

Conceptos Básicos para la realización del balance hídrico en el cultivo de la Palma de Aceite

Este material es el resultado de los cursos y talleres sobre Manejo Integrado del Agua para riego comprendido dentro del Convenio de Cooperación N° 00152 entre Cenipalma - Fedepalma - SENA y SAC.



Guía Técnica



Conceptos Básicos para la realización del balance hídrico en el cultivo de la Palma de Aceite



Guía Técnica

Conceptos básicos para la realización del balance hídrico en el cultivo de la Palma de Aceite

© Publicación del Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma)
Cofinanciado por el Convenio SENA - SAC - Fedepalma N° 000152 y el Fondo de Fomento Palmero

Autores

Oscar Mauricio Álvarez Soto – Investigador Auxiliar, Cenipalma.
José Humberto Silva Chavarro – Investigador Auxiliar, Cenipalma.
Edna Margarita Garzón – Investigadora Asistente, Cenipalma.

Coordinación Editorial - Diagramación

Angélica Peña Rocha –Transferencia de Tecnología, Cenipalma.

Impresión

Kronos Impresores

Cenipalma

Calle 21 N° 42C – 47
PBX: 2088660 Fax: 3681152
Email: bogota@cenipalma.org
www.cenipalma.org

Octubre 2006
Bogotá D.C.

ISBN: 978-958-96153-7-9

Contenido

Presentación	5
Introducción	7
Generalidades.....	8
I. El suelo y su capacidad de almacenar agua	8
II. La relación planta – agua.....	14
1. El balance hídrico	18
2. Ecuación del balance hídrico	18
3. Elementos de entrada para el balance hídrico.....	20
4. Balance hídrico climático	32
5. Balance hídrico agrícola	34
6. Balance hídrico diario.....	40
Glosario.....	45
Bibliografía	46

Presentación

Este boletín es uno de los productos realizados por Cenipalma gracias a la colaboración de Fedepalma quien durante el año 2006 ha financiado el proyecto “Transferencia de tecnología en Manejo Integrado del Agua” y al convenio 00152 con el Sena y la Sac, con cuyos recursos, en complemento con los del Fondo de Fomento Palmero, se han adelantado diversos cursos en las cuatro zonas palmeras colombianas, en los cuales, el balance hídrico ha sido un tema de gran relevancia. De esta manera, el boletín es el resultado de una compilación de las presentaciones realizadas en dichos cursos y de la experiencia adquirida por Cenipalma a través de su proyecto Manejo Integrado del Agua desde su creación.

Es sabido que uno de los principales problemas asociados a las bajas productividades en el cultivo de la palma de aceite en Colombia, están relacionados con niveles inadecuados de humedad en el suelo (exceso o déficit) por periodos prolongados. Igualmente, desde lo técnico, es posible llevar a cabo cualquier proyecto productivo que, relacionado con los factores ambiental, presente deficiencia o exceso en las condiciones de oferta, principalmente de precipitación. Sin embargo, la necesidad cada vez más latente de un sector palmicultor competitivo, es la necesidad de estrategias de selección de nuevas tierras, que además de contemplar factores como precio, distancia a vías principales, cercanía a plantas extractoras, etc., involucren los posibles requerimientos en términos de infraestructura necesarios para compensar tales falencias ó déficit. Este tipo de análisis brinda la posibilidad de conocer de manera oportuna la viabilidad económica de estos proyectos, pues permite tener deducciones generales en cuanto a inversión y productividad.

Con este material se busca que los palmicultores cuenten con un documento de consulta que sirva de guía para la realización de manera sencilla del balance hídrico en áreas potenciales para el cultivo de la palma de aceite. Igualmente de forma práctica, el lector podrá determinar los posibles requerimientos de caudal de fuentes de agua destinadas a reponer déficit hídrico en dichas áreas, así mismo, de las capacidades de obras de almacenamiento de agua y de evacuación de excesos. Igualmente, se pretende que los técnicos de las plantaciones cuenten con una herramienta que les permita llevar la contabilidad del agua en el suelo disponible para el cultivo, y así puedan hacer una programación racional de la aplicación del riego.

De esta manera, Cenipalma espera- que a mediano plazo se genere un impacto positivo en la selección de tierras aptas para la siembra de palma de aceite y un mejor uso del agua en las plantaciones establecidas, lo cual muy seguramente implicará mayor competitividad del sector.

PEDRO LEÓN GÓMEZ CUERVO
Director Ejecutivo - Cenipalma

Introducción

Para la palma de aceite, la falta de agua es considerada como una de las principales limitantes en la producción. Los efectos de una sequía se presentan hasta dos años después de haberse dado un periodo de estrés hídrico. En dichos periodos, los estomas se cierran para reducir la transpiración, impidiendo la absorción de CO₂ y con ello afectar la fotosíntesis.

La sequía estimula la formación de flores masculinas e inhibe la formación de femeninas; promueve la formación de frutos pequeños y livianos que se caen uno o dos meses antes de su desprendimiento normal. Además, reduce el contenido de aceite en el mesocarpio de los racimos madurados en forma normal y en otros casos impide la completa maduración del racimo (Ochs y Liacopolus, 1983 y Udaya, 1997, citados por Mejía, 2000).

En Colombia, la palma de aceite se cultiva en cuatro zonas geográficas, cada una de ellas caracterizada por condiciones edafoclimáticas y regímenes pluviométricos particulares: Zona Norte, Central, Oriental y Occidental. A diferencia de la Zona Occidental, las restantes zonas presentan déficit hídrico durante dos meses al año, en los mejores casos, siendo los más prolongados en la Zona Norte entre diciembre y abril y Central y Oriental entre los meses de enero y marzo. La baja cantidad de agua recibida durante estos meses obliga a utilizar el riego para suplir la demanda hídrica, principalmente en las Zonas Norte y Oriental y en menor proporción en la Central.

Cada vez es más frecuente observar cómo las diferentes subregiones de las zonas palmeras presentan periodos secos que no concuerdan con la distribución histórica de la precipitación. Además, por causa de la baja uniformidad en esta distribución, en algunas regiones se presentan periodos de estrés en épocas en que teóricamente el agua de lluvia es suficiente para satisfacer los requerimientos hídricos de la palma, lo cual se ve agravado por la disminución en la oferta de las fuentes existentes y la ineficiente utilización del recurso hídrico. De igual manera, en la Zona Occidental se han observado, durante la última década, varios periodos secos que han tenido efectos negativos sobre la producción de fruto, los cuales están asociados a la interacción de fenómenos climáticos como el ENOS.

Por tanto, al tener en cuenta la inmensa importancia económica que representa el agua en la producción de la palma de aceite, se ha desarrollado esta guía técnica, cuyo objetivo es dar a conocer los elementos básicos para la realización del balance hídrico, de tal manera que los palmicultores cuenten con una herramienta que les permita ayudar a definir la viabilidad técnica y económica de proyectos de siembra, darle un uso eficiente al agua en las zonas donde se aplica riego y que cuenten con elementos para la toma de decisiones con relación a su manejo en las zonas donde este no se hace tan indispensable.

BALANCE HÍDRICO EN EL CULTIVO DE LA PALMA DE ACEITE

I. El suelo y su capacidad de almacenar agua

Por suelo se entiende la capa superficial de la tierra que ha sido fragmentada y meteorizada. Se ha formado por desintegración y descomposición de las rocas a través de procesos físicos y químicos y la influencia de la acumulación de residuos orgánicos.

Desde el punto de vista de manejo del riego, el interés sobre el suelo reside en su aspecto físico, constituyendo así un sustrato para la planta que le provee del agua, nutrientes y anclaje requerido.

El suelo es un sistema compuesto por tres fases: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida (idealmente 50%), está constituida por partículas de suelo de naturaleza mineral y orgánica, las cuales al agruparse dejan espacios vacíos que son ocupados por agua y gases. (Figura 1)

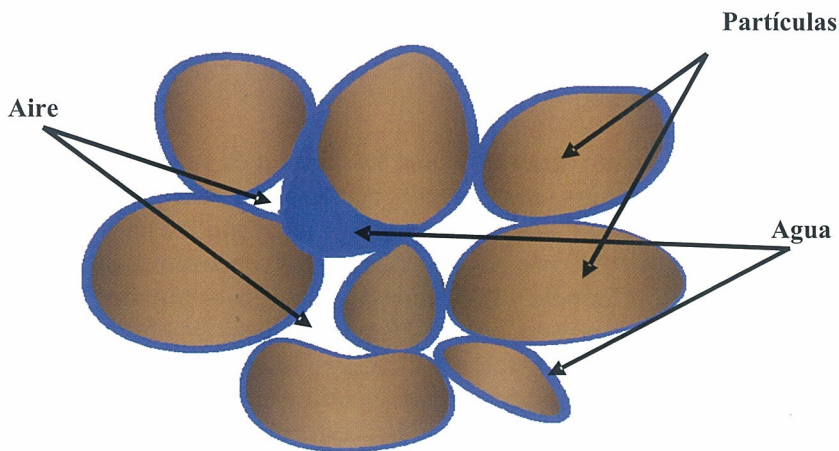


Figura 1. Fases del suelo

La separación de las diversas fases del suelo indica que éste, con su contenido de agua y aire, ocupa un volumen total (V_t) y un peso total (P_t), los vacíos o espacios porosos ocupan un volumen (V_v) ocupado por aire (V_a) y agua (V_w). (Figura 2)

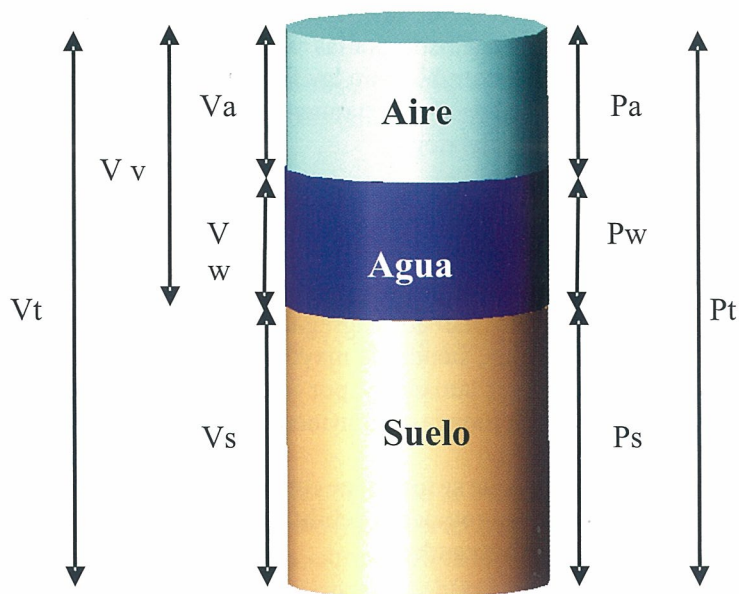


Figura 2. Distribución de volúmenes

Las principales características del suelo que afectan la retención del agua son la textura, la estructura y la porosidad.

Textura

La porción mineral del suelo está formada por partículas que, según su tamaño, se clasifican de mayor a menor en: arena (A), limo (L) y arcilla (Ar). La textura de un suelo hace referencia a la porción relativa de cada una de estas partículas.

El agua ocupa total o parcialmente los poros comprendidos entre las partículas sólidas y/o sus agregados. Esta agua es absorbida por las raíces de las plantas, por lo que debe ser periódicamente repuesta por la lluvia o mediante riego.

El aire ocupa el resto de los poros no utilizados por el agua. Por lo general, los poros pequeños (microporos) están conformados por agua, mientras que el aire, salvo que el suelo esté saturado de agua, ocupa la mayor parte del espacio de los poros grandes (macroporos). Los poros de tamaño intermedio están llenos de aire y agua en mayor o menor proporción, según las variaciones del contenido de humedad del suelo.

Los suelos de textura arcillosa tienen un gran número de microporos, mientras que los macroporos predominan en los suelos de textura arenosa. Los suelos arenosos drenan con facilidad porque gran parte de sus poros tienen el diámetro suficiente para permitir la salida del agua por gravedad. De ello, se deduce que los suelos arenosos tienen menor capacidad de retener agua que los arcillosos.

La textura de un suelo es un factor determinante en la elección del método de riego a implementar. Los suelos arenosos, por las razones comentadas, poseen altas tasas de infiltración, factor desfavorable para la eficiencia si se aplica riego superficial. Además, su baja capacidad de almacenamiento de agua, implica riegos frecuentes lo cual dificulta la logística del riego.

Estructura

Se llama estructura de un suelo a la disposición de sus partículas para formar otras unidades de mayor tamaño, llamadas agregados. Los poros se presentan entre los agregados y dentro de ellos, siendo de mayor tamaño los primeros, por lo que la cantidad de poros de mayor tamaño (y, por lo tanto, la permeabilidad del suelo al aire y al agua) viene condicionada en gran medida por la estructura.

A diferencia de la textura, que se mantiene constante, la estructura puede variar con mucha facilidad, cuando se rompen o debilitan las fuerzas que unen las partículas elementales dentro de los agregados.

Porosidad

La porosidad de un suelo es la fracción de volumen no ocupado por materiales sólidos. Viene condicionada por su textura y estructura.

La densidad aparente (D_a) se refiere a la relación entre el peso de suelo seco (P_s) y el volumen total (V_t) ocupado por el mismo, incluyendo el volumen ocupado por los poros. La densidad real (D_r) se refiere a la densidad de las partículas sólidas, y es igual al peso de suelo seco (P_s) dividido por el volumen ocupado por las partículas sólidas (V_s). En todos los suelos minerales, por ser derivados del cuarzo, su densidad real tiene un valor aproximado de $2,6 \text{ g/cm}^3$. Sin embargo, dependiendo de los fines, deberá ser determinada experimentalmente en laboratorio.

La porosidad o volumen ocupado por los poros se expresa como un porcentaje del volumen total del suelo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Porosidad} = \frac{D_r - D_a}{D_r} * 100$$

La porosidad de los suelos varía normalmente entre 40 al 50% del volumen total.

La Retención de Humedad

El agua del suelo, que constituye su fase líquida, es uno de sus componentes más importantes. La oportuna y fácil disponibilidad es una de las principales condiciones para una agricultura rentable.

El suelo nunca está completamente seco. El contenido de humedad está en función de una serie de factores, algunos ligados al mismo suelo y otros, resultantes de un determinado equilibrio entre las fases sólida y líquida.

Se acostumbra considerar tres clases de agua en el suelo: agua higroscópica, agua capilar y agua gravitacional.

Agua Higroscópica

Es la que se encuentra adsorbida por efecto de las fuerzas de atracción existentes en las superficies de las partículas. Las moléculas de agua por ser bipolares se orientan y son atraídas por los campos eléctricos que existen alrededor de las superficies coloidales (arcillas y sustancias húmicas).

La proporción de agua higroscópica de un suelo está en función de la superficie total del mismo. Será mayor cuando más fina sea su textura. Esta clase de agua no es aprovechable por las plantas debido a la gran fuerza con que es retenida.

Agua Capilar

Es la que es retenida por fuerzas de tensión superficial. Se encuentra en forma de películas continuas alrededor de las partículas y en los espacios capilares (microporos).

No toda el agua capilar es aprovechable por las plantas. La que se encuentra en poros de diámetros entre 0,2 y 0,001 micras es muy difícil de extraer por la planta. El agua contenida en capilares desde 0,2 hasta 5,6 micras de diámetro es más importante desde el punto de vista de aprovechamiento por la planta (Buriticá, 1982). Se mueve por fuerzas de capilaridad y no es afectada por la gravedad. Se encuentra retenida con fuerzas equivalentes a una presión entre 0,5 y 15 atmósferas.

Agua Gravitacional

Está contenida en poros de más de 5,6 micras de diámetro. En suelos que no tienen drenaje impedido, se puede encontrar transitoriamente después de una lluvia o de un riego, pues es atraída por la fuerza de la gravedad. Puede ser aprovechable por la planta transitoriamente mientras percola en el suelo. Cuando dicha agua no puede ser eliminada rápidamente se

acumula, llenando el espacio poroso, lo que puede ser perjudicial para la planta generando así la necesidad de recurrir al drenaje para facilitar su eliminación.

Agua Aprovechable

Entendiendo el suelo como un reservorio donde se almacena el agua que va a ser absorbida por las plantas, se debe concebir que una vez suministrada ya sea por lluvia o por riego, al ingresar al suelo (infiltrarse), desplaza el aire presente en los poros.

Por tratarse de un reservorio, se sabe que este tiene una capacidad máxima que va a depender de la porosidad total del suelo (V_a). Al momento que todos los poros están llenos de agua se deduce que el suelo está saturado. (Figura 3)

En ese instante, las fuerzas de retención sobre esas moléculas de agua son nulas y por tanto el potencial matricial es igual a cero. Si ese suelo posee condiciones adecuadas de drenaje, inmediatamente inicia un proceso de redistribución que es gobernado principalmente por la fuerza de la gravedad, la cual obliga a desalojar las moléculas de agua presentes en los macroporos.

Dependiendo de la textura del suelo, este proceso puede tardar de 24 a 48 horas, momento en el cual se dice que el suelo se encuentra a capacidad de campo (CC) (Figura 3); lo que indica que en ese instante el suelo está a su máxima capacidad de almacenamiento en sus microporos. Igualmente, dependiendo de la textura del suelo, el potencial matricial va a estar comprendido entre 0,1 y 0,3 atmósferas (10 – 30 kPa).

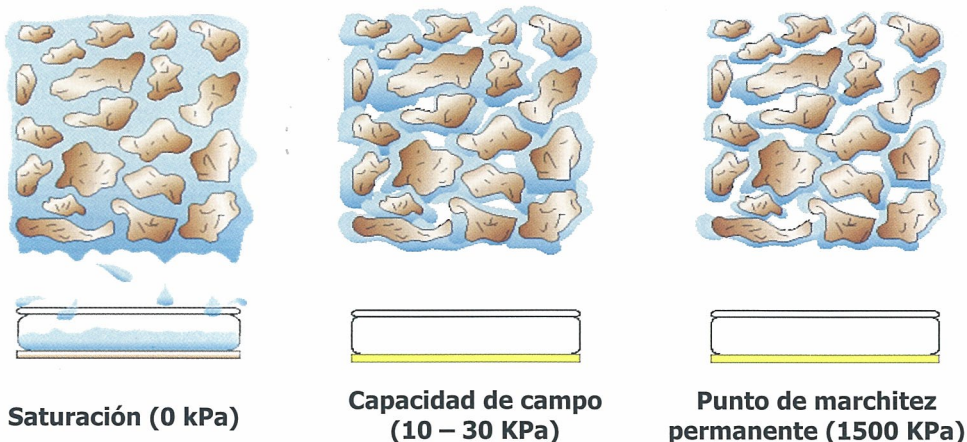


Figura 3. Estados de humedad del suelo.

(Adaptado de “Avances técnicos para la programación y manejo de riego en caña de azúcar”. Cenicña 1996)

Una vez se inicia el proceso de secado del suelo como consecuencia de la transpiración de las plantas y la evaporación sobre la superficie, el agua presente en este se va limitando a la contenida en los poros más pequeños, los cuales, a su vez, la retienen con mayor fuerza. De esta manera, a medida que el suelo se seca, la poca agua que almacena es retenida con mayor tensión, lo que implica mayores fuerzas para que pueda ser extraída.

De la misma manera que se habló de una capacidad máxima del reservorio, se sabe que el suelo tiene un límite inferior en el cual el agua es retenida con tal tensión que las plantas no la pueden tomar y se marchitan. Este punto es conocido como punto de marchitez permanente (PMP), y en él, el agua es retenida a una tensión de 15 atmósferas (1500 KPa).

(Figura 3)

Al contenido de humedad comprendido entre capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), se le conoce como agua aprovechable (AA), la cual, como se ha mencionado, indica el agua que potencialmente puede ser disponible para las plantas y variará de acuerdo con la textura del suelo.

Sin embargo, el enfoque de la agricultura moderna plantea que el punto de marchitez permanente, no debe ser considerado para programar la aplicación de riego en cultivos de alto rendimiento. Lo anterior se debe a que ello implica que el suelo llegue a un nivel de humedad tal, que la planta requiera hacer grandes desgastes energéticos para extraerlas y, por lo tanto, se disminuya su tasa de transpiración y por consiguiente, de fotosíntesis.

De esta manera, una de las formas de programar el riego ha consistido en definir un umbral de agotamiento del agua aprovechable. Por ejemplo 50%; esto indica que del agua que es capaz de almacenar el suelo en una determinada profundidad, la aplicación del riego se realiza cuando se haya agotado un 50%. Esta técnica implica aplicaciones diferenciales dependiendo de esa capacidad de almacenamiento, muy relacionado con el contenido de arcilla, pero no directamente proporcional. (Figura 4)

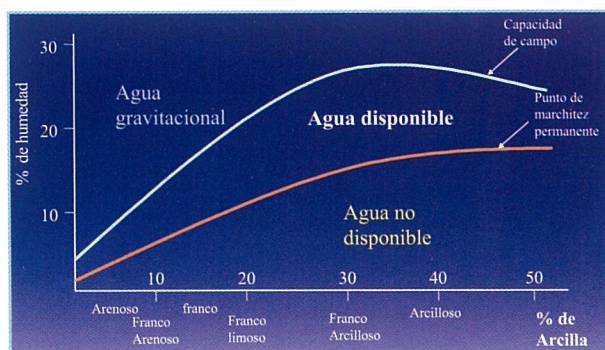


Figura 4. Condiciones de disponibilidad del agua en el suelo en función de su contenido de arcilla.

Según lo anterior, la forma como se está planteando realizar la programación de riego en la nueva agricultura, y en especial en la palma de aceite, consiste en definir un punto crítico de tensión o potencial matricial (PCT) en el cual la aplicación de riego represente los mejores beneficios económicos. Por lo tanto, el agua almacenada en el suelo entre CC y la humedad correspondiente a PCT, se le conoce con el nombre de AGUA RÁPIDAMENTE APROVECHABLE” (ARA) y expresada en términos de lámina se le conoce como “LÁMINA DE AGUA RÁPIDAMENTE APROVECHABLE (LARA).

El valor de PCT para la mayoría de los cultivos, según la FAO (1976) se encuentra alrededor de 1 atmósfera (100 kPa). Para la palma de aceite no se conoce dicho valor, y actualmente Cenipalma está adelantando una investigación conducente a su determinación, aunque por evaluaciones preliminares realizadas, se ha determinado que 1,5 atmósferas (150 kPa) es un valor que puede dar buenos resultados mientras se concluye la investigación.



II. La relación planta - agua

El proceso esencial de movimiento del agua, desde el suelo hasta la atmósfera, es un proceso que obedece a diversos factores. Pero básicamente, por tratarse de un movimiento, está gobernado por un diferencial energético. Entre más grande sea el gradiente de energía entre el suelo y la atmósfera, mayor es el potencial de movimiento de agua.

Estas condiciones se dan cuando el agua en el suelo está retenida con menor tensión (cerca de CC) y la humedad relativa en la atmósfera es baja. Sin embargo, la conjugación de estos factores no es suficiente para que exista movimiento, puesto que este flujo a través de la planta es, a su vez, influenciado por una serie de resistencias que dependerán de su naturaleza genética y la ingerencia de factores externos como el clima.

La Absorción

La absorción es el paso del agua desde el suelo hacia la planta. Se produce como consecuencia de la diferencia de potencial existente entre el agua del suelo y el de la planta y tiene lugar a través de los pelos absorbentes de las raíces. A través de los estomas de las hojas también se pueden absorber pequeñas cantidades de agua.

Por lo general, el mayor esfuerzo que han de vencer las plantas es el potencial matricial; sin embargo, los suelos salinos crean en algunas ocasiones un potencial osmótico tan bajo que las plantas no absorben el agua y se marchitan aunque el suelo esté a capacidad de campo.

Cuando la raíz extrae agua del suelo, el potencial del agua baja en la zona donde ha perdido agua, lo cual provoca redistribución de esta en las zonas adyacentes. Estos desplazamientos de agua por capilaridad son importantes a una distancia de unos pocos milímetros.

Aunque también se producen desplazamientos a mayor distancia pero no con suficiente velocidad como para cubrir las necesidades de absorción de las plantas en fase de mayor crecimiento. En este caso el crecimiento de las raíces hacia el agua es más efectivo que el movimiento capilar del agua hacia las raíces.

La Transpiración

Una pequeña parte del agua absorbida se incorpora a los tejidos de la planta (entre 1 y 2%), mientras que el resto pasa a la atmósfera por transpiración. La transpiración es el paso del agua en estado de vapor desde la planta hacia la atmósfera a través de los estomas, que son unos orificios situados en la epidermis de las hojas.

La intensidad de la transpiración viene condicionada por una serie de factores dependientes de la atmósfera como la humedad relativa, la temperatura del aire, la velocidad del viento y la luz solar; las cuales activan la fotosíntesis y estimulan la apertura de los estomas.

La capacidad de estos para abrirse o cerrarse depende, entre otros factores, del contenido hídrico de las células oclusivas: con alto contenido hídrico el estoma se abre y con bajo se cierra. Naturalmente, el contenido hídrico de estas células viene relacionado con el contenido hídrico general de la planta, que a su vez depende del contenido hídrico del suelo. Cuando la absorción de agua es inferior a las pérdidas por transpiración, el estoma se cierra y cesa la transpiración.

La captación del bióxido de carbono atmosférico necesario para la fotosíntesis se realiza al igual que la transpiración, a través de los estomas, por lo que se les considera como reguladores del equilibrio de las funciones fisiológicas (fotosíntesis y eliminación de agua). La transpiración también es causante de la diferencia de potencial energético del agua entre la raíz y las hojas, lo que permite distribuir por toda la planta el agua y las sales minerales disueltas en ella.

La evapotranspiración

Se define como la cantidad de agua usada por cada cultivo o vegetación natural en la formación de tejidos, en la transpiración a través de las hojas y en la evaporación directa a través de la superficie del suelo.

La magnitud de la evapotranspiración depende principalmente del cultivo, del contenido de humedad en el suelo y del clima. Esto indica que no es un valor constante en el tiempo, y que el asumirlo así, conllevaría a que en algunos momentos se sobrevaloren y en otros se subvaloren los requerimientos hídricos de un cultivo.

Requerimientos hídricos de la palma de aceite

Para determinar los verdaderos valores de consumo de agua en un determinado momento, se usa un coeficiente (K_c) que relaciona la evapotranspiración (ET_o) de un cultivo de referencia (una gramínea) bajo condiciones óptimas de humedad, sanidad y nutrición, con la evapotranspiración real del cultivo en evaluación (ETR) y bajo las mismas condiciones (Figura 5). Este valor también puede obtenerse al correlacionar de la misma forma, la evapotranspiración del cultivo bajo evaluación con valores de evaporación de un tanque clase A(1).

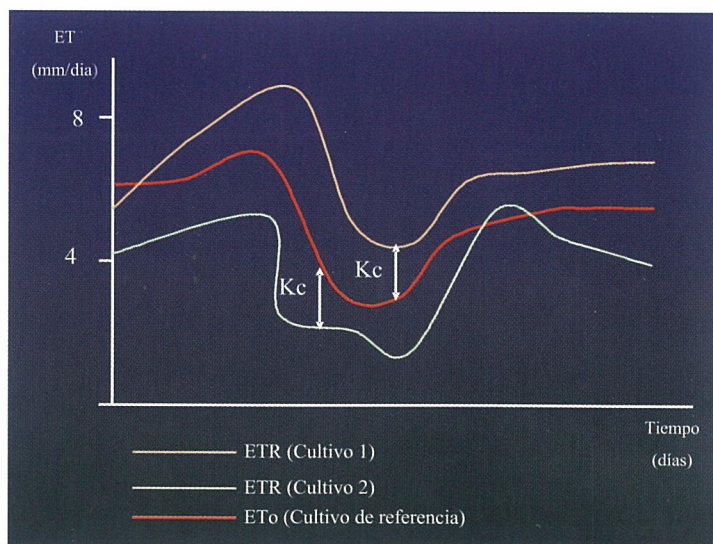


Figura 5. Descripción gráfica de la determinación del K_c

(1) Tanque utilizado para la determinación de la evaporación. Posee dimensiones y especificaciones de instalación definidos por la FAO, 1974

Para la palma de aceite, son escasos los reportes de la obtención del coeficiente (K_c). Sin embargo, se han hecho varios trabajos para la determinación de su ETR. Se habla de valores de evapotranspiración obtenidos en Malasia de 7 - 8 mm/día para palma adulta y 5,5 - 6,5 mm/día para palma joven, alcanzando valores de hasta 10 mm/día en periodos extremadamente secos (Foong, 1999).

Dufrene et al, citados por Mejia (2000), reportan valores en palma adulta de 3,54 mm/día en áreas no regadas. Para Colombia, Acosta (2000) encontró valores de evapotranspiración entre 7 y 10 mm/día para palma adulta con suelo a capacidad de campo en la zona de Codazzi - Cesar; Cayón et al., en 1996 obtuvieron valores medios de evapotranspiración de 8.98 mm/día en palmas de vivero para las condiciones de Cumaral - Meta.

La carencia de un estudio que defina con certeza los valores de ETR y K_c para los diferentes materiales de palma de aceite sembrados en Colombia, hace que en la mayoría de los casos cuando se requieren sus valores de evapotranspiración, se haga uso de valores constantes; que oscilan entre 5 y 8 mm/día o entre 150 y 200 mm/mes.



1. EL BALANCE HÍDRICO

Definición

Tomando el término “reservorio”, utilizado para construir una definición de suelo desde el punto de vista agrícola, se entiende que presenta entradas y salidas permanentes de agua, lo que lo caracteriza como un sistema dinámico.

El balance hídrico, consiste en contabilizar a través del tiempo, con datos reales, las diferentes entradas y salidas que se presenten en el sistema, a fin de determinar de manera oportuna los posibles excesos y déficit.

De esta manera, el balance hídrico puede manejarse a escala regional en la planeación y correcto uso de los recursos hídricos, en clasificaciones agroclimáticas, en estudios de aptitud de tierras para siembra, entre otros. A escala de cultivo, puede usarse en la planificación y operación de riego y drenaje y la predicción y justificación de rendimientos de producción.

Según los objetivos del balance hídrico, puede realizarse para periodos diarios, semanales, decadales (períodos de 10 días) o mensuales. Adicionalmente, para fines operativos a corto o mediano plazo, se suelen utilizar los balances diarios y decadales; mientras que para la planificación del manejo de los recursos hídricos a largo plazo, se requieren los balances mensuales.

Un balance hídrico con intervalos de una semana o una década permitirá individualizar periodos de sequía de una, dos o tres semanas (ó décadas), que en ocasiones afectan sensiblemente los rendimientos de los cultivos, en especial cuando se trata de cultivos de poca profundidad radicular, en donde algunas diferencias entre la precipitación y la evapotranspiración, a nivel mensual, no se detectan, mientras que a nivel diario, semanal y decadal pueden observarse, incluso en periodos lluviosos.

2. ECUACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO

Al considerar un cierto volumen de control como el mostrado en la Figura 6, es posible identificar claramente todas las entradas y salidas de agua que integran las variables de un balance hídrico. Las entradas están constituidas por la precipitación, la condensación, los aportes capilares desde el nivel freático y unos escurrimientos de zonas aledañas tanto superficiales como subterráneos; y como salidas: los escurrimientos, la percolación, la evaporación y la transpiración. Además, puede considerarse que aunque la interceptación, técnicamente no es una salida, es un factor que no permite que la suma por precipitación sea mayor.

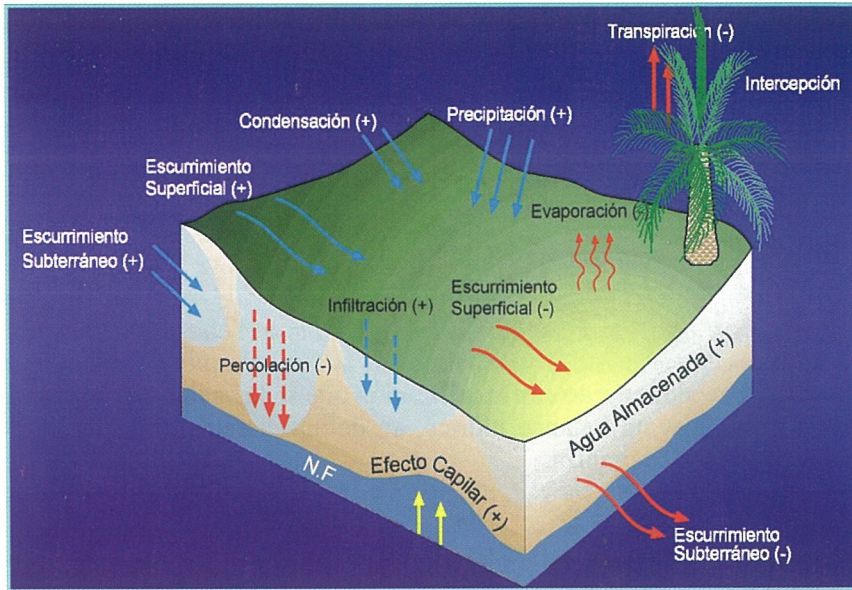


Figura 6. Descripción gráfica del balance hídrico en un determinado volumen de control.

En términos generales, el balance hídrico con fines agrícolas únicamente se realiza teniendo en cuenta la precipitación, la percolación, la escorrentía, la evaporación, la transpiración y eventualmente los aportes capilares. Las otras variables, por su dificultad de determinación y baja magnitud, poco se tienen en cuenta. De esta manera, un balance hídrico puede ser sintetizado de una forma clara en la siguiente ecuación:

$$BH = P - E - Perc - EV - T + Ac$$

Donde:

BH: Es el cambio que presenta la humedad del suelo (puede ser positivo o negativo y además depende en gran medida de la capacidad de almacenamiento del suelo)

P: Precipitación

E: Escorrentía

Perc: Percolación

EV: Evaporación

T: Transpiración

Ac: Aportes capilares

Al simplificar la ecuación y dado que del total de la precipitación (**P**), parte es interceptada por la cobertura y parte se puede perder por escorrentía (**E**) y percolación (**Perc**), se reemplazan estas variables por la variable precipitación efectiva (**Pe**).

Igualmente, es posible fusionar evaporación (E) y transpiración (T) en evapotranspiración (ET), variable que ha sido ampliamente estudiada. De esta manera la ecuación queda de la siguiente forma:

$$BH = Pe - ET + Ac$$

3. ELEMENTOS DE ENTRADA PARA EL BALANCE HÍDRICO

Es importante que, de acuerdo con la utilización que se le vaya a dar a la información recopilada al realizar un balance hídrico, se defina claramente la forma como se obtiene, se registra y se organiza.

Profundidad efectiva del suelo

Se refiere a la profundidad del suelo en la cual se considera que se encuentran aproximadamente el 80% de las raíces del cultivo bajo estudio. Para la palma de aceite este valor puede oscilar entre 50 y 60 cm. En adelante en el documento se trabajará con el segundo valor.

Capacidad de almacenamiento de agua del suelo

Este punto depende del criterio de la persona que va a realizar el balance hídrico puesto que puede ser tan flexible como se quiera. Como se explicó anteriormente, la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA), que se sugiere utilizar para la realización de un balance hídrico diario en la palma de aceite, es la humedad existente entre capacidad de campo (CC) y un punto crítico de tensión (PCT) de 1,5 atmósferas (150 kPa).

Ejemplo 1: Calcular la capacidad de almacenamiento de agua de un suelo sembrado con palma de aceite en la Zona Norte colombiana según los siguientes datos:

- Profundidad efectiva: 60 cm
- Densidad aparente del suelo: 1,5 g/cm³
- Humedad gravimétrica a CC (0,3 atmósferas): 28%
- Humedad gravimétrica a PMP (15 atmósferas): 16%
- Humedad gravimétrica a PCT (1,5 atmósferas): 22%

Agua Aprovechable (AA)

$$AA = \frac{(CC - PMP)}{10} * Da * P \Rightarrow AA = \frac{(28 - 16) * 1.5 * 60}{10}$$

$$\Rightarrow AA = 108 \text{ mm}$$

Dicho previamente, desde el punto de vista de un negocio rentable, no se debe trabajar un balance hídrico cuando se llega al agotamiento de la humedad del suelo hasta PMP, por el contrario, el punto crítico definido de 1,5 atmósferas, es más estratégico.

Lámina de Agua Rápidamente Aprovechable (LARA)

$$LARA = \frac{(CC - PCT)}{10} * Da * P \Rightarrow LARA = \frac{(28 - 22) * 1.5 * 60}{10}$$

$$\Rightarrow LARA = 54 \text{ mm}$$

Para este caso, la capacidad de almacenamiento con la cual se calculará el balance hídrico será de 54 mm. Valor de gran utilidad, que redundará en buenos resultados al realizar el balance hídrico.

En especial, cuando se trate de un balance para programación de riego y drenaje, se deben determinar estos parámetros, mediante el análisis de muestras de suelo enviadas a un laboratorio de física de suelos, en el cual sea viable solicitar la curva de retención de humedad para puntos desde 0,1 hasta 15 atmósferas.

Por lo general se recomienda que los puntos solicitados contemplen como mínimo 0,1, 0,3, 1, 1,5, 5, 2 y 15 atmósferas; valores con los que se podrá definir a criterio propio la LARA.

Cuando se trata de un balance hídrico regional y no es posible, desde el punto de vista logístico, determinar estos parámetros en un laboratorio; se puede recurrir a valores encontrados en tablas que generalmente se presentan de acuerdo con la textura del suelo.

En estos casos, los valores se presentan para el rango de agua aprovechable (AA) y por lo tanto, la definición de la LARA dependerá del criterio de quien realice el balance y, por lo tanto, incidirá de manera significativa en su precisión (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen de las propiedades de retención de humedad de los suelos*

Textura del suelo	Densidad aparente - Da (g/cm.)	Capacidad de Campo - CC (%)	Punto de Marchitez Permanente - PMP (%)	Agua Aprovechable (AA)**		
				Gravimétrica (%)	Volumétrica (%)	mm/m
Arenoso (A)	1,65 (1,55 – 1,8)	9 (6 – 12)	4 (2 – 6)	5 (4 – 6)	8 (6 – 10)	80 (70 – 100)
Franco Arenoso (FA)	1,5 (1,4 – 1,6)	14 (10 – 16)	6 (4 – 8)	8 (6 – 10)	12 (9 – 15)	120 (90 – 150)
Franco (F)	1,4 (1,35 – 1,5)	22 (18 – 26)	10 (8 – 12)	12 (10 – 14)	17 (14 – 20)	170 (140 – 190)
Franco Arcilloso (FAr)	1,35 (1,3 – 1,4)	27 (23 – 31)	13 (11 – 15)	14 (12 – 16)	19 (16 – 22)	190 (170 – 220)
Arcillo Arenoso (ArA)	1,3 (1,25 – 1,35)	31 (27 – 35)	15 (13 – 17)	16 (14 – 18)	21 (18 – 23)	230 (180 – 280)
Arcilloso (Ac)	1,25 (1,2 – 1,3)	35 (31 – 39)	17 (15 – 19)	18 (16 – 20)	23 (20 – 25)	230 (220 – 250)

* Tomada de “Técnicas de Riego”. (Fuentes Yague, 1996)

** La LARA puede ser determinada como un porcentaje del agua aprovechable (AA). Este porcentaje puede oscilar entre un 40 y un 70%.

Ejemplo 2: Calcular la LARA para un suelo Franco (F) cuya profundidad efectiva es de 60 cm., considerando un nivel de agotamiento del 50%:

Este suelo en 100 cm almacena 170 mm; por lo tanto, en 60 cm almacena 102 mm. De estos 102 mm de agua aprovechable (AA) se consideró que solamente el 50% era rápidamente aprovechable, por lo tanto su LARA será de 51 mm.

Precipitación

La precipitación se constituye en la variable más importante en la realización de un balance hídrico, porque es el elemento responsable de los mayores aportes de agua. Su magnitud y distribución son las que le confieren las principales características agroclimáticas a una zona determinada.

De la calidad de la información que se tenga dependerá, en gran medida, la precisión de los

resultados del balance hídrico. Cuando el balance se calcula con fines de largo alcance, como en estudios de aptitud de zonas para siembra o de factibilidad de obras hidráulicas, los datos pluviométricos disponibles en la red meteorológica del IDEAM, son normalmente suficientes. Pero cuando los objetivos son de corto o mediano plazo, como la programación de riego en una determinada zona, la red pluviométrica debe poseer una densidad tal, que permita identificar variaciones espaciales en su distribución.

Cálculo de la probabilidad de precipitación

Si se requiere realizar un balance hídrico con fines de planificación, ejemplificando la definición de los posibles requerimientos de riego o los posibles excesos de una zona potencial de siembra, suele recurrirse a datos de precipitación media de una serie de años. Cuando se toman estos datos, en la mitad de esos años no se alcanza dicha media. Para ello, existen diversos métodos que permiten obtener con precisión una lluvia esperada con base en datos históricos. La elección de uno de estos métodos, dependerá de la finalidad para la cual vayan a utilizarse los datos.

A continuación se presenta un método simple desarrollado por la FAO (Food and Agriculture Organization) para obtener datos sobre las probabilidades de lluvia. Para su cálculo se procede de la siguiente manera:

- Se establecen los valores de precipitación mensual para un periodo determinado.
- Se organizan en forma decreciente, dando a cada valor el número de orden correspondiente.
- Se calcula la probabilidad de ocurrencia mediante la fórmula de Weibull:

$$P = \frac{100M}{N + 1}$$

Donde:

P = Probabilidad esperada (%)

M = Número de orden

N = Número de observaciones

Ejemplo 3:

Se tienen los datos de la estación Prado – Sevilla ubicada en la región bananera de la Zona Norte colombiana. Se hacen los cálculos para una probabilidad de lluvia en el mes de abril del 75% con datos del periodo 1983 a 1996.

Tabla 2. Probabilidades de lluvia para el mes de abril con datos de la estación Prado – Sevilla (Magdalena)

Año	Precipitación (mm)	Precipitación ordenada	Número de orden (M)	Probabilidad (P)
1983	212.9	212.9	1	6,7
1984	33.3	141.7	2	13,3
1985	92.1	110.9	3	20,0
1986	10.0	92.1	4	26,7
1987	110.9	77.9	5	33,3
1988	141.7	75.6	6	40,0
1989	71.3	71.3	7	46,7
1990	2.2	66.9	8	53,3
1991	77.9	55.5	9	60,0
1992	75.6	36.0	10	66,7
1993	36.0	33.3	11	73,3
1994	55.5	10.0	12	80,0
1995	66.9	2.2	13	86,7
1996	0	0	14	93,3

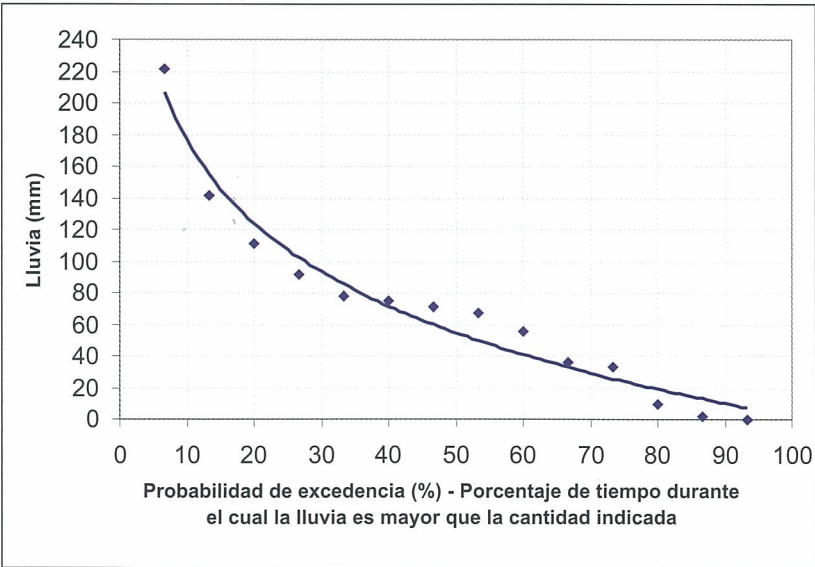


Figura 7. Ejemplo de curva para el cálculo de lluvia verosímil para el mes de abril con datos de la estación Prado – Sevilla (Magdalena).

De la curva, o interpolando entre los valores de probabilidad de 73,3 y 80% se obtiene que la precipitación esperada para el mes de abril con un 75% de probabilidad es de 27,2 mm, lo que significa que en 3 de cada 4 años se tendrán precipitaciones iguales o mayores a 27,2 mm.

De igual forma, la precipitación con un 25% de probabilidad para el mes de abril será de 92 mm, lo que indica que en 3 de 4 años la precipitación no excederá este valor.

Precipitación efectiva

Del total de lluvia que cae sobre la superficie de un terreno, una parte se infiltra y se incorpora a la zona radical; otra parte, percola en profundidad, fuera del alcance de las raíces; otra, se pierde por escorrentía superficial y otra, queda interceptada por la vegetación, desde donde posteriormente se evapora. En las regiones de lluvias fuertes e intensas, puede ocurrir que solamente entre y quede almacenada en la rizosfera una parte de ellas, por consiguiente, la eficiencia de la lluvia será baja. En el caso de lluvias frecuentes y ligeras puede ser muy importante la interceptación por las hojas de las plantas.



Las plantas en estado húmedo tienden a transpirar menos, lo cual queda contrarrestado por el aumento de evaporación de la lluvia interceptada por esas hojas. En la práctica, en condiciones de cubierta sombreada completa, se puede suponer que las lluvias ligeras tienen una eficiencia del 100%. La evaporación es alta a partir de un suelo con poco cubrimiento por parte del cultivo y seco antes de la lluvia. Una lluvia de 6 a 8 mm/día puede perderse casi completamente debido a la evaporación; incluso lluvias de 25 a 30 mm durante la fase inicial de desarrollo del cultivo pueden ser efectivas en tan sólo 60%.

Según la FAO (1976), se emplean diferentes criterios para estimar la lluvia efectiva como porcentaje de la total. En la India, uno de esos métodos considera que sólo son efectivas el 60% de las lluvias estacionales medias; en otro, se equipara la lluvia efectiva a la lluvia media, pero no se toman en consideración las lluvias diarias inferiores a 5 mm y las superiores a 75 mm en un día y a 125 en diez.

Tampoco se consideran efectivas las lluvias caídas después de cinco días del último riego. En Tailandia, se consideran efectivas el 80% de las lluvias de noviembre y el 90%, de diciembre a marzo.

En Japón, en el caso del arroz de secano, se considera que las lluvias tienen una efectividad del 80% pero las lluvias diarias inferiores a 1,85 mm y superiores a 30 mm no se toman en consideración; cuando la lluvia efectiva y la humedad residual del suelo del día anterior rebasan 30 mm, se excluye el cálculo del excedente.

Así pues, la determinación de la precipitación efectiva para una escala mensual del balance hídrico, dependerá en gran parte de la capacidad de almacenamiento del suelo y los factores analizados.

De esta manera, para propósitos generales, se presentan algunos métodos que pueden ayudar a determinar valores aceptables de precipitación efectiva. En general, los métodos asumen una capacidad de almacenamiento del suelo de 75 mm.

1. En función de la precipitación caída durante el mes (P)

- Cuando P es superior a 75 mm

$$Pe = 0.8P - 25$$

- Cuando P es inferior a 75 mm

$$Pe = 0.6P - 10$$

Ejemplo 3:

Se tienen datos en una estación para los meses de mayo y junio de 42 y 80 mm de lluvia. La lluvia efectiva en esos meses es :

- Mayo: $Pe = 0.6 * 42 - 10 = 15.2 \text{ mm}$
- Junio: $Pe = 0.8 * 80 - 25 = 39 \text{ mm}$

2. En función de la precipitación mensual (P) y del número de precipitaciones ocurridas durante el mes (n)

$$Pe = 0.8P - 12.5n$$

3. Según la lluvia mensual media y la ET del cultivo.

Tabla 3. Precipitación efectiva mensual media, en su relación con la ET (cultivo) mensual media y las lluvias mensuales medias. Tomado de FAO (1976)

Lluvia mensual media (mm)	12,5	25	37,5	50	62,5	75	87,5	100	112,5	125	137,5	150	162,5	175	187,5	200
ET Cultivo (mm/mes)	Precipitación efectiva mensual media*															
25	8	16	24													
50	8	17	25	32	39	46										
75	9	18	27	34	41	48	56	62	69							
100	9	19	28	35	43	52	59	66	73	80	87	94	100			
125	10	20	30	37	46	54	62	70	76	85	92	98	107	116	120	
150	10	21	31	39	49	57	66	74	81	89	97	104	112	119	127	133
175	11	23	33	42	52	61	69	78	86	95	103	111	118	126	134	141
200	11	24	33	44	54	64	73	82	91	100	109	117	125	134	142	150
225	12	25	35	47	57	68	78	87	96	106	115	124	132	141	150	159
250	13	25	38	50	61	72	84	92	102	112	121	132	140	150	158	167

* Cuando la capacidad de almacenamiento del suelo en el momento del balance, es diferente de 75 mm, el factor de corrección pertinente es:

Agua almacenada (mm)	20	25	27.5	50	62.5	75	100	125	150	175	200
Factor	0.73	0.77	0.86	0.93	0.97	1.00	1.02	1.04	1.06	1.07	1.08

Ejemplo 4:

Calcular la precipitación efectiva mensual media para una precipitación mensual media de 100 mm sabiendo que la lámina de agua almacenada es de 50 mm y la ET (cultivo) es de 150 mm.

$$Pe = 0.93 * 74$$

$$Pe = 68.82 \text{ mm}$$

Para la realización de un balance hídrico con el fin de un correcto manejo del agua en el cultivo de la palma de aceite, se ha observado que los mejores resultados se obtienen cuando se calcula diariamente. Por lo tanto, los criterios para la determinación de la precipitación efectiva deben hacerse por evento de lluvia.

Sobre este particular, existen pocas referencias específicas para el cultivo. Estudios preliminares realizados por Cenipalma, mostraron que en la zona de Codazzi (Cesar), la interceptación puede ser entre el 2 y el 16% según la intensidad y frecuencia de las lluvias. Por otro lado, Dufrêne et al. (1992), midieron la interceptación anual de agua lluvia en el cultivo de palma de aceite y concluyeron que cerca del 14% nunca llegó al suelo.

De esta manera, se observa la importancia de adelantar investigación relacionada con el tema. Cenipalma utiliza los siguientes criterios para la determinación de la precipitación efectiva en los cálculos del balance hídrico diario.

- Se considera como precipitación efectiva la que no es interceptada por la cobertura.
- Parte o toda la precipitación efectiva puede perderse por escorrentía o percolación, de acuerdo con la capacidad de almacenamiento del suelo al momento del evento.
- Si la precipitación es igual o menor a 20 mm, la precipitación efectiva corresponde a un 85% de esta.
- Si la precipitación es superior a 20 mm, toda se considera efectiva e ingresa al balance hídrico para ser afectada por la escorrentía y la percolación, dependiendo de la humedad del suelo.

Variabilidad espacial de la precipitación y su determinación sobre un área

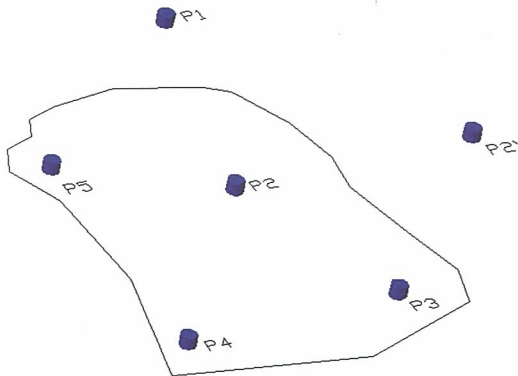
La precipitación varía en el tiempo y en el espacio de acuerdo con el patrón general de la circulación atmosférica y los factores locales.

Para fines regionales, Cenipalma cuenta con un trabajo que define zonas con igual comportamiento en cuanto a su precipitación, realizado con la información de las estaciones meteorológicas del IDEAM ubicadas en las regiones palmeras, lo cual es suficiente para satisfacer los objetivos planteados de diferenciar climáticamente las subregiones en donde está sembrada la palma de aceite.

Pero para la programación del manejo del agua a nivel de plantación, se requiere un detalle adecuado de la red pluviométrica. Es normal que en las plantaciones se presenten zonas con marcadas diferencias en cuanto a precipitación; sin embargo, para el cálculo, se realizan simples promedios aritméticos entre ellas, disfrazando tales diferencias.

Por tal motivo, a continuación se presentan ejemplos de metodologías simples que ayudan a la definición de una red pluviométrica adecuada:

El método de la media aritmética es el más simple para determinar la lluvia promedio sobre un área. Simplemente se promedian las precipitaciones de los pluviómetros existentes. Es acertado cuando estos se distribuyen uniformemente sobre el área y las variaciones individuales son bajas (Figura 8).

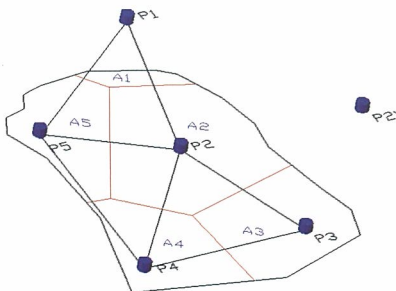


Pluviómetro	Precipitación (mm)
P2	10
P3	30
P4	40
P5	50
Total	130
<i>Precipitación media = $130/4$ = 32.5 mm</i>	

Figura 8. Cálculo de la precipitación promedio sobre un área por el método de la media aritmética.

Si se tiene en cuenta que algunos pluviómetros del área en cuestión son más representativos que otros, pueden asignárseles pesos relativos para el cálculo del promedio del área. El método de Los Polígonos de Thiessen establece que, en cualquier punto del área, la lluvia es igual a la que se registra en el pluviómetro más cercano; luego, la precipitación registrada en el pluviómetro dado se aplica hasta la mitad de la distancia al siguiente pluviómetro en cualquier dirección.

Los pesos relativos de cada pluviómetro se determinan mediante las correspondientes áreas de aplicación de una red de polígonos, cuyas fronteras están formadas por los bisectores perpendiculares a las líneas que unen pluviómetros adyacentes (Figura 9).



Pluviómetro	Precipitación (mm)	Área (Ha)	Precipitación Ponderada (mm)
P1	10	10.2	102
P2	10	91.2	912
P3	30	57.6	1728
P4	40	44.7	1788
P5	50	46.4	2320
Total		250.1	6850
<i>Precipitación media = $6850/250.1$ = 27.4 mm</i>			

Figura 9. Cálculo de la precipitación promedio sobre un área por el método de los polígonos de Thiessen. Las áreas corresponden a los polígonos delimitados por las líneas de color rojo.

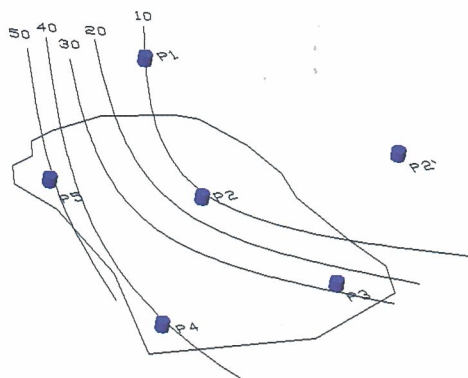
Mediante este método es posible definir como zonas de igual precipitación las que se encuentran encerradas dentro de cada polígono. Por ejemplo, para el caso de la palma de aceite, dentro de cada polígono pueden existir ciertos lotes a los cuales se les maneje el balance hídrico de manera individual. Esto implica que en dichos casos no se trabaje con el promedio ponderado, sino con la precipitación correspondiente a cada lote según el polígono donde se encuentre.

De igual manera es importante el criterio del técnico encargado de manejar la información, para verificar si en realidad la forma de definir las zonas homogéneas está siendo consecuente con la realidad; en caso contrario, deberá instalar pluviómetros en puntos intermedios y reubicar otros si es el caso.

En el momento inicial de definir una red pluviométrica, es importante que ésta sea realizada en forma de cuadrícula (por ejemplo 300 x 300m) y tras el seguimiento del comportamiento durante un tiempo considerable, definir si se amplía o disminuye dicha red; tratando en lo posible de conservar la cuadrícula.

Otro método que se puede emplear para caracterizar una zona, según las áreas de igual comportamiento de la precipitación, consiste en el método de las Isoyetas (Igual precipitación). Se obtienen al observar las precipitaciones de cada pluviómetro e interpolan entre los pluviómetros adyacentes. Cuando existen redes bastante densas de pluviómetros, los mapas de isoyetas pueden construirse utilizando programas de computador para dibujar curvas de nivel.

Una vez se construye el mapa de isoyetas, se mide el área A_j entre cada par de isoyetas y se multiplica por el promedio P_j de las precipitaciones de las dos isoyetas adyacentes para calcular la precipitación promedio sobre el área mediante la ecuación (1) (Figura 10).



Isoyetas	Área entre isoyetas (Ha)	Precipitación media (mm)	Volumen de Precipitación (mm)
	39.8	5	199
10			
	39.7	15	595.5
20			
	40.3	25	1007.5
30			
	99.2	35	3472
40			
	22.3	45	1003.5
50			
	8.8	53	466.4
Total	250.1		6743.9
<i>Precipitación media = $6743.9/250.1 = 26.96 \text{ mm}$</i>			

Figura 10. Cálculo de la precipitación promedio sobre un área por el método de las isoyetas.

Ecuación (1):

$$P = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^j A_j P_j$$

Evapotranspiración

La evapotranspiración es la responsable de las salidas en el balance hídrico. Su determinación en condiciones potenciales para un cultivo de referencia (ET_o), puede realizarse mediante diversos métodos que involucran ciertos datos climáticos (métodos de Blaney- Criddle, de la radiación, de Pennman, entre otros) o mediante el método del tanque de evaporación (FAO, 1976).

Los métodos de Blaney- Criddle, de la radiación y de Pennman se utilizan, por lo general, como métodos de predicción, mientras que el método del tanque evaporímetro, mide la evaporación real ocurrida en dicha cubeta (FAO, 1976).

Para palma de aceite, debido a que aún no se conoce el factor K_c que permite determinar la evapotranspiración real (ETR) a partir de la evaporación del tanque o de la ET_o, se propone determinar la ETR con un K_c igual a uno (K_c = 1) con relación a la evaporación del tanque clase A.

Generalmente, la magnitud de los valores diarios de evaporación para ciertas condiciones varían poco en términos espaciales, por lo tanto, a nivel de plantación no es indispensable instalar una red de tanques similar a la que se genera con los pluviómetros.

Por lo anterior, y mientras se culmina la investigación conducente a la determinación del K_c, para realizar el balance hídrico en el cultivo de la palma de aceite, se recomienda cuantificar la evapotranspiración, instalando un tanque evaporímetro en un lugar representativo de la plantación y según sea el caso, ubicar uno o más adicionales.

Aportes capilares

La contribución de la capa freática está determinada por la profundidad de las aguas subterráneas por debajo de la rizósfera, las propiedades capilares y de conductividad del suelo y el contenido de humedad o tensión de humedad del suelo en la rizósfera. Tanto la tasa como la distancia del movimiento del agua, son criterios importantes. En el caso de suelos pesados (textura arcillosa), la tasa es alta mientras que la distancia es baja, y para el caso de los suelos de textura ligera (textura arenosa) ocurre a la inversa.

No habiendo estratos impermeables, se debe considerar que el nivel de las aguas subterráneas por debajo de la rizósfera, en el que la contribución capilar se reduce a menos de 1 mm/día, es

aproximadamente de 50 a 90 cm en los suelos de textura gruesa y pesada y de aproximadamente 120 a 125 cm, en la mayoría de los suelos de textura media.

Para el caso de la palma de aceite, no se tienen referencias de determinaciones de aportes capilares hasta ahora, que se está imponiendo la implementación de redes de observación del nivel freático.

Por lo tanto, se recomienda que para tener una idea de estos aportes, a fin de incluirlos en la contabilidad del balance hídrico, se realice el seguimiento de la humedad del suelo en la rizósfera por periodos consecutivos y además se monitoree la profundidad del nivel freático.

4. BALANCE HÍDRICO CLIMÁTICO

Por su escala mensual, es utilizado generalmente para fines de largo alcance, como ocurre con los estudios de prefactibilidad de obras de riego y drenaje, zonificaciones climáticas y planeación del manejo de los recursos hídricos.

Para su realización simplemente se requiere de una serie histórica de datos mensuales multianuales de precipitación y evapotranspiración, además de la posible textura del suelo y su profundidad efectiva.



Ejemplo 5:

Calcular el balance hídrico mensual para la zona representada por la estación meteorológica Motilonia, ubicada en el municipio de Codazzi, departamento del Cesar. Realizar el cálculo para un suelo con una capacidad de almacenamiento de 85 mm.
Los datos corresponden al registro histórico mensual multianual de 1973 a 2003.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P (mm)	15,3	31	67,6	141,4	200,5	138,3	117,8	160,7	197,7	282,2	164,5	51,2	1568,2
ET (mm)	191,5	196	207,2	173,8	152,3	141,4	164,1	157,5	138,9	133	133,3	155,8	1944,8

Según lo expresado, el balance hídrico climático queda de la siguiente manera:

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
P (mm)	15,3	31	67,6	141,4	200,5	138,3	117,8	160,7	197,7	282,2	164,5	51,2
ET (mm)	191,5	196	207,2	173,8	152,3	141,4	164,1	157,5	138,9	133	133,3	155,8
Almacenamiento					48,2	45,1		3,2	58,8	85	85	
Déficit	176,2	165	139,6	32,4			1,2					19,6
Exceso										123	31,2	

La tabla anterior muestra cómo, en los meses de enero a abril, se presenta déficit hídrico puesto que la precipitación es inferior a la evapotranspiración. En el mes de mayo, la precipitación compensa la evapotranspiración y genera un saldo a favor que es almacenado por el suelo, el cual es en parte utilizado en el mes de junio, ya que la precipitación no repone la evapotranspiración ocurrida. Para julio, igualmente la evapotranspiración es mayor que la precipitación y se presenta un consumo del agua almacenada del mes anterior; sin embargo, aún así, no es suficiente y se genera un déficit de poca importancia.

En los meses de agosto y septiembre la precipitación supera la evapotranspiración y genera la posibilidad de almacenar agua. Para octubre y noviembre la precipitación es tan alta que repone el agua evapotranspirada y genera excedentes para llevar el suelo a capacidad de campo y, además, ocasionar excesos. El mes de diciembre se inicia con una lámina de agua almacenada que es consumida y por esa baja precipitación, se genera un déficit (Figura 11).

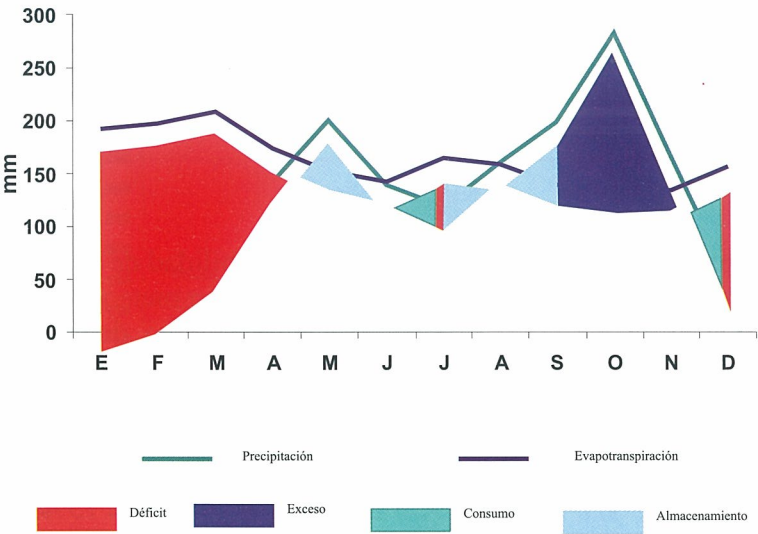


Figura 11. Balance hídrico climático para la estación Motilonia (Codazzi – Cesar).

Como se observa, este tipo de balance da una idea de las condiciones de oferta y demanda ambiental de agua de una zona para sus condiciones promedio. En este caso particular, es claramente notorio un periodo de déficit hídrico de cuatro meses y dos meses en los cuales se presentan excesos de agua.

En términos generales, se podría decir que el establecimiento de un cultivo en dicha zona requeriría de disponibilidad de agua para riego e infraestructura de drenaje para los meses de excesos.

No obstante, este tipo de análisis no tiene en cuenta la precipitación que en realidad es efectiva, además, no contempla cuáles serían los valores críticos de déficit o exceso, ni su probabilidad de ocurrencia, elementos de gran utilidad para definir los requerimientos de infraestructura tanto de riego como de drenaje.

5. BALANCE HÍDRICO AGRÍCOLA

Este tipo de balance hídrico, aunque puede realizarse a escala decadal, la información disponible sólo permite realizarlo de manera mensual. Por su naturaleza, requiere la información del tipo de suelo y profundidad efectiva del sistema radical del cultivo bajo análisis y los datos de precipitación y evapotranspiración.

Su cálculo contempla la utilización de valores de precipitación en función de la probabilidad de ocurrencia y, además, la utilización de la precipitación efectiva calculada según los valores registrados.

Su utilidad radica en determinar con buena precisión los posibles requerimientos o excesos de agua que podría experimentar el cultivo, permitiendo así tomar decisiones de tipo técnico y económico para su establecimiento. Esto indica que es importante realizar este análisis en toda área destinada a la siembra, en particular para la palma de aceite.

Ejemplo 6:

Calcular el balance hídrico mensual con una probabilidad de precipitación del 75% para la zona representada por la estación meteorológica “La Libertad”, ubicada en el municipio de Villavicencio, departamento del Meta. Realizar el cálculo para un suelo franco – arcilloso (Far), con una profundidad efectiva de 50 cm.

Los datos corresponden al registro histórico mensual multianual de 1973 a 2003; la precipitación con probabilidad de 75% para cada mes fue calculada con la metodología comentada anteriormente.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P media (mm)	25,36	73,46	153,4	359,3	419,4	401,7	306,1	248,6	270,2	301,6	202,5	80,85	2634,1
P 75% (mm)	3,2	31,5	84,8	278,4	327,8	341,2	257,3	221,5	201,3	227,1	145,5	41	2312
ET (mm)	153,7	149,9	131,6	105,9	101,1	90	91,9	104,4	110,4	115,9	116,5	131,2	153,7

De la tabla se obtiene que un suelo franco arcilloso posee una capacidad de agua almacenable (AA) de 190 mm por cada 100 cm de suelo. Suponiendo que para este caso su LARA corresponda a un 50%, se tendría que su LARA sería de 95 mm en los 100 cm de suelo; por lo tanto, para los 50 cm definidos como profundidad efectiva se tendría una lámina de almacenamiento de 47,5 cm.

La precipitación efectiva se calcula con las fórmulas estudiadas para la precipitación caída durante el mes.

De esta manera, se calcula el balance hídrico como sigue:

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
P 75%(mm)	3,2	31,5	84,8	278,4	327,8	341,2	257,3	221,5	201,3	227,1	145,5	41
Pe (mm)	3,2	8,9	42,84	197,7	237,2	247,9	180,8	152,2	136,1	156,7	91,4	14,6
ET (mm)	153,7	149,9	131,6	105,9	101,1	90	91,9	104,4	110,4	115,9	116,5	131,2
Almacenamiento											22,4	
Déficit	150,5	141	88,76									94,2
Exceso				44,3	136,1	157,9	88,9	47,8	25,7	40,8		

Representado en forma gráfica se tiene:

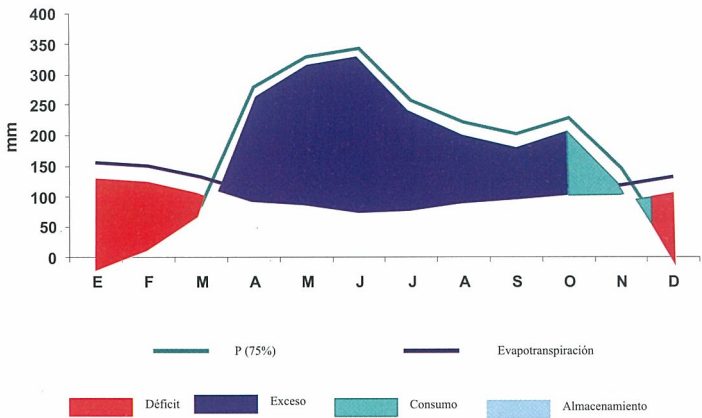


Figura 12. Balance hídrico agrícola con probabilidad de precipitación del 75% para la estación La Libertad (Villavicencio – Meta).

De lo anterior, se puede determinar lo que ocurriría para una precipitación con probabilidad de 75%. Lo que se indica es que un cultivo de palma de aceite que se encuentre en el área de influencia de la estación “La Libertad”, mínimo uno de cada cuatro años presentará un déficit total de 475 mm en el periodo de diciembre a marzo; allí el mes más crítico será enero, en donde se deberá reponer una lámina total de 150,5 mm. Igualmente, se deberá disponer de infraestructura de drenaje para evacuar una lámina máxima de 157,9 mm.

El análisis anterior muestra la aplicabilidad que tendría el balance hídrico agrícola para definir las posibilidades de aplicación de riego en determinada zona. En este caso se tendría una herramienta para definir cuáles serían los requerimientos mínimos de caudal con que se debería contar en el mes más crítico o, también, se podría determinar la cantidad de agua que se requeriría almacenar para reponer dicho déficit. A continuación se muestra cómo es posible utilizar dicha información.

Necesidades netas (Nn)

En ese año crítico se tendría un requerimiento de 150,5 mm para el mes de enero. Por tanto, este será el valor que determine el caudal máximo requerido por el cultivo. Para calcularlo se debe realizar lo siguiente:

$$Nn = \frac{150,5mm}{mes} * \frac{10m^3 / ha}{1mm} * \frac{1mes}{30días} * \frac{1día}{24h} * \frac{1h}{3600s} * \frac{1000l}{1m^3}$$

$$\Rightarrow Nn = 0,58 l / s / ha$$

Es decir, si se tiene una plantación de palma de aceite de 100 ha, en el área de influencia de la estación “La Libertad”, se requerirá para satisfacer los requerimientos hídricos en los meses mencionados, un suministro neto de 58 l/s.

Necesidades totales (Nt)

El valor obtenido de requerimiento neto consiste en un valor teórico demandado por el cultivo. Para la determinación de las necesidades totales de caudal, es necesario afectar este valor con una cifra de eficiencia que está en función del método de riego que se utilizaría eventualmente:

$$Nt = Nn / Ef$$

Donde:

Nt : Necesidades totales
 Nn : Necesidades netas
 Ef : Eficiencia

De un modo general, las eficiencias de los diferentes sistemas de riego vienen indicadas en la siguiente tabla:

Tabla 4. Eficiencia de los diferentes métodos de riego.

Método de riego	Rango de eficiencia
Riego por superficie	
Riego por surcos	0,50 – 0,70
Riego por melgas	0,60 – 0,75
Riego por inundación	0,40 – 0,60
Riego por inundación permanente	0,30 – 0,40
Riego por aspersión	0,65 – 0,85
Riego por microaspersión	0,70 – 0,85
Riego por Goteo	0,75 – 0,95

Para el caso hipotético de sembrar 100 ha, y regarlas por el método de melgas, se tendría las siguientes necesidades totales de riego:

$$Nt = \frac{58l / s}{0,6}$$

$$\Rightarrow Nt = 139 l / s$$

Ejemplo 7:

Se tiene un caudal asignado para los meses de sequía de 480 l / s
Se requiere saber si este caudal es suficiente para regar por inundación
en estos meses una plantación con 620 ha ubicada cerca de la
estación “La Libertad”.

$$Nn = 0,58l / s / ha$$

$$Nt = 0,58l / s / ha / 0.5$$

$$Nt = 1,16l / s / ha$$

$$\text{Caudal disponible } (Qd) = 480l / s$$

$$\Rightarrow \text{Area posible de regar } (Ap):$$

$$Ap = \frac{480l / s}{1,39l / s / ha}$$

$$\Rightarrow Ap = 413,8 ha$$



Lo que indica que el caudal asignado sólo es suficiente para satisfacer las necesidades hídricas de 414 ha.

En este caso se tendrían varias opciones:

1. Sembrar la totalidad del área bajo el hecho de que 206 ha, mínimo durante uno de cada cuatro años experimentarán un déficit hídrico de 475 mm, con sus respectivas consecuencias en cuanto a productividad.
2. Implementar un método de riego diferente al de inundación, de tal manera que se puedan disminuir las necesidades totales (Nt) al incrementar la eficiencia.
3. Destinar parte del área disponible para la construcción de un reservorio que permita almacenar agua durante los meses de mayor precipitación.
4. Buscar otras alternativas de suministro de agua como pozos subterráneos.

Estas opciones ayudarán a la realización de un análisis técnico-económico, que permitirá encontrar la mejor alternativa al proyecto. Además, se deberán tener en cuenta aspectos tales como costos de implementación, operación y mantenimiento de diferentes sistemas de riego; costos de exploración, construcción y operación de pozos de agua; costos de construcción, operación y mantenimiento de un reservorio.

Igualmente, si se opta por la alternativa del reservorio, se deberá tener en cuenta que su construcción sólo es posible si se tiene una determinada diferencia de nivel con respecto al área a regar; de lo contrario, se hace necesaria la utilización de sistemas de bombeo, lo cual hace poco viable el proyecto desde el punto de vista económico.

Al realizar el balance hídrico para una precipitación con una probabilidad de 25%, se tendrían los valores de precipitación que se podrían presentar en por lo menos uno de cada cuatro años. Este dato es de suma importancia, porque al complementado con otros análisis más detallados de intensidades de precipitación y tolerancia del cultivo a la inundación, sirve para determinar posibles requerimientos de infraestructura de drenaje:

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
P media (mm)	25.36	73.46	153.4	359.3	419.4	401.7	306.1	248.6	270.2	301.6	202.5	80.85	2634.1
P 25%	39,2	131,9	203,1	456,6	514,8	461,2	358,9	308,4	328,7	362,4	253,2	104,2	3147,5
ET (mm)	153,7	149,9	131,6	105,9	101,1	90	91,9	104,4	110,4	115,9	116,5	131,2	153,7

Realizando el balance hídrico para este valor de precipitación, se tiene:

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
P 25%(mm)	39,2	131,9	203,1	456,6	514,8	461,2	358,9	308,4	328,7	362,4	253,2	97,9
Pe (mm)	13.5	80.5	137.5	339.8	386.8	343.9	262.1	221.7	237.9	264.9	177.6	53.3
ET (mm)	153,7	149,9	131,6	105,9	101,1	90	91,9	104,4	110,4	115,9	116,5	131,2
Almacenamiento			5.9									
Déficit	140.2	69.4										30.4
Exceso				192.3	285.7	253.9	170.2	117.3	127.5	149	61.1	

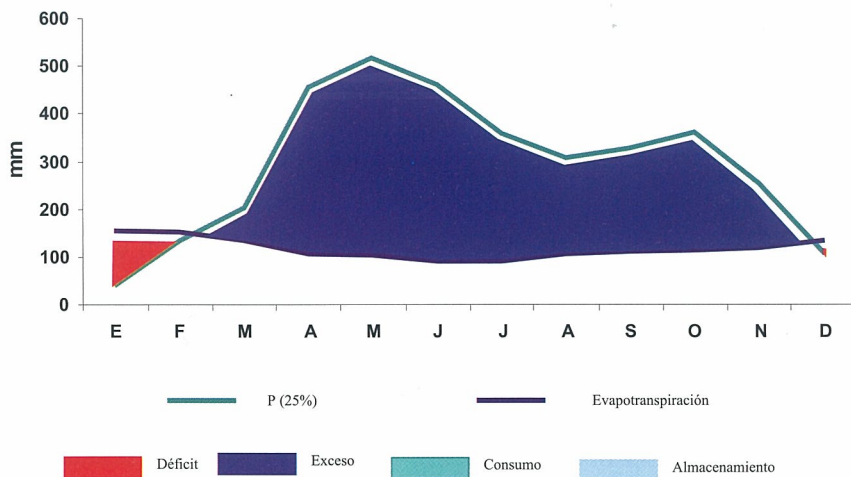


Figura 13. Balance hídrico agrícola con probabilidad de precipitación del 25% para la estación “La Libertad” (Villavicencio – Meta).

Se observa que en uno de cada cuatro años se presentarán excesos de hasta 286 mm mensuales. Este valor, combinado con los análisis comentados, definirán los requerimientos de infraestructura de drenaje para el establecimiento del cultivo.

Igualmente, bajo estas condiciones, el déficit hídrico total es de 240 mm; valor que puede ser considerable para representar un análisis con unos valores de precipitación altos (25%).

6. BALANCE HÍDRICO DIARIO

El balance hídrico diario difiere del climático y el agrícola en que, en vez de trabajar con registros históricos, utiliza la información que se genera día a día. Constituye una excelente herramienta para programar de manera eficiente y oportuna la aplicación de riego en las zonas donde éste se requiere. Además, sirve para programar la aplicación de fertilizantes y otras labores del cultivo que requieran el uso de maquinaria. Adicionalmente, permite identificar diferencias en regímenes de humedad del suelo entre zonas, elemento importante para generar explicaciones de comportamientos diferenciales de producción.

Para su realización, es necesario conocer la capacidad de almacenamiento del suelo, la cual está en función de su capacidad de retención de humedad, un punto crítico de tensión, la densidad aparente y la profundidad radicular. Igualmente, es importante disponer de la precipitación y la evapotranspiración a nivel diario.

El uso adecuado de esta herramienta contempla la utilización de datos con relativo nivel de precisión. Para su aplicación a nivel de lote, es importante identificar dentro de la red pluviométrica de la plantación, cuál pluviómetro es el que representa cada uno de los lotes. Además, es necesario conocer las propiedades de retención de humedad para cada uno de estos, y fidelidad de los datos de evapotranspiración, que serán determinados con una estación meteorológica o indirectamente, con un tanque evaporímetro.

Ejemplo 8:

Calcular el balance hídrico diario para el mes de julio en un lote que posee las características de retención de humedad del Ejemplo 1.

El suelo inicia el mes con una lámina disponible de 28 mm.

Profundidad efectiva: 60 cm

Densidad aparente del suelo: 1,5 g/cm³

Humedad gravimétrica a CC (0,3 atmósferas): 28%

Humedad gravimétrica a PMP (15 atmósferas): 16%

Humedad gravimétrica a PCT (1,5 atmósferas): 22%

$$LARA = \frac{(CC - PCT)}{10} * Da * P \Rightarrow LARA = \frac{(28 - 22) * 1,5 * 60}{10}$$

$$\Rightarrow LARA = 54 \text{ mm}$$

Día	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)	Día	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
1	0	6,56	17	0	5,65
2	0	6,94	18	30	6,38
3	0	5,31	19	0	6,38
4	0	5,96	20	0	6,38
5	0	5,96	21	0	6,13
6	0	9,99	22	0	4,48
7	0	6,03	23	0	4,67
8	18	5,21	24	0	5,1
9	0	6,6	25	45	4,56
10	0	5,62	26	0	5,1
11	0	7,37	27	40	4,62
12	0	7,37	28	0	4,89
13	0	7,36	29	30	4,56
14	0	5,82	30	0	5,8
15	0	6,35	31	0	7,1
16	0	6,2	Total	163	186,45

A continuación se realiza el balance hídrico teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- * Se considera que la precipitación efectiva que ingresa al balance hídrico es un 85% de la precipitación solamente si esta es menor a 20 mm.
- * La disponibilidad de agua puede llegar a ser negativa hasta un 25% del valor de su LARA, es decir 13,5 mm. Esto indica que cuando se agota la LARA, la tensión supera el valor crítico de 1,5 atmósferas. En ese momento, el cultivo comienza a disminuir su tasa de evapotranspiración, hasta un punto en el cual la tensión es tan alta que se hace nula.
- * Mientras se conocen con mayor detalle estas características para la palma de aceite, se sugiere que este punto sea el correspondiente al 25% de su LARA.
- * La evapotranspiración del cultivo es igual a la evaporación determinada en el tanque.

Día	P (mm)	Pe (mm)	Riego (mm)	ET (mm)	Lámina de agua disponible (mm)	Exceso (mm)	Déficit (mm)	Déficit Acumulado (mm)
1	0	0	0	6,56	28	0	0	0
2	0	0	0	6,94	21,06	0	0	0
3	0	0	0	5,31	15,75	0	0	0
4	0	0	0	5,96	9,79	0	0	0
5	0	0	0	5,96	3,83	0	0	0
6	0	0	0	9,99	-6,16	0	-9,99	-9,99
7	0	0	0	6,03	-12,19	0	-6,03	-16,02
8	18	15,3	0	5,21	-2,1	0	0	-16,02
9	0	0	0	6,6	-8,7	0	-6,6	-22,62
10	0	0	0	5,62	-13,5	0	-5,62	-28,24
11	0	0	0	7,37	-13,5	0	-7,37	-35,61
12	0	0	0	7,37	-13,5	0	-7,37	-42,98
13	0	0	0	7,36	-13,5	0	-7,36	-50,34
14	0	0	0	5,82	-13,5	0	-5,82	-56,16
15	0	0	0	6,35	-13,5	0	-6,35	-62,51
16	0	0	0	6,2	-13,5	0	-6,2	-68,71
17	0	0	0	5,65	-13,5	0	-5,65	-74,36
18	30	30	0	6,38	10,12	0	0	-74,36
19	0	0	0	6,38	3,74	0	0	-74,36
20	0	0	0	6,38	-2,64	0	-6,38	-80,74
21	0	0	0	6,13	-8,77	0	-6,13	-86,87
22	0	0	0	4,48	-13,25	0	-4,48	-91,35
23	0	0	0	4,67	-13,5	0	-4,67	-96,02
24	0	0	0	5,1	-13,5	0	-5,1	-101,12
25	45	45	0	4,56	26,94	0	0	-101,12
26	0	0	0	5,1	21,84	0	0	-101,12
27	40	40	0	4,62	54	3,22	0	-101,12
28	0	0	0	4,89	49,11	0	0	-101,12
29	30	30	0	4,56	54	20,55	0	-101,12
30	0	0	0	5,8	48,2	0	0	-101,12
31	0	0	0	7,1	41,1	0	0	-101,12

Del cálculo anterior, se observa la importancia del balance hídrico a escala diaria, puesto que permite identificar el momento en el cual la disponibilidad de agua ya amerita riego y de esta manera, su aplicación oportuna y eficiente. Igualmente, se observa que si el balance se realizara mensualmente, mostraría un déficit mínimo de 23,5 mm, debido a que la precipitación fue de 163 mm y la evapotranspiración de 186,5 mm. Sin embargo, precipitaciones como la del día 29, prácticamente se pierden ya que el suelo está cercano a la capacidad de campo.

A continuación se presenta una gráfica en la cual se hace más fácil de percibir lo que indica el balance hídrico:

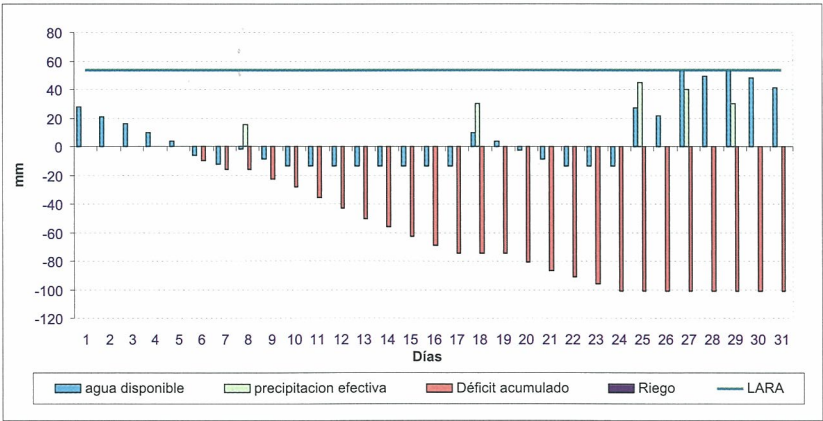


Figura 14. Balance hídrico diario para el mes de julio en una plantación palmera de la Zona Norte.

El día 6 debió aplicarse riego (Figura 14), puesto que la lámina de 28 mm con la que inició el mes se había agotado y, por tanto, se iniciaba una acumulación de déficit de agua que alcanzó a ser de 101 mm para el mes. A continuación se hace el mismo balance, pero con aplicaciones de riego en los momentos en que se requieren. Para efectos de cálculo se contabiliza la lámina de riego aplicada con un valor de 100 mm, valor que se puede considerar como normal, e incluso inferior para las condiciones de aplicación de riego por superficie en palma de aceite:

Día	P (mm)	Pe (mm)	Riego (mm)	ET (mm)	Lámina de agua disponible (mm)	Exceso (mm)	Déficit (mm)	Déficit acumulado (mm)
1	0	0	0	6,56	28	0	0	0
2	0	0	0	6,94	21,06	0	0	0
3	0	0	0	5,31	15,75	0	0	0
4	0	0	0	5,96	9,79	0	0	0
5	0	0	0	5,96	3,83	0	0	0
6	0	0	100	9,99	54	39,84	0	0
7	0	0	0	6,03	47,97	0	0	0
8	18	15,3	0	5,21	54	4,06	0	0
9	0	0	0	6,6	47,4	0	0	0
10	0	0	0	5,62	41,78	0	0	0
11	0	0	0	7,37	34,41	0	0	0
12	0	0	0	7,37	27,04	0	0	0
13	0	0	0	7,36	19,68	0	0	0
14	0	0	0	5,82	13,86	0	0	0
15	0	0	0	6,35	7,51	0	0	0
16	0	0	0	6,2	1,31	0	0	0
17	0	0	100	5,65	54	41,66	0	0
18	30	30	0	6,38	54	23,62	0	0
19	0	0	0	6,38	47,62	0	0	0
20	0	0	0	6,38	41,24	0	0	0
21	0	0	0	6,13	35,11	0	0	0
22	0	0	0	4,48	30,63	0	0	0
23	0	0	0	4,67	25,96	0	0	0
24	0	0	0	5,1	20,86	0	0	0
25	45	45	0	4,56	54	7,3	0	0
26	0	0	0	5,1	48,9	0	0	0
27	40	40	0	4,62	54	30,28	0	0
28	0	0	0	4,89	49,11	0	0	0
29	30	30	0	4,56	54	20,55	0	0
30	0	0	0	5,8	48,2	0	0	0
31	0	0	0	7,1	41,1	0	0	0

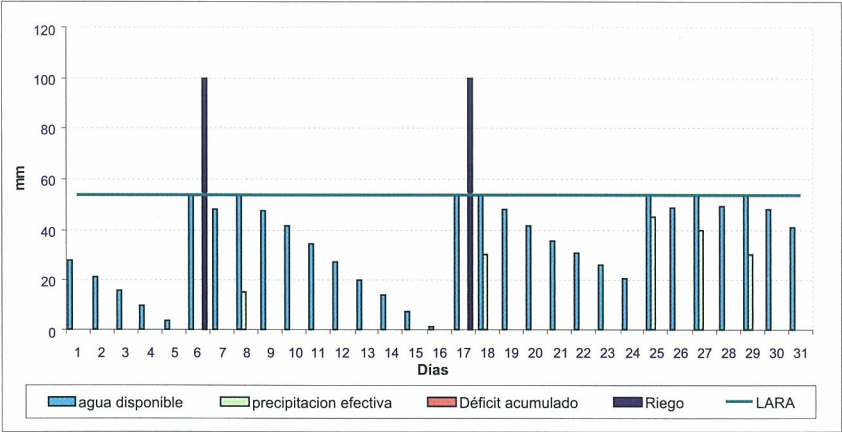


Figura 15. Balance hídrico diario para el mes de julio en una plantación palmera de la Zona Norte en donde se aplica riego según el agotamiento de la humedad del suelo.

En este caso, la realización de un balance hídrico diario permitió definir la aplicación oportuna de riego, logrando atenuar el déficit hídrico en su totalidad. Así, se concluye que se tiene un mes sin déficit hídrico en este lote y una reserva en el suelo de 41,1 mm para iniciar el mes siguiente.

Por último, se resalta nuevamente la importancia de utilizar la metodología planteada en este documento, como herramienta de uso diario para la planificación y utilización adecuada del recurso hídrico en el cultivo de la palma de aceite. Como se observa, es un proceso simple, pero que puede generar un alto impacto en términos productivos por la importancia ya comentada del agua en la producción de fruto.

Comentarios Finales

El desarrollo del boletín, muestra como con información que se obtiene mediante unos cálculos simples, se pueden generar interpretaciones de tanta utilidad para la definición de la viabilidad técnica y económica de proyectos de siembra de palma y para la programación del manejo del agua en el día a día de las plantaciones.

De esta manera, se espera que este documento se convierta en una guía de permanente consulta para los fines comentados, con lo que muy seguramente, se tendrán impactos positivos en la competitividad del sector palmicultor colombiano.

Como complemento a este documento, Cenipalma desarrolló una hoja de cálculo para el manejo del balance hídrico diario, la cual está disponible gratuitamente para las personas vinculadas con el manejo agronómico de las plantaciones. Además, se manifiesta la permanente disponibilidad de los investigadores del proyecto Manejo Integrado del Agua del Centro, para resolver inquietudes relacionadas con la aplicación de la herramienta en las diferentes plantaciones.



GLOSARIO

Capacidad de Campo (CC):

Punto en el cual un suelo posee sus microporos saturados y no es capaz de almacenar más agua. Esta humedad corresponde a una tensión entre 10 y 30 kPa (0,1 a 0,3 atmósferas).

Punto de marchitez permanente (PMP):

Punto en el cual un suelo posee una humedad tan baja que el cultivo no es capaz de tomar agua. Generalmente se considera que en este punto la tensión con que es retenida el agua es de 1500 kPa (15 atmósferas).

Agua aprovechable (AA):

Agua contenida entre el punto de marchitez permanente y la capacidad de campo. Es el agua que es capaz de almacenar el suelo.

Potencial osmótico:

Representa la capacidad energética del movimiento del agua por acción de los solutos contenidas en ella.

Capilaridad:

Propiedad de un cuerpo sólido de atraer a un líquido hasta cierta altura. Esto es debido a la adhesión, cohesión y tensión superficial donde el agua está en contacto con una superficie sólida.

Evapotranspiración:

Se define como la cantidad de agua usada por cada cultivo o vegetación natural en la formación de tejidos, en la transpiración a través de las hojas y en la evaporación directa a través de la superficie del suelo.

Interceptación:

En el contexto de la precipitación, se define como la fracción de esta, que es retenida por el follaje y no llega al suelo.

Isoyeta:

Se define como una línea imaginaria que une puntos en los cuales se presentan valores idénticos de precipitación.

Nivel freático:

Límite superior de agua gravitacional acumulada en el interior del suelo.

Bibliografía

ACOSTA, A. Estimación de patrones diarios de consumo de agua por las plantas, con base en mediciones detalladas de humedad y temperatura, en diferentes profundidades de suelo. Modelos matemáticos y sistemas de medición. En: Palmas, Vol. 22, No 3. Santafé de Bogota D.C. 2001. P 9.-27

ACOSTA, A. Efecto del déficit hídrico en el comportamiento de los patrones diarios de consumo de agua por la palma de aceite. En: Palmas, Vol. 21, Tomo 1. Santafé de Bogota D.C. 2000. P 117.

BURITICÁ, H. Manual de riegos y drenajes. Universidad Nacional de Colombia – sede Bogotá. Bogotá 1982.

BALDIÓN, José. Conceptos básicos y métodos de cálculo del balance hídrico. Instituto Colombiano de hidrología y meteorología y adecuación de tierras – HIMAT. Bogotá, 1987.

CENICAÑA. Avances técnicos para la programación y manejo del riego en caña de azúcar – Serie técnica No 19. Cali, 1996.

CORLEY, R.H.V.; HONG, T.K. Irrigation of oil palm in Malaysia. In: (E. Pushparajah; P.S. Chew, (Eds)). Of the international conference on the oil palm in agriculture in the eighties. Proceedings. PORIM, Kuala Lumpur. Vol5, p. 343-356. 1981.

DOORENBOS, J; PRUIT, W. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO: Riego y Drenaje. Boletín No 24. Roma, 1976.

FUENTES YAGUE, J.L. Técnicas de riego. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Ediciones mundi prensa. Segunda ed. Barcelona, 1996.

MEJIA, J. Consumo de agua por la palma de aceite y efectos del riego sobre la producción de racimos, una revisión de literatura. En: Palmas, Vol. 21, No 1. Santafé de Bogota D.C. 2001. P 51.-57

PIZARRO, F. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Editora agrícola española. Madrid, 1978.

VENT TE CHOW. Hidrología aplicada. Editorial McGRAW – HILL interamericana, Santafé de Bogota, 1994.

Este material es el resultado de los cursos
y talleres sobre Manejo Integrado del Agua para riego
comprendido dentro del Convenio de Cooperación
N° 00152 entre Cenipalma - Fedepalma - SENA y SAC.



Cenipalma Calle 21 No. 42C - 47. PBX 208 86 60 Fax: 368 11 52
Email: bogota@cenipalma.org - Bogotá D.C. - Colombia