cm⁻¹)

Cuando se maneja esta variable en amplias zonas donde se dificulta determinar aspectos físicos propios del suelo, conviene establecer un valor fijo que sea representativo para toda la región.

Información de entrada y fuentes

Para la obtención del balance hídrico de seguimiento, se sigue la metodología descrita por el balance hídrico climático de Palmer (Hurtado, 2019), pero en vez de ingresar los datos promedio de la lluvia, se utiliza el seguimiento diario de la precipitación suministrado por la (Oficina del Servicio de Pronósticos y Alertas del Ideam-preliminar), ajustada con datos de CHIRPS:

- PREC: Datos de precipitación. Se obtienen del seguimiento diario de las estaciones de la red de estaciones del Ideam, junto con la base de datos suministrada por el programa CHIRPS (información preliminar de seguimiento).
- ETP: Evapotranspiración de referencia (ET_o)-climatología
- FVAA: Fracción volumétrica del suelo.
- ALMSI: Almacenamiento superficial
- ALMPI: Almacenamiento profundo

La capa de información correspondiente a la precipitación, se elabora partiendo de la base de datos del Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS, por sus siglas en inglés), que es una base de datos desarrollada por el programa Famine Early Warning Systems Network (FEWS) (Funk et al. 2015) y consiste en un conjunto de datos de precipitación derivados de información satelital y estaciones meteorológicas terrestres. CHIRPS trabaja con una serie climatológica de datos de precipitación observada como base, sobre la cual se combina información satelital (observaciones satelitales de nubosidad por medio de un canal infrarrojo) con datos de seguimiento de las lluvias (actuales).

Posteriormente se incorporan los datos de las estaciones de seguimiento cuasi-real, lo que permite obtener mapas de los acumulados de precipitación decadiaria y de sus anomalías (de manera preliminar); para mayor detalle consultar (<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/mapas-de-seguimiento-de-la-lluvia-decadal-chirps-ire/ideam>). Esto se logra con la combinación de dos conjuntos de datos: un primer conjunto de valores puntuales, discretos en el espacio (es decir, datos de pluviómetros) y un segundo conjunto de datos de cuadrícula, con valores de precipitación estimada que varían continuamente en el espacio. El algoritmo interpola ambos conjuntos de datos y reemplaza los valores en la cuadrícula con los datos de estaciones terrestres en la misma ubicación geográfica.

En cuanto a la evapotranspiración de referencia, se ingresa una cobertura con el cálculo promedio decadiario, obtenido por el método Penman-Monteith; adicionalmente se incorporan otras coberturas relacionadas con el almacenamiento de agua en el suelo o

(humedad antecedente) para la capa superficial ((ALMSi) y para la capa profunda (FVAA); estas aproximaciones se hicieron a partir de mapas de suelos y su correspondiente capacidad de almacenamiento a una escala gruesa.

Con la información completa, la herramienta automatizada desarrollada por el Ideam, realiza el cálculo del balance, obteniendo como variable derivada el mapa del Índice de disponibilidad de agua en el suelo o IDH como indicador de seguimiento.

A continuación, se aprecia un esquema del cálculo del balance hídrico de Palmer.

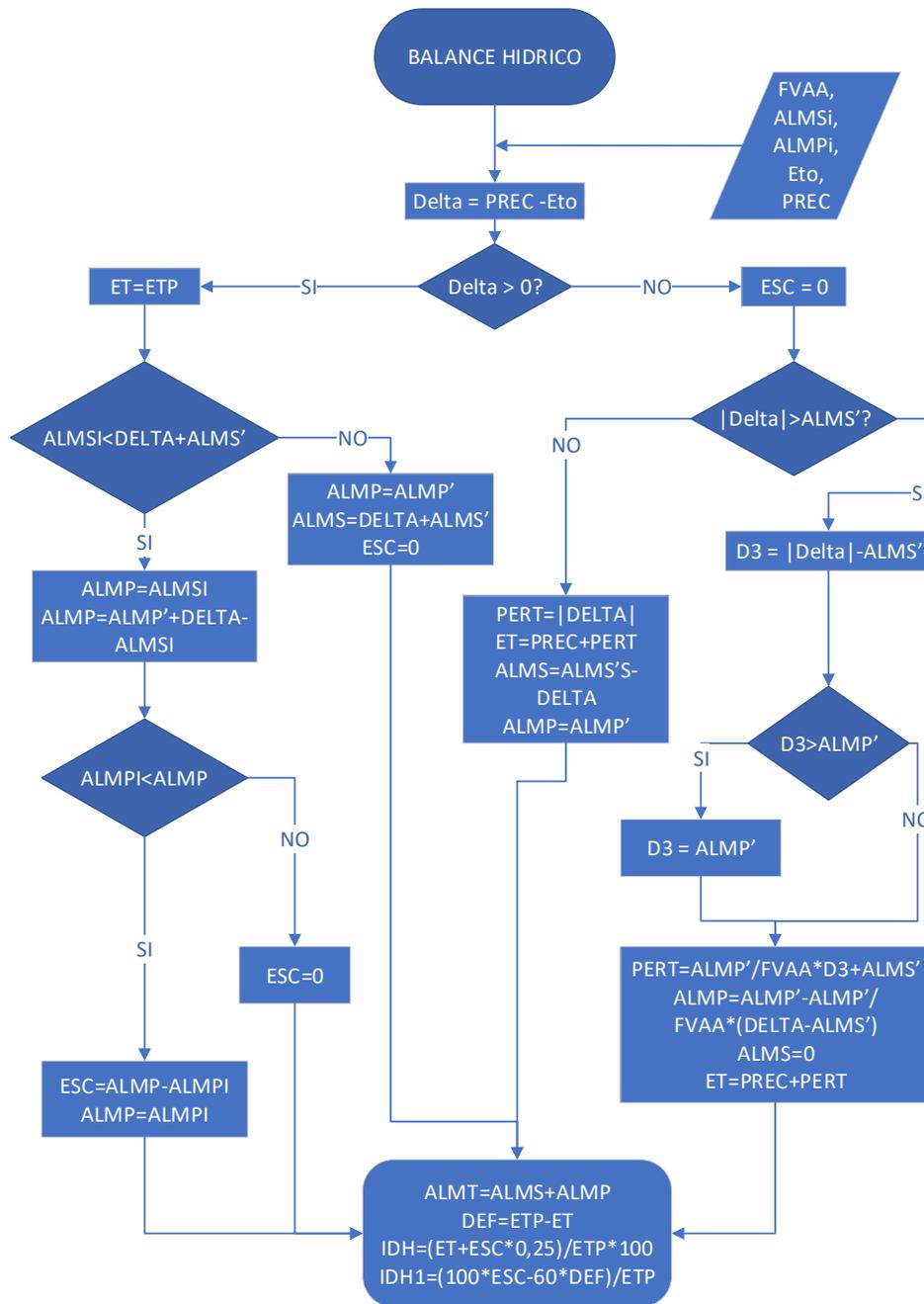


Figura 1: Modelo Conceptual del balance hídrico de Palmer

INDICE DE DISPONIBILIDAD HIDRICA

El IDH es un indicador de seguimiento de las condiciones de humedad en el suelo en la escala nacional y permite detectar la tendencia del comportamiento de las lluvias y la identificación de zonas susceptibles a inundación o sequía, importantes en la implementación de medidas de prevención y planificación de diferentes actividades, particularmente en el sector agrícola. Se obtiene como variable derivada del cálculo del balance hídrico climático de Palmer, junto con valores de déficit o exceso hídrico (Ideam, 2006).

En esta oportunidad se actualiza la metodología, ingresando las variables de entrada, en forma de cobertura espacial y a través de un algoritmo se obtiene como resultado un mapa con el indicador de disponibilidad de agua en el suelo o IDH.

Ecuación para el cálculo del IDH

El Índice de Disponibilidad Hídrica (IDH) se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$IDH = \left[\frac{ET + (0.25 * Ex)}{ETo} \right] * 100$$

En donde:

IDH: Índice de disponibilidad Hídrica
ET: Evapotranspiración real
ETo: Evapotranspiración de referencia.
Ex: Excesos de agua

Dicho cálculo se realiza por medio de algebra de mapas, empleando coberturas de evapotranspiración, almacenamiento hídrico en el suelo o excesos de un periodo precedente y la precipitación (en una escala gruesa y como indicadores).

Por lo tanto, el IDH guarda relación con la precipitación ocurrida durante el periodo de interés, sin embargo, varía dependiendo de la reserva de humedad almacenada durante el periodo antecedente.

Determinación del déficit hídrico.

La relación entre la Evapotranspiración (ET) y la Evapotranspiración de referencia (ETo) funciona como indicador del déficit hídrico, en la medida en que la ET varía desde cero hasta igualar el valor de ETo, es decir, que esta relación presenta valores de 0 a 1. La relación ET/ETo representa también la satisfacción hídrica de la vegetación en función de su demanda potencial, para lo cual se parte del criterio de que valores superiores a 0.6 no son limitantes para el crecimiento y desarrollo vegetal. Empleando este rango se clasificará el déficit hídrico. Desde el punto de vista operativo resulta muy práctico aplicar esta estandarización, obteniendo un indicador como punto de partida, sobre el cual deben hacerse análisis específicos si se quiere mayor detalle, entendiendo que cada lugar tiene características propias en términos de la textura y estructura del suelo, la pendiente y el clima.

Determinación del exceso hídrico

Esta parte del índice categoriza los excesos en la misma proporción en que se determina el déficit, con ello se incorpora dentro de la categorización un rango que identifique del mismo modo los excesos.

Categorías y rangos del IDH

El IDH se categoriza de la siguiente forma:

Tabla 1: Categorización del IDH.

Categoría	Rango
Muy seco	0 a 30
Seco	31 a 60
Semiseco	61 a 90
Adecuado	91 a 110
Semihúmedo	111 a 140
Húmedo	141 a 170
Muy húmedo	171 o superior

El déficit hídrico se distribuye en tres categorías: Muy Seco, Seco y Semiseco; al igual que los excesos de humedad muestran condiciones que van de Semihúmedo, Húmedo hasta Muy húmedo. Cuando las condiciones de humedad se encuentran dentro de un rango normal, se considera una categoría intermedia denominada adecuada.

Muy Seco: Cuando solo alcanza a cubrirse hasta un 30% de la demanda, lo cual resultaría limitante. Cuando esta condición de humedad persiste a lo largo de un año, se puede considerar el tipo de clima como árido para esta zona.

Seco: Cuando los aportes de humedad se presentan entre el 30% y el 60%, lo cual podría causar pérdidas y afectaciones considerables sobre el desarrollo de la vegetación.

Semiseco: Cuando se registran aportes de humedad superiores al 60% de la demanda hídrica, lo que no se constituye como un factor limitante para el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

Adecuado: Se considera esta categoría con un déficit hídrico que no supera el 10% de la demanda potencial, ni un exceso superior al mínimo valor del 10%.

Semihúmedo: Esta categoría considera valores que no son limitantes para el desarrollo y crecimiento vegetal, es decir, de 40 a 70 mm decadales de excedo hídrico. Estos valores se consideran los más altos en zonas con mayor demanda hídrica. En ese sentido, se considera esta categoría cuando son excesos diarios de 4 a 7 mm.

Húmedo: Se considera cuando se presentan excesos de entre 7 y 13 mm diarios. Ya que se excedentes de entre 70 y 130 mm decadales comienzan a ser limitantes para el crecimiento y desarrollo vegetal.

Muy Húmedo: Se considera esta categoría cuando se presentan excedentes mayores a 13 mm, lo cual se considera limitante para los cultivos.

A continuación se aprecia el esquema operativo para la elaboración del IDH.

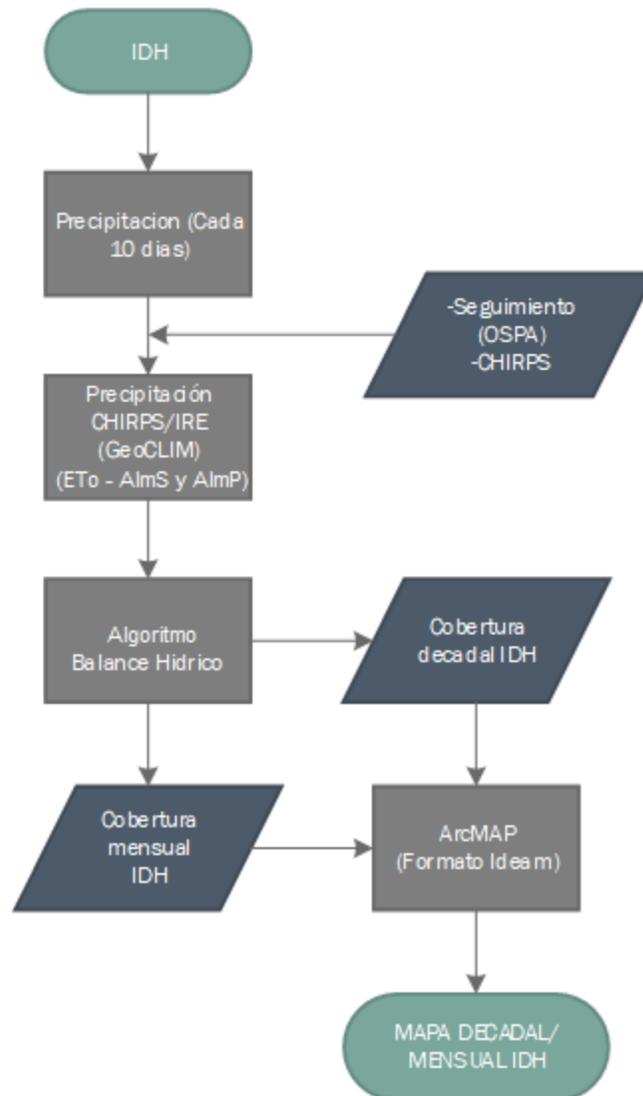


Figura 2: Procedimiento para el cálculo del IDH

El IDH se elabora en la escala decadiaria (periodos de 10 días) y mensual. Para esto, se toman valores de precipitación cuasi-real o de seguimiento, es decir, información de reporte diario extraída de la red hidrometeorológica del Ideam. Esta información es de carácter preliminar y algunos valores podrían cambiar, en la medida que los datos sean verificados.

Para el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina se emplea el cálculo con los valores de precipitación registrados en dos de las estaciones meteorológicas ubicadas en cada isla. Para el cálculo del IDH en la escala mensual, se realiza el mismo procedimiento pero con la suma de los acumulados decadiarios. Se parte de las coberturas

de evapotranspiración, almacenamiento y Fracción volumétrica calculados para cada una de las décadas que conforman el mes.

LITERATURA CITADA

IDEAM. 2006. Índice de Disponibilidad Hídrica (IDH); Metodología de cálculo y aplicación en Colombia. Nota Técnica 001-2006. En: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ideam, http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/020086/IDH_metodologia.pdf Consultado el 1 de agosto de 2021.

IDEAM. 2018. Climatología de los componentes del balance hídrico en Colombia. Nota Técnica 002-2019. En: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ideam, <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21147/Nota+Tecnica+Balance+H%C3%ADrico+en+Colombia/3938e295-653f-4e05-9169-40103e7e6ac3> Consultado el 1 de agosto de 2021.

Palmer, Wayne. (febrero1965). «Meteorological Drought». Research paper no.45, U.S. U.S.: Department of Commerce Weather Bureau.