

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 1 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos		APROBADO POR: Director Técnico Ambiental	

1. OBJETIVO

Describir detalladamente los pasos a seguir para desarrollar un balance entre la oferta y la demanda de agua en una zona.


2. DEFINICIONES

- **Acuífero.** Aquellos estratos o formaciones geológicas que permiten el almacenamiento y circulación del agua por sus poros o grietas para que pueda ser aprovechada por el hombre en cantidades económicamente apreciables para suplir sus necesidades.
- **Agua superficial.** Agua que ocupa parte de la superficie del suelo en forma de ríos, quebradas, lagos, pantanos, embalses, etc. Aquella que discurre o se encuentra estancada sobre el suelo.
- **Agua subterránea.** Se entiende por aguas subterráneas las ocultas bajo la superficie del suelo o fondo marino, que brotan en forma natural, como las fuentes y manantiales captados en el sitio de afloramiento o las que requieren para su alumbramiento obras como pozos, galerías filtrantes u otras similares.
- **Balance oferta – demanda de agua.** Este parámetro representado por la diferencia en el tiempo, entre la oferta del recurso y la demanda según su uso, permite identificar acciones y proyectos. Si el balance es positivo, existe la posibilidad de disponer de excedentes de una zona a otra que lo requiera. El balance negativo implica un déficit y por tanto es necesario plantear soluciones.
- **Balance hídrico.** Balance de entradas y salidas de agua en una zona hidrológica bien definida, tal como un embalse, un lago, etc., teniendo en cuenta el déficit o superávit de agua acumulada.
- **Capacidad de campo.** Se toma como capacidad de campo el contenido de humedad que retiene un suelo bien drenado entre uno o dos días después del riego, cuando prácticamente ha cesado el flujo de agua gravitacional.
- **Caudal.** Volumen de fluido que pasa en la unidad de tiempo a través de una superficie, en una corriente determinada.
- **Caudal ecológico.** Caudal necesario para mantener la diversidad acuática de una corriente natural de agua superficial, pues cualquier disminución del caudal en un cauce implica cambios en el ecosistema y por tanto una alteración del equilibrio.
- **Caudal medio.** El caudal medio o aporte de un río, es calculado como la media aritmética de las series de datos de caudal, este concepto depende en gran medida de la disponibilidad de información.
- **Coefficiente de cultivo (kc).** Representa la evapotranspiración de un cultivo en condiciones óptimas para producir máximos rendimientos. Los principales factores que inciden en el valor del coeficiente de cultivo son el tipo de cultivo, las fechas de siembra, el ritmo de desarrollo del cultivo, la duración del período vegetativo y las condiciones climáticas.
- **Cuenca hidrográfica.** Área físico–geográfica debidamente delimitada, en donde las aguas superficiales y subterráneas vierten a una red natural, mediante uno o varios cauces de caudal continuo e intermitentes los cuales confluyen, a su vez, en un curso mayor que puede desembocar a un río principal, en un depósito natural de aguas, en un lago o directamente en el

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 2 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	
				 Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

mar. El límite de una cuenca es la línea de divorcio de las aguas.

- **Curva de duración de caudales.** Representa la probabilidad de que un caudal sea igualado o excedido durante el período de análisis.
- **Demanda de agua.** La demanda de agua y su proyección de crecimiento, la determina básicamente su uso, que a su vez se rige por el mercado, la oportunidad y los escenarios probables que se consideran en los planes de desarrollo y ordenamiento territorial.
- **Derivación de agua.** Se entiende por derivación, el sitio de captación sobre una fuente de agua superficial a través de una obra de ingeniería destinada para controlar y regular el paso del agua a un sistema de conducción.
- **Disponibilidad de agua.** Asociada a la oferta se presenta la disponibilidad, en la cual se considera además de la cantidad de agua que ofrece la naturaleza, su calidad y la infraestructura existente para el aprovechamiento.
- **Escorrentía.** Parte de la precipitación que fluye por la superficie del terreno (escorrentía superficial) o por el interior del mismo (escorrentía subterránea).
- **Estación de aforos.** Estación donde se puede observar los niveles de la superficie libre de un espejo de agua. Los dispositivos usados pueden ser de lectura directa (limnímetros) o instrumentos registradores (limnógrafos).
- **Estación evaporimétrica.** Estación donde es posible medir la cantidad de agua evaporada por una superficie porosa en un tiempo determinado. Entre los instrumentos para medir la evaporación, se destaca el tanque de evaporación.
- **Evapotranspiración.** Cantidad de agua transferida del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas.
- **Isoyeta.** Línea que une puntos de igual cantidad de precipitación, se expresa en milímetros.
- **Lámina de agua.** Cantidad de agua expresada en altura de lámina de agua por metro cuadrado de superficie de suelo.
- **Oferta de agua.** La oferta del recurso agua es característica de factores climáticos y geográficos de cada zona en particular, varía significativamente en tiempo y espacio, su conocimiento detallado es un elemento fundamental para la definición de las zonas de reserva, déficit y superávit.
- **Precipitación.** Fenómeno físico que describe la transferencia de agua, en su fase líquida (lluvia) o sólida (nieve y granizo), entre la atmósfera y la superficie terrestre.
- **Precipitación media.** Lámina de agua promedio que cae en una cuenca o en área determinada.
- **Recarga.** Volumen de agua que recibe un acuífero por unidad de tiempo.
- **Riego.** Es la aplicación del agua al suelo para complementar la lluvia deficiente y proporcionar humedad para el crecimiento de las plantas.

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 3 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	
				

3. CONTENIDO

3.1. INTRODUCCIÓN

La comparación de la demanda del recurso agua generada por los diferentes usos (agrícola, doméstico, industrial, conservación de la vida acuática) en una zona, frente a la oferta de agua (lluvia, superficial y subterránea), permite identificar espacial y temporalmente situaciones de déficit y/o excesos de este recurso, dando lugar a posibles soluciones que contribuyan a su manejo, planificación y distribución adecuada en una región.

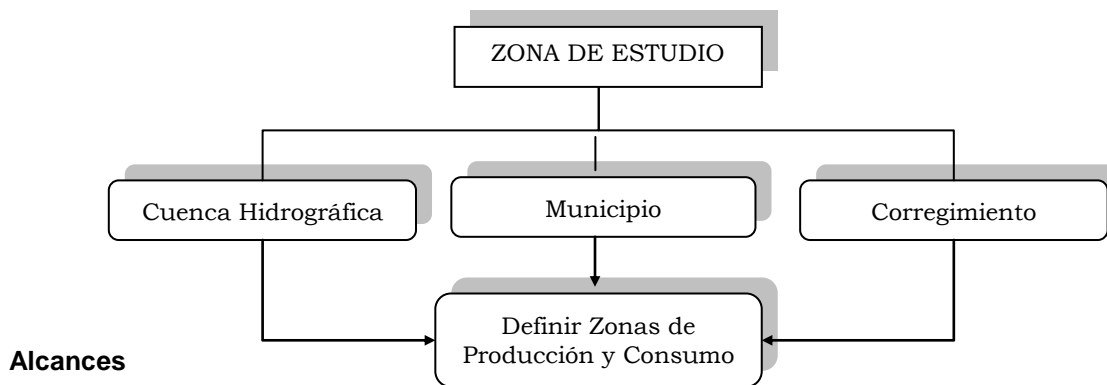
En el Departamento del Valle del Cauca, el Grupo de Recursos Hídricos de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca “CVC”, esta implementando una metodología para el cálculo del balance oferta – demanda de agua, donde inicialmente se efectúa un balance entre la demanda para uso agrícola y la precipitación media; con este balance se identifican los meses en los que la demanda supera el aporte de la precipitación, es decir, aquellos en los que se requiere de un volumen adicional de agua para satisfacer completamente los requerimientos de los cultivos. Una vez determinada la cantidad de agua requerida para cubrir las necesidades de los cultivos, se totaliza la demanda de agua incluyendo los usos doméstico e industrial, además de otros usos, y se realiza un balance entre esta demanda y la oferta tanto superficial como subterránea. Un resultado positivo del balance, permitirá plantear proyectos de distribución de agua, por el contrario, un resultado negativo, es decir, cuando las fuentes de agua existentes no suplen la demanda para una zona, se deben buscar posibles alternativas de aprovechamiento, abastecimiento y distribución.

Este documento es el resultado de la recopilación, revisión y análisis de las experiencias que ha obtenido el Grupo de Recursos Hídricos con el desarrollo de balances demanda – disponibilidad de agua en varios Municipios y cuencas del Departamento; contiene la descripción detallada de los pasos a seguir para desarrollar un balance entre la oferta y demanda de agua en una zona, estos son: Definición de la zona de estudio, Cálculo de la demanda de agua, Cálculo de la oferta de agua y Balance entre la oferta y demanda de agua. Adicionalmente se presenta un glosario de términos y un resumen que contempla los alcances, desarrollo, material de apoyo, consideraciones y recomendaciones, para llevar a cabo cada uno de los pasos.

3.2. PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE BALANCE OFERTA-DEMANDA

3.2.1. RESUMEN

PASO 1. ZONA DE ESTUDIO



- Identificar la zona en la cual se va a desarrollar el balance oferta – demanda de agua: Cuenca Hidrográfica, Municipio, Corregimiento.

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 4 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	



- Definir las zonas de producción (área de ladera) y consumo (área plana).

Desarrollo

- Establecer un límite para diferenciar las zonas de producción y consumo.
- Trazar las zonas de producción y consumo.
- Determinar el área de cada una de las zonas.


Material de apoyo para el desarrollo del Paso 1

- Cartografía con información de curvas de nivel y red hídrica.
- Cartografía con información predial y derivaciones de agua, resultado de los proyectos de distribución de agua (reglamentaciones).

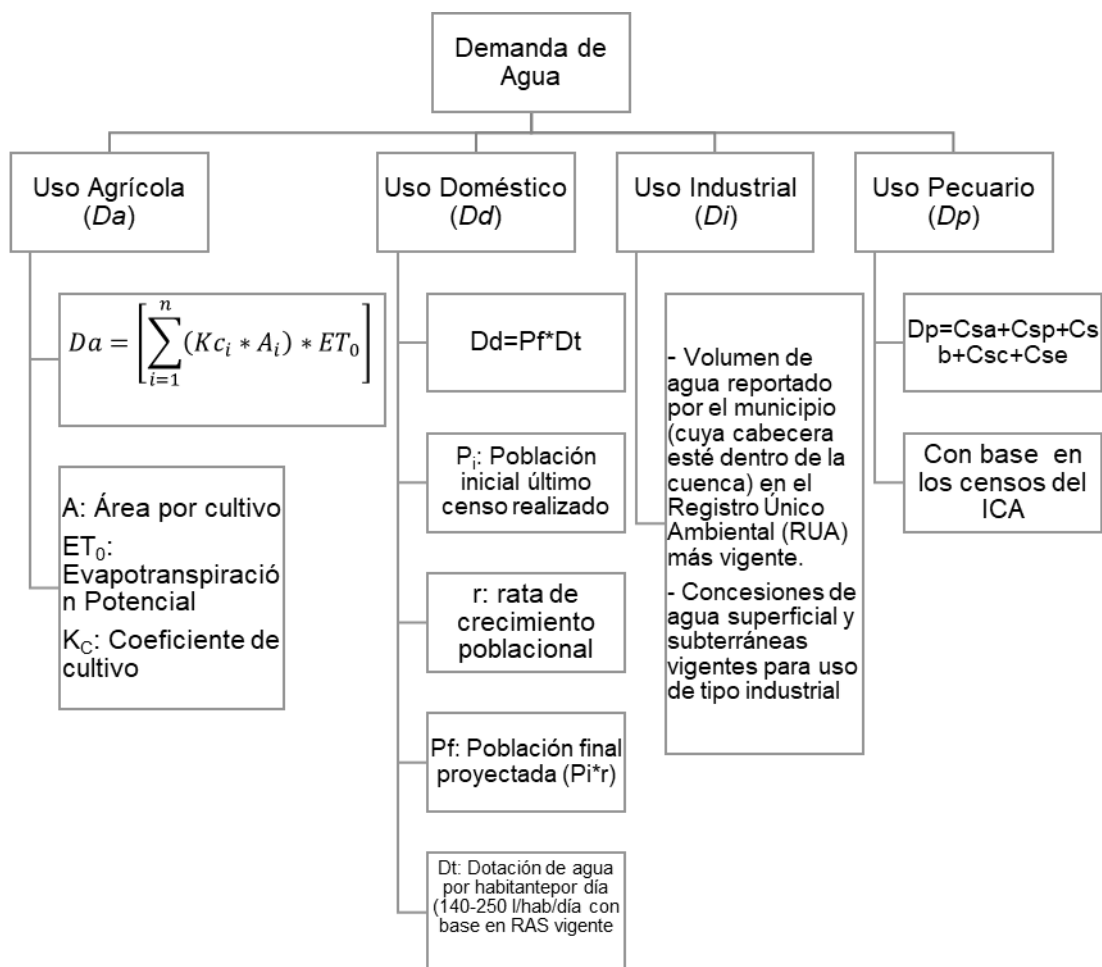
Consideraciones y Recomendaciones

- Trabajar con información digitalizada a escala 1:25.000 o 1:50.000.
- Establecer que la línea de piedemonte corresponde al límite entre las zonas productora y consumidora.

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 5 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	



PASO 2. DEMANDA DE AGUA



Alcances

- Calcular la demanda de agua para uso agrícola, doméstico, industrial y para otros usos.

Nivel de agregación

El cálculo de la demanda de agua deberá realizarse a nivel mensual y las unidades finales serán:

- En lámina de agua → Milímetros (mm).
- En caudal → Metros cúbicos por segundo (m³/s).
- En volumen → Millones de metros cúbicos (Mm³).

Desarrollo

Demanda de agua para uso agrícola

Cualquier copia impresa, electrónica o reproducción de este documento sin el sello de control de documentos se constituye en una COPIA NO CONTROLADA y se debe consultar al Grupo Gestión Ambiental y Calidad de la CVC para verificar su vigencia

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 6 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	
				 Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

- Determinar el área para las diferentes unidades de uso (actual o potencial) y cobertura del suelo en las áreas productoras y consumidora de la zona de estudio.
- Identificar las estaciones de medición con registros de evaporación localizadas en cercanías del sitio de interés.
- Calcular la evapotranspiración potencial o de referencia (ET_o).
- Elegir el coeficiente de cultivo (K_c).
- Calcular el requerimiento de los cultivos.
- Estimar la demanda de agua para uso agrícola en las zonas de producción y consumo.

Demanda de agua para uso doméstico

Para establecer la dotación se debe tener en cuenta lo estipulado en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) vigente.

- Consultar el último censo realizado para conocer la cifra de población existente en el Municipio, Cuenca Hidrográfica o Corregimiento.
- Si el censo no está actualizado, se debe obtener la tasa de crecimiento poblacional y calcular la población final proyectada.
- Establecer la dotación de agua por habitante por día.
- Estimar la demanda de agua para uso doméstico en la zona de estudio.

Demanda de agua para uso industrial

Volumen de agua reportado por el municipio cuya cabecera está dentro de la cuenca en el Registro Único Ambiental (RUA) más vigente.

Concesiones de agua superficial y subterránea para usos de tipo industrial.

- Determinar las cabeceras municipales ubicadas dentro de la cuenca de estudio.
- Verificar el volumen de agua reportado por dichos municipios en el RUA Manufacturero más reciente.
- En caso de que los municipios no hayan reportado al RUA, estimar la demanda de agua para uso industrial con base en las concesiones de agua superficial y subterránea otorgadas para dicho uso.

Demanda de agua para uso pecuario

- De acuerdo con el censo de especies pecuarias más reciente realizado por el ICA, establecer el número de animales presentes en cada cuenca.
- Asignar una dotación de agua a cada especie, de acuerdo con la bibliografía consultada al respecto.
- Estimar la demanda de agua para uso pecuario en las zonas de producción y consumo.

Csa= Consumo sector avícola
 Csp= Consumo sector porcícola
 Csb= Consumo sector bovino
 Csc= Consumo sector caprino
 Cse= Consumo sector equino

Material de apoyo para el desarrollo del Paso 2

- Cartografía con información de uso y cobertura del suelo.

Cualquier copia impresa, electrónica o reproducción de este documento sin el sello de control de documentos se constituye en una COPIA NO CONTROLADA y se debe consultar al Grupo Gestión Ambiental y Calidad de la CVC para verificar su vigencia

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 7 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	

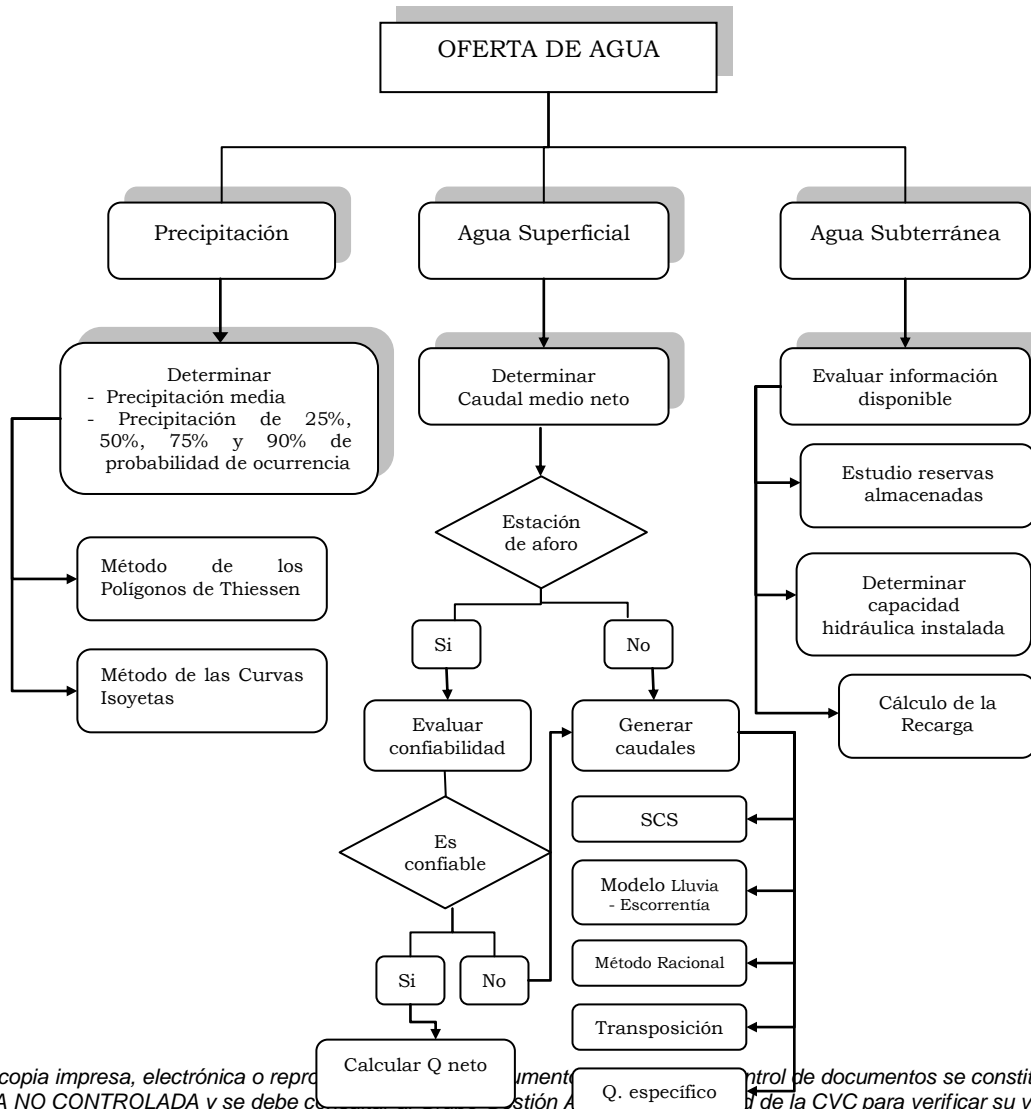



- Censos y proyecciones de población más recientes publicadas por el DANE.
- Censo de población de especies pecuarias más reciente realizado y publicado por el ICA.

Consideraciones y Recomendaciones

- Trabajar con información cartográfica actualizada.
- Adoptar el método del Tanque Evaporímetro para conocer la evapotranspiración potencial o de referencia (ET_o), aunque existen otros métodos: Blaney–Criddle, Penman, Makkink, Hargreaves, Thornthwaite, García López.
- En el caso de que no exista una estación con datos de evaporación confiables o que no esté ubicada cerca de la zona de trabajo, se recomienda determinar la evapotranspiración potencial o de referencia (ET_o) usando el diagrama de Holdridge para la clasificación de zonas de vida.
- Debido a que se presentan diferentes valores de coeficiente de cultivo (K_c), se debe determinar un valor estándar para cada cultivo, se adoptó trabajar con un K_c máximo para áreas menores a 1000 hectáreas y con un K_c promedio si el área es mayor a 1000 hectáreas.

PASO 3. OFERTA DE AGUA



GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 8 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	
				

Alcances

- Calcular la precipitación media para la zona productora y consumidora.
- Obtener la precipitación que corresponde a un 25%, 50%, 75% y 90% de probabilidad de ocurrencia.
- Determinar la oferta de agua superficial (zona de producción) y agua subterránea.

Nivel de agregación

El cálculo de la oferta de agua deberá realizarse a nivel mensual y las unidades finales serán:

- En lámina de agua → Milímetros (mm).
- En caudal → Metros cúbicos por segundo (m^3/s).
- En volumen → Millones de metros cúbicos (Mm^3).

Desarrollo

Precipitación media

- Obtener la serie de precipitación media.
- Realizar el análisis de probabilidad de ocurrencia de la precipitación (25%, 50%, 75% y 90%).

Oferta de agua superficial

Cuenca Hidrográfica

- Estimar la oferta de agua del río principal de la cuenca, así:
 - Determinar si existe un registro de caudales medidos en una estación de aforo y evaluar su confiabilidad.
 - Si se confirma que la información no es confiable o que no existe estación de medición, se debe generar caudales a través de alguna metodología establecida para tal fin.
 - Calcular el Q neto.
- Estimar el caudal ecológico, a través de la definición de un porcentaje de caudal que se debe mantener en la corriente, asociado al régimen de caudales característicos de la misma (régimen de estiaje). Para esto, se utiliza la metodología propuesta por el IDEAM en el documento "Metodología para el cálculo del índice de escasez de agua superficial"
- Estimar la oferta hídrica superficial neta, restándole a la oferta superficial disponible el caudal ambiental.

Municipio o Corregimiento

- Identificar las principales fuentes de abastecimiento de agua superficial.
- Determinar el aporte de cada una de las fuentes, así:
 - Determinar si existe un registro de caudales medidos en una estación de aforo y evaluar su confiabilidad.
 - Si se confirma que la información no es confiable o que no existe estación de medición, se debe generar caudales a través de alguna metodología establecida para tal fin.
- Calcular un factor de distribución para cada una de las fuentes identificadas en el punto 1.

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 9 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	

- Estimar la oferta de cada uno de los ríos en el Municipio o Corregimiento, afectando los caudales determinados en el punto 2 por el factor de distribución. Calcular Q neto.

Oferta de agua subterránea

- Identificar los pozos perforados en el área de estudio.
- Determinar la capacidad hidráulica instalada de aquellos pozos que se encuentran en funcionamiento.
- Estimar la disponibilidad de agua subterránea como un 75% de la capacidad total instalada en la zona de estudio.

Material de apoyo para el desarrollo del Paso 3


- Boletín hidroclimatológico de la CVC

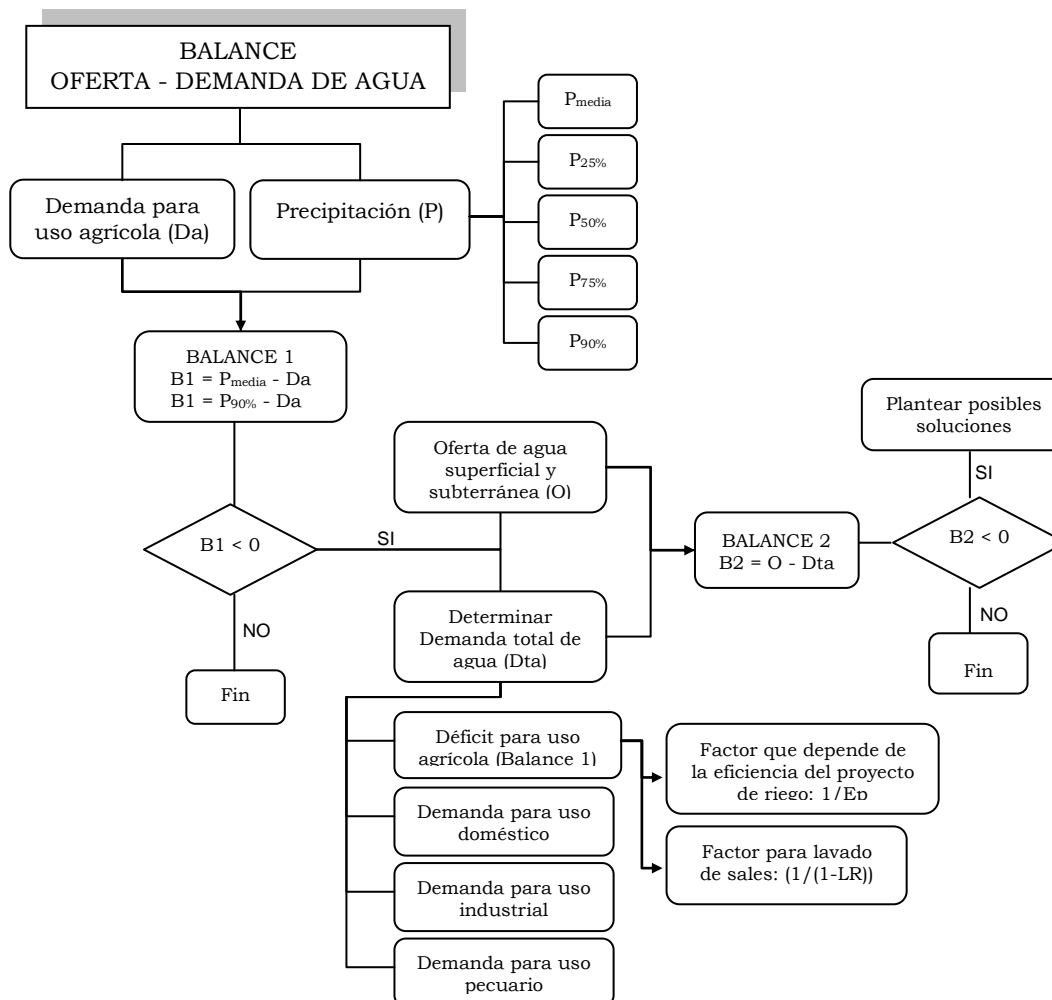
Consideraciones y Recomendaciones

- La precipitación media se puede calcular a través del método de los Polígonos de Thiessen ó el de curvas Isoyetas.
- Entre los métodos que se destacan para generar caudales se encuentran: Soil Conservation Service (SCS), Modelos Lluvia – Escorrentía, la Fórmula Racional, la Transposición de Caudales y los caudales Específicos. Sin embargo, no es conveniente estandarizar este cálculo, puesto que cada región de trabajo posee características muy particulares y este análisis depende de la información disponible.
- El uso de métodos convencionales como el SCS, debe ser cuidadoso y justificado mediante el resultado obtenido, ya que es una metodología empleada para generación de caudales máximos.
- El factor de distribución es el resultado de dividir el caudal asignado de un río para la zona de estudio por el caudal total asignado de ese mismo río. Los caudales asignados son definidos en los proyectos de distribución de agua (reglamentaciones).
- La disponibilidad de agua subterránea se ha estimado como un 75% de la capacidad total instalada en la zona de estudio, con el fin de evitar la sobreexplotación de los acuíferos. Sin embargo, se debe considerar la posibilidad de calcular la recarga a partir de los componentes del balance hídrico.
- Es posible realizar el balance oferta – demanda de agua empleando la curva de duración de caudales, con estos resultados se puede determinar el caudal de distribución para satisfacer los diferentes tipos de demanda en una zona.

PASO 4. BALANCE OFERTA – DEMANDA DE AGUA

Cualquier copia impresa, electrónica o reproducción de este documento sin el sello de control de documentos se constituye en una COPIA NO CONTROLADA y se debe consultar al Grupo Gestión Ambiental y Calidad de la CVC para verificar su vigencia

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 10 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	
				



Alcances

- Realizar el balance entre la oferta de agua (representada por la precipitación, las corrientes de agua superficial y las reservas de agua subterránea) y la demanda de agua (para uso agrícola, doméstico e industrial).


Nivel de agregación

El cálculo del balance oferta – demanda de agua deberá realizarse a nivel mensual y las unidades finales serán:

- En lámina de agua → Milímetros (mm).
- En caudal → Metros cúbicos por segundo (m³/s).
- En volumen → Millones de metros cúbicos (Mm³).

Desarrollo

Cualquier copia impresa, electrónica o reproducción de este documento sin el sello de control de documentos se constituye en una COPIA NO CONTROLADA y se debe consultar al Grupo Gestión Ambiental y Calidad de la CVC para verificar su vigencia

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 11 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos		APROBADO POR: Director Técnico Ambiental	

- Efectuar un balance entre la demanda de agua para uso agrícola y la precipitación media bajo dos escenarios de probabilidad de ocurrencia.
 - Escenario 1: Balance entre la demanda de agua para uso agrícola y el aporte por precipitación media mensual.
 - Escenario 2: Balance entre la demanda de agua para uso agrícola y la precipitación correspondiente al 90% de probabilidad de ocurrencia.
- Establecer los meses con déficit de agua, es decir, los meses en los que el resultado del balance anterior es menor que cero (bajo los dos escenarios de ocurrencia de la precipitación).
- El déficit anterior se debe suplir con la oferta de agua superficial y subterránea a través de los sistemas de riego; por lo tanto, el agua adicional que se debe suministrar a los cultivos para garantizar la demanda requerida, se determina involucrando un factor que varía según el método empleado y que tiene en cuenta diversos factores que dependen de la eficiencia del proyecto (aplicación, conducción y distribución del agua).
- Determinar la demanda total de agua, correspondiente a los usos doméstico, industrial, pecuario y a la cantidad de agua adicional para los cultivos.
- Realizar un segundo balance entre la demanda total de agua y la oferta representada por el aporte de agua superficial y subterránea.

Consideraciones y Recomendaciones

- Además del factor que depende de la eficiencia del proyecto de riego, se debe evaluar si existe la necesidad de lixiviar sales acumuladas en la zona de trabajo. Se ha estimado la fracción para el lavado de sales en 15%.
- El segundo balance se realiza para la zona consumidora, que es donde se implementan los sistemas de riego para suplir las necesidades de agua de los cultivos. Generalmente en la zona de producción las necesidades de agua se satisfacen solo con la precipitación.
- Si el segundo balance presenta déficit de agua, es necesario plantear posibles alternativas de solución, entre las que se encuentran:
 - Manejo adecuado del recurso a través del mejoramiento de las eficiencias de los proyectos de riego.
 - Regulación de agua mediante el almacenamiento en épocas de lluvia para emplear este recurso en épocas de verano.
 - Captación de agua de otras fuentes.

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 12 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	

3.2.2. PROCEDIMIENTO DETALLADO

PASO 1. ZONA DE ESTUDIO

Para realizar el balance entre la oferta y demanda de agua en una cuenca hidrográfica, Municipio o Corregimiento es necesario definir dos zonas:

- ◆ *Zona de producción.* Es la zona alta o de ladera, que es donde se concentra en mayor medida los nacimientos de agua, y se conoce como zona productora.
- ◆ *Zona de consumo.* Es la zona baja, en la cual se registra el mayor consumo de agua, debido principalmente a la explotación agrícola, y se conoce como zona consumidora.

En el Departamento del Valle del Cauca, se ha establecido que el límite entre las zonas de producción y consumo corresponde a la línea de piedemonte que, topográficamente, diferencia las regiones con pendientes superiores al 7% (zona productora de caudales naturales), de aquellas con pendientes entre 0 y 7% (zona consumidora).

El establecimiento de la zona productora debe apoyarse en cartografía con información de curvas de nivel y red hídrica; y el de la zona consumidora debe apoyarse en planos de reglamentación de corrientes superficiales, donde es posible identificar las derivaciones de agua y los predios que se abastecen de ellas.

PASO 2. DEMANDA DE AGUA

La demanda de agua en una zona, está representada por la cantidad de agua necesaria para desarrollar diferentes actividades sociales y económicas donde se requiere de este recurso:

- ◆ *Actividades agrícolas.* Los cultivos requieren de agua para efectuar los procesos fisiológicos, de transpiración, transformación de tejidos y alcanzar el apropiado desarrollo de las plantas.
- ◆ *Actividades domésticas.* Una población o comunidad necesita de agua para abastecer sus necesidades de consumo de agua potable y uso doméstico.
- ◆ *Actividades industriales.* Para llevar a cabo actividades correspondientes al sector dedicado a la industria es fundamental el uso del recurso agua.
- ◆ *Actividades Pecuarias.* Para llevar a cabo actividades correspondientes al sector pecuario.
- ◆ *Otros usos.* Existen otras demandas de agua, entre ellas la representada por los requerimientos mínimos de agua para conservar la biodiversidad existente en los cauces de agua superficial.

DEMANDA DE AGUA PARA USO AGRÍCOLA

Para lograr un aprovechamiento eficaz del agua, se deben proporcionar unas condiciones óptimas de humedad del suelo para el crecimiento de las plantas, esto conlleva al cálculo de la demanda de agua para el sector agrícola, que corresponde a la demanda de agua por uso del suelo. El agua lluvia sufre parte de esta demanda, la lámina faltante se aplica a través de los sistemas de riego.

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 13 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos		APROBADO POR: Director Ambiental	TÉCNICO: Técnico



La expresión usada para el cálculo de la demanda de agua para uso agrícola, en los estudios que al respecto ha realizado la CVC, corresponde a la planteada por el CONSORCIO INCOL S.A. (Ref. 15). El fundamento básico es el producto entre la evapotranspiración y el coeficiente de cultivo (Kc).

La demanda de agua para satisfacer las necesidades agrícolas, está determinada por las condiciones climáticas de la región, representadas para este caso por la evaporación, y las características del cultivo, determinadas por el coeficiente de cultivo Kc que se establece según la velocidad del viento y la humedad relativa (Ref. 12).

A continuación se incluye una breve descripción sobre las variables que intervienen en el cálculo de la demanda de agua por uso agrícola.

Evapotranspiración. La evaporación (proceso por el cual el agua pasa del estado líquido al gaseoso) y la transpiración (agua que se despiden en forma de vapor de las hojas de las plantas), constituyen las pérdidas de agua reales de un sistema agua – suelo – planta, éstas pérdidas se conocen como la *evapotranspiración* (EVT), la cual combinada con el agua que las plantas requieren para su nutrición y construcción de tejidos que representan aproximadamente solo el 1% de la EVT, conforman lo que se conoce como “*uso consuntivo*”.

Evapotranspiración potencial o de referencia (ETo). La ETo depende de la densidad de cobertura y de su estado de desarrollo, es por esto que *Thornthwaite* la definió como “la pérdida de agua que ocurriría si en ningún momento existiera una deficiencia de agua en el suelo para el uso de la vegetación” a lo que *Penman* añadió la condición de que la superficie estuviera totalmente cubierta por vegetación verde (Ref. 9). Comúnmente esta expresión se conoce también como evapotranspiración de referencia y con base en las condiciones anteriores responde a “la tasa de evapotranspiración desde una superficie extensa cubierta por pasto verde de altura uniforme entre 8 a 15 cm que crece en forma normal, cubre completamente el suelo con su sombra y no carece de agua” (Ref. 8).

Es muy difícil medir la EVT real, la cual es menor que la ETo, debido a que es casi imposible mantener la humedad del suelo y la cobertura vegetal de una zona. Sin embargo se han desarrollado varias fórmulas para predecir la ETo como la de Blaney–Criddle, Penman, Makkink, Hargreaves, Thornthwaite, García López y el Tanque Evaporímetro.

La elección del método a utilizar depende directamente del tipo y la disponibilidad de información que se posea. Uno de los métodos más ágiles y utilizados es el Tanque Evaporímetro o evaporímetro de cubeta, que relaciona la evaporación de una superficie libre de agua con la evapotranspiración potencial, debido a que estas dos variables están afectadas por los mismos factores meteorológicos: radiación, humedad, viento y temperatura, esta relación se hace mediante unos coeficientes de cubeta o tanque, Kt, obtenidos empíricamente y que tienen en cuenta el clima, el tipo de cubeta y su medio circundante. Entre los muchos tipos de tanque se ha escogido el tanque Clase A de los EE.UU, para el cálculo de la ETo por este método.

De acuerdo con esto se estima ETo mediante la siguiente expresión:

$$ETo = EVT * Kt \tag{1}$$

Donde: *ETo* : Evapotranspiración potencial (mm)
EVT : Evaporación de tanque (mm)
Kt : Coeficiente de tanque

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 14 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	
				 Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

Considerando las condiciones climáticas de nuestra región se usa un coeficiente de tanque, Kt definido por Penman entre 0.70 y 0.85. Se puede adoptar un Kt = 0.75.

En los casos donde no exista una estación evaporimétrica cercana a la zona de trabajo o la información de evaporación con que se cuenta no es confiable, se recomienda determinar la evapotranspiración potencial usando el diagrama de Holdridge para la clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales del mundo; estas zonas de vida son unidades homogéneas en aspectos de clima (temperatura, precipitación, humedad), pisos térmicos y de vegetación. En el **Anexo A** se presenta un breve resumen acerca de la clasificación de las zonas de vida de Holdridge.

Cobertura del suelo. Corresponde a la cobertura agrícola del suelo, para tal efecto, se determinan las áreas por cultivo en las zonas productoras y consumidoras, considerando la información cartográfica más actualizada.

Coefficiente de cultivo, Kc. Permite relacionar la transpiración del cultivo y la evaporación de la superficie del suelo. Los factores que repercuten en el valor del coeficiente del cultivo son principalmente las características del cultivo, las fechas de plantación o siembra, el ritmo de desarrollo del cultivo y la duración del período vegetativo, que es el tiempo transcurrido entre la siembra y la cosecha, y por supuesto, varía de un cultivo a otro. La evaporación es significativa al inicio del periodo vegetativo, cuando la cubierta que ofrece el cultivo al suelo es mínima.

Los valores de Kc, se encuentran detallados numérica o gráficamente en diversos documentos publicados, para nuestra región pueden escogerse aquellos definidos por una humedad relativa mayor al 70% y velocidad del viento entre 5 y 8 m/s.

Debido a que se presentan diferentes valores de Kc, se debe determinar un valor estándar para cada cultivo; como Kc está en función del área, se adoptó trabajar con un Kc máximo para áreas menores a 1000 hectáreas y con un Kc promedio si el área es mayor a 1000 hectáreas.

En el **Anexo B** se listan los valores de Kc máximo y algunos de Kc promedio para diferentes cultivos, los cuales se adoptaron de bibliografía consultada, teniendo en cuenta la descripción de la cobertura que se hace en los estudios en comparación con la realidad de las cuencas hidrográficas (Ref. 3, 12, 15).

Relacionando la expresión (1), con el Kc, se obtiene:

$$ET_{cultivo} = ETo * Kc \quad (2)$$

Donde:

$ET_{cultivo}$:	Evapotranspiración del cultivo (mm)
ETo	:	Evapotranspiración potencial (mm)
Kc	:	Coefficiente del cultivo

La expresión (2), representa por sí sola la demanda de agua por uso agrícola, según se ha definido el término “demanda”, simplemente hace falta tener en cuenta el área sembrada en cada cultivo para obtener la siguiente expresión:

$$Da = \left[\sum_{i=1}^n (Kc_i * A_i) \right] * ETo \quad (3)$$

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 15 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	



Donde: D_a : Demanda de agua para uso agrícola
 A : Área del cultivo
 E_{To} : Evapotranspiración potencial
 K_c : Coeficiente del cultivo

Hasta aquí se ha calculado la cantidad de agua que se le debe aplicar a los cultivos para satisfacer sus necesidades básicas, pero es necesario introducir un factor que depende del sistema de riego que se use en la zona y de los problemas de salinidad del suelo.

Sistemas de riego. La eficiencia del sistema de riego utilizado para suplir los requerimientos adicionales de agua del suelo, varía según el método empleado e involucra diversos factores que dependen de la eficiencia del proyecto (aplicación, conducción y distribución del agua).

La eficiencia del proyecto relaciona la cantidad real de agua almacenada en el suelo y que es directamente disponible para el cultivo con la cantidad total de agua aplicada a la tierra, difiere según el sistema de riego aplicado ya que métodos distintos, implican tasas de aplicación del agua distintas.

La eficiencia de distribución, es la relación entre la cantidad de agua que se recibe a la entrada del campo y la cantidad que sale de la fuente de suministro.

La eficiencia de conducción, relaciona la cantidad de agua captada desde la fuente de suministro y la cantidad real que llega al campo de irrigación.

La eficiencia de aplicación, se define como la relación entre el volumen de agua que está disponible para las plantas y el volumen recibido por ellas.

Una eficiencia del proyecto baja, se puede presentar cuando la tasa de aplicación excede la tasa de infiltración del suelo, produciéndose grandes pérdidas por escurrimiento. Esto trae consigo efectos adversos para las plantas si no se cuenta con la infraestructura de drenaje necesaria.

En resumen, la eficiencia del proyecto queda reflejada como el producto entre la eficiencia de conducción, distribución y aplicación.

Los sistemas de riego frecuentemente encontrados en el Departamento del Valle del Cauca son:

- ◆ **Riego por Gravedad.** Conocido también como riego continuo o por surcos, aplicado frecuentemente en el cultivo de caña de azúcar. Normalmente se manejan bajas eficiencias debido a que se continúa el suministro al inicio del surco, aun cuando el suelo ha llegado a capacidad de campo, para lograr que el agua llegue a la cola del surco.

“El riego de la caña de azúcar es una práctica comercial en el valle del río Cauca y puede llegar a representar entre el 50% y 60% de los costos de producción. La eficiencia de aplicación del riego es baja y rara vez se obtienen valores superiores al 40%, lo cual implica que se pierda más del 60% del agua aplicada” (Ref. 10).

El Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña), en cooperación con los Ingenios azucareros ha realizado investigaciones del riego por surcos alternos para ser aplicado en forma comercial, donde la mayoría de los experimentos de evaluación se han realizado en años bastante secos y en diferentes tipos de suelo. Esta práctica ha mejorado la eficiencia del riego por surcos hasta el 40% y 50%. En algunas evaluaciones realizadas se logró una economía del agua del 50% sin mostrar disminuciones en la producción de caña y azúcar (Ref. 11).

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 16 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos		APROBADO POR: Director Ambiental	TÉCNICO POR: Técnico



“El riego por surcos alternos es una práctica ampliamente estudiada que no tiene cuestionamiento económico y, como tal, **se recomienda** su adopción. En los suelos que se agrietan, el riego por surco alterno es viable al reducir el laboreo intensivo” (Ref. 10).

- ◆ **Riego por Aspersión.** No rebasa excesivamente las tasas previstas de evapotranspiración del cultivo, aunque aumenta la evaporación de las hojas húmedas y la superficie del suelo. Las pérdidas se presentan generalmente por la velocidad del viento en la zona de regadío. Es un sistema móvil que permite rotar el equipo y no sobrepasar el nivel de almacenamiento de humedad en el suelo. La eficiencia del riego por aspersión puede alcanzar valores altos, pero tiene un alto costo inicial debido a los sistemas de distribución y aplicación, el costo de la mano de obra y el mantenimiento de los equipos.
- ◆ **Riego por Goteo.** Es un sistema popular en aquellas regiones donde la disponibilidad de agua y mano de obra son bajas. Está definido como la aplicación frecuente y lenta de agua en la zona específica donde se encuentran las raíces de la planta. Solamente se moja una parte de la superficie del suelo, según el espaciamiento entre los árboles, mediante unos goteadores que proporcionan un caudal específico. Se puede variar la frecuencia y duración del riego en función de la evapotranspiración del cultivo y la tasa de infiltración del suelo. Se usa principalmente en árboles frutales. Maneja altas eficiencias de aplicación (>80%).

La determinación de la eficiencia en cada sistema depende de diversos factores tanto técnicos, como de calidad, programación y ejecución. En el documento publicado por CENICAÑA (Ref. 16) donde se tiene en cuenta la información recopilada en el sector azucarero de Colombia se presentan las siguientes eficiencias:

EFICIENCIA	RIEGO POR SURCOS	RIEGO POR ASPERSIÓN
Almacenamiento	85% - 90%	85% - 90%
Conducción	70% - 85%	70% - 85%
Aplicación	40% - 60%	60% - 80%

De acuerdo con el sistema de riego implementado se aplica una eficiencia del proyecto de 36% para riego por gravedad y 50,4% para riego por aspersión.


Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, la cantidad de agua adicional que se debe suministrar a los cultivos (empleando los diferentes sistemas de riego) para garantizar la aplicación de la demanda de agua requerida, se calcula así:

$$D = D_a * \text{Factor, esto es:}$$

$$D = D_a * (1/E_p)$$

Donde: D: Demanda de agua neta
 Da: Demanda de agua para uso agrícola
 Ep: Eficiencia del proyecto

Salinidad del suelo. El lavado de sales depende de la calidad de agua de riego, en relación con los elementos salinos disueltos y el estado de salinización de los suelos. Debido a la presión osmótica del agua salina, se puede reducir la absorción del agua por la planta, es por eso que al calcular la cantidad de agua requerida para suplir las necesidades de un cultivo debe tomarse en cuenta el agua que se precisa para la lixiviación de las sales acumuladas que dependen de la calidad del agua y los métodos de riego, las características del suelo y la pluviosidad.

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 17 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	
				

Para determinar este factor se tiene en cuenta el grado de tolerancia de los cultivos. Una calidad del agua pobre pudiera hacer necesario un riego frecuente y una lixiviación exagerada para obtener un máximo rendimiento.

La literatura ha definido ciertos criterios y fórmulas para conocer la lámina de agua para lavado de sales, una de ellas contempla la relación entre los valores de conductividad eléctrica del agua de riego y la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo, pero condicionado a suelos del tipo franco arenosos a franco arcillosos con buen drenaje y régimen de lluvias bajo, existe otra, que relaciona los datos de conductividad eléctrica del agua de riego con los niveles de producción alcanzados en una cosecha (Ref. 12). Las siguientes fórmulas calculan el porcentaje de agua necesario para lavado de sales:

Para sistemas de riego superficial (inclusive aspersión):

$$LR = \frac{EC_w}{5EC_e - E_w}$$

Para riego por goteo y aspersores de alta frecuencia:

$$LR = \frac{EC_w}{2(MaxEC_e)}$$

Donde: LR : Lámina de agua para lavado de sales (%)
 EC_w : Conductividad eléctrica del agua de riego (mmhos/cm)
 EC_e : Conductividad eléctrica de saturación del suelo para un cultivo determinado (mmhos/cm)

El lavado de sales se ha determinado en 15% (Ref. 15). Este factor se tendrá en cuenta siempre y cuando exista el precedente de la necesidad de lixiviar sales acumuladas, dependiendo del tipo de suelo, prácticas de riego y tipo de cultivo.

Para los meses de estiaje severo se ha estimado un factor de requerimiento adicional igual a 1.2 (20%) (Ref. 15). Esta fracción no se tiene en cuenta en los estudios realizados a nivel mensual ni en aquellas zonas donde no se presentan veranos prolongados.

De acuerdo con lo anterior, la demanda de agua neta debe afectarse por la siguiente expresión:

$$\frac{1}{1 - LR}$$

Donde: LR : Fracción para el lavado de sales

En el **Anexo C** se presenta el artículo titulado "Manejo de la Salinidad – Lecciones del pasado", el cual es una invitación para reflexionar acerca de las condiciones de los suelos en nuestra región.

DEMANDA DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO

La estimación de la demanda de agua requerida para consumo humano, se determina con base en la proyección de la población, tomando como punto de partida el último censo realizado y adoptando *Cualquier copia impresa, electrónica o reproducción de este documento sin el sello de control de documentos se constituye en una COPIA NO CONTROLADA y se debe consultar al Grupo Gestión Ambiental y Calidad de la CVC para verificar su vigencia*

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 18 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	



una dotación entre 140 y 250 litros por habitante por día (varía de acuerdo con la región en estudio y la oferta de agua para satisfacer la demanda), teniendo en cuenta labores de beneficio, eficiencia y riego de pequeñas parcelas. Para la estimación de dicha dotación se debe tener en cuenta lo dispuesto en el Reglamento de Agua y Saneamiento Básico (RAS) más vigente.

La demanda de agua para uso doméstico se obtiene con la siguiente ecuación:

$$Dd = Pf * Dt$$

Donde: Dd : Demanda de agua para uso doméstico
 Pf : Población final proyectada
 Dt : Dotación de agua por habitante día

DEMANDA DE AGUA PARA USO INDUSTRIAL

La determinación de la demanda de agua para uso industrial se basa en la información de consumo por parte de cada una de las industrias en la zona que se va a trabajar.

Para estimar esta demanda, se debe tener en cuenta el volumen de agua reportado por el municipio o municipios -cuya cabecera municipal se localice dentro de la cuenca estudiada- en el Registro Único Ambiental (RUA) más vigente. En el caso de que en la cuenca estudiada no se localice un municipio que reporte volúmenes de agua al RUA, se deben tener en cuenta las concesiones de agua superficial y subterránea vigentes que hayan sido otorgadas en la cuenca.

DEMANDA DE AGUA PARA USO PECUARIO

La estimación de esta demanda se realiza con base en los registros del censo pecuario más reciente realizado por el ICA. En dicho censo se muestra información del número de animales presentes en cada municipio y tiene en cuenta las especies aviarias, bovinas, caprinas, equinas, ovinas y porcinas. Debido a que la información está a nivel municipal, para estimar la demanda a nivel de cuenca, se debe determinar qué porcentaje de **zonas rurales** (se asume que la producción pecuaria solo se realiza en estas zonas) de cada municipio se encuentra presente en la cuenca y de esta forma se distribuyen proporcionalmente el número de animales de cada especie.

Para la dotación de agua necesaria para el desarrollo de cada animal, se recomienda adoptar los valores establecidos en la resolución N°112-1183 del 8 de abril de 2005 de la Corporación Autónoma de los ríos Negro y Nare "CORNARE" que establece los módulos de consumo básicos para los sectores productivos de la industria pecuaria.


PASO 3. OFERTA DE AGUA

La oferta de agua necesaria para satisfacer la demanda en una zona, está determinada por la precipitación, las corrientes de agua superficial y las reservas subterráneas existentes:

- ◆ **Precipitación.** La precipitación en una región, está sujeta a variaciones de acuerdo con los patrones generales de la circulación atmosférica y a factores locales como topografía, vientos, vegetación, entre otros; constituye el principal aporte para satisfacer la demanda agrícola de agua en una zona. El cálculo de la variación de la precipitación se realiza a partir de la serie de los registros pluviométricos medidos en las estaciones meteorológicas, aplicando el método de los Polígonos de Thiessen o las líneas Isoyetas.

- ◆ **Agua superficial.** Se define como el volumen de agua proveniente de la precipitación que puede

Cualquier copia impresa, electrónica o reproducción de este documento sin el sello de control de documentos se constituye en una COPIA NO CONTROLADA y se debe consultar al Grupo Gestión Ambiental y Calidad de la CVC para verificar su vigencia

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 19 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	
				

fluir sobre la superficie del suelo o en sus estratos más elevados o en forma subterránea para formar las corrientes superficiales de agua. El cálculo del aporte de agua superficial en una zona puede realizarse de manera directa si se cuenta con información proveniente de las estaciones de aforo, en caso contrario deben emplearse metodologías para generación de caudales.

- ◆ *Agua subterránea.* Aquella que circula y se almacena debajo de la superficie del suelo o del fondo marino o la que brota en forma natural, como las fuentes y manantiales captados en el sitio de afloramiento o las que requieren para su alumbramiento obras como pozos, galerías filtrantes u otras similares.

PRECIPITACIÓN

Este parámetro es de gran importancia dentro del cálculo del balance, por ser la principal entrada de agua al sistema hidrográfico.

La precipitación media es un valor medio de lámina de agua caída en la zona de estudio, dentro de un período de tiempo predeterminado; puede determinarse a través del método de los polígonos de Thiessen ó el de curvas Isoyetas.

- ◆ *Método de Polígonos de Thiessen.* Asume que en cualquier punto del área de influencia de cada estación de medición (representada por el polígono que se construye alrededor de la estación) la precipitación es igual a la registrada en la estación más cercana, así como que la profundidad registrada en una estación es aplicable a la distancia media a la estación más cerca en cualquier dirección. Este método es aplicable en zonas con una distribución irregular de estaciones, donde los accidentes topográficos no juegan un papel importante en la distribución de las lluvias (*Ref. 8*).
- ◆ *Método de Curvas Isoyetas.* Estas son curvas que pasan por puntos de igual precipitación, las cuales se determinan haciendo interpolaciones entre los datos registrados en estaciones pluviométricas ó pluviográficas adyacentes; es necesario realizar ajustes en el trazado por elevación y corrientes de vientos.

No toda el agua obtenida por precipitación es aprovechable por un cultivo debido a la cobertura del suelo y al proceso de escurrimiento, es necesario encontrar la fracción de lluvia que realmente es aprovechable por las plantas, o lo que se denomina *precipitación efectiva*. Teniendo en cuenta la dinámica del fenómeno de precipitación la FAO recomienda trabajar con una precipitación que responda a un 80% de confiabilidad.

Precipitación efectiva. Representa el porcentaje aprovechable de la lluvia total ya que no toda la lámina de agua precipitada llega a las plantas debido a pérdidas por intercepción de follaje, percolación profunda, evaporación y escorrentía rápida.

Se emplean diferentes criterios en diversos países para estimar la lluvia efectiva, como porcentaje de la total (*Ref. 12*).

- ◆ En la India, según uno de los métodos se considera que solamente son efectivas el 60% de las lluvias estacionales medias; en otro método, se equipara la lluvia efectiva a la lluvia media pero no se toma en consideración las lluvias diarias inferiores a 5 mm y las superiores a 75 mm en un día y a 125 mm en diez; tampoco se consideran efectivas las lluvias caídas después de 5 días del último riego.
- ◆ En Birmania, se considera que no son efectivas las lluvias diarias inferiores a 12 mm y que son efectivas en un 80% las superiores a 12 mm.

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 20 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos		APROBADO POR: Director Ambiental	TÉCNICO POR: Técnico



- ◆ En Tailandia, se consideran como efectivas el 80% de las lluvias de Noviembre y el 90% de Diciembre a Marzo.
- ◆ En el Japón, en el caso del arroz no inundado, se considera que las lluvias tienen una efectividad del 80%, pero las lluvias inferiores a 1.85 mm y superiores a 30 mm no se toman en consideración.
- ◆ En Viet-Nam, las lluvias diarias de menos de 5 mm y de más de 50 mm, se pasan por alto y se considera que no son efectivas las lluvias en días consecutivos que rebasan una evapotranspiración del cultivo de más de 50mm según la estación, se considera que las lluvias mensuales tienen una efectividad del 65 al 90%

Todos estos conceptos, aunque dadas las diferencias climáticas de nuestra región, sirven de guía de las diferentes opciones al elegir la cantidad de agua realmente aprovechable por las plantas, sin embargo, más aproximado es el método del *USDA* recomendado por la *FAO* (*Ref. 12*) que relaciona la precipitación y la evapotranspiración potencial del cultivo, aunque no tiene en cuenta la tasa de infiltración del suelo y la intensidad de la lluvia, por lo cual debe afectarse la lámina de agua, por un factor de corrección. En los cálculos realizados hasta el momento en CVC, se ha utilizado una precipitación efectiva de 75 y 80%.

Con el fin de visualizar distintos escenarios asociados a probabilidades de ocurrencia de la lluvia y su impacto dentro del balance oferta – demanda de agua, se realiza un análisis de sensibilidad determinando la precipitación media que corresponde a un 25%, 50%, 75% y 90% de probabilidad de ocurrencia.

AGUA SUPERFICIAL

El comportamiento hidrológico de los cauces ha sido objeto de estudio durante mucho tiempo; la determinación exacta del caudal o aporte de un río, depende de la exactitud de la medida y el cálculo del caudal, de la variación del mismo, de la duración del período de observaciones y de la densidad de la red de estaciones de aforo.

El caudal medio o aporte de un río, calculado como la media aritmética de una serie de datos, es un concepto que depende en gran medida de la disponibilidad de información. Considerando lo anterior, se enuncian a continuación algunas metodologías para conocer el caudal medio, teniendo en cuenta las situaciones que se puedan presentar:

- ◆ Situación 1: Cuando hay suficiente información hidrológica. En la zona de estudio existe un registro de caudales medidos en una estación de aforos.
- ◆ Situación 2: Cuando hay suficiente información hidrológica, pero no es representativa. En la zona de estudio existe un registro de caudales medidos en una estación de aforos ubicada aguas abajo de derivaciones de agua, esto hace que los caudales registrados sean deformados y por tanto no representan el comportamiento hidrológico real en una zona.
- ◆ Situación 3: Cuando la información es escasa. Se dispone de información de caudal en una estación de aforos, pero está incompleta, existe solo para ciertos períodos de registro o es excesivamente corta.
- ◆ Situación 4: Cuando no hay información. No existe estación de medición de caudales en la zona de estudio.

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 21 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	

En la *Situación 1* es necesario realizar una evaluación de confiabilidad de la información hidrológica registrada.

En las *Situaciones 2, 3 y 4*, es necesario estimar los caudales, para lo cual se pueden seguir algunas metodologías como la del Soil Conservation Service (SCS), la aplicación de un Modelo Lluvia – Escorrentía, la Fórmula Racional, la Transposición de Caudales y los caudales específicos.

Caudal medido en la estación de aforo. En la estación de aforo no se registra directamente el caudal. En lugar de esto, se registra el nivel de agua y el caudal se deduce por medio de una curva de calibración, la cual se desarrolla utilizando un conjunto de mediciones de caudal y de altura de estación en la corriente, medidas que deben hacerse a lo largo de un período de meses o de años de tal manera que se obtenga una relación precisa entre el flujo volumétrico o caudal, y la altura de la estación en un sitio de medición (*Ref. 8*).

Los registros de caudal de una estación de aforo son coleccionados y publicados en forma de resúmenes diarios, mensuales y anuales; esta información puede presentar errores resultantes de deficiencias en los instrumentos de medición y en las observaciones, por ello debe analizarse la confiabilidad de los datos medidos:

- ◆ *Estimación de datos faltantes.* Para llevar a cabo la estimación de datos faltantes existen varias metodologías:
 - Método de las proporciones normales.
 - Método del promedio aritmético.
 - Método de la interpolación.
 - Método de las correlaciones.
- ◆ *Análisis de consistencia.* Para evaluar la consistencia de los datos, generalmente se usa el método de las dobles masas o análisis doblemente acumulativo.

Estimación del caudal. En las corrientes en las cuales no hay estación de medición deben generarse caudales a partir de la información disponible y mediante alguna de las metodologías establecidas para tal fin.

- Método del Soil Conservation Service (SCS). Uno de los métodos para obtener la escorrentía superficial es el del Número de Curva. Este método fue elaborado por U.S. Soil Conservation Service y se basa en la estimación directa de la escorrentía superficial de una lluvia, a partir de las características del suelo, uso del mismo y de su cobertura vegetal.

Se supone que cada uno de los complejos suelo – vegetación se comporta de una misma forma frente a la infiltración. En un complejo suelo – vegetación totalmente impermeable toda la precipitación se convierte en escorrentía superficial. Por el contrario, un complejo totalmente permeable no daría escorrentía fuera cual fuere el valor de la precipitación (*Ref. 17*).

Si se denomina F a la infiltración que se ha producido una vez superado el umbral de escorrentía; S al potencial de infiltración; P a la lluvia total acumulada; Q a la escorrentía directa; I_0 a la deducción inicial, lluvia caída antes de que la escorrentía se inicie.

$$F = P - I_0 - Q$$

y P_0 a la precipitación efectiva

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 22 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	



$$P_o = P - I_o$$

El U.S. Soil Conservation Service admite experimentalmente que:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P_o}$$

Llegando a:

$$Q = \frac{(P - I_o)^2}{P - I_o + S}$$

De la observación de numerosas cuencas agrícolas, el U.S. Soil Conservation Service ha deducido que:

$$I_o = 0.2 S$$

Por lo que se obtiene:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Para la obtención del valor de S se utiliza el Número de Curva y la expresión:

$$S = \left(\frac{1000}{CN} \right) - 10 \quad \text{en pulgadas}$$

$$S = \left(\frac{25400}{CN} \right) - 254 \quad \text{en milímetros}$$

De esta forma es posible obtener la escorrentía directa Q en milímetros, que produce una lluvia de P milímetros, sobre un complejo suelo – vegetación identificada con Número de Curva CN.

El escurrimiento total o caudal de una corriente está compuesto por el escurrimiento directo y el escurrimiento base; este último está compuesto por el escurrimiento subterráneo y subsuperficial lento.

Los valores de escorrentía directa se transforman a escorrentía real (total) en m³/s teniendo en cuenta el área de aferencia de la zona de estudio y el caudal base, así:

$$Q = 3.86 \times 10^{-4} \times \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \times A + Q_b$$

$$S = \left(\frac{25400}{CN} \right) - 254 \quad \text{en milímetros}$$

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 23 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	



Donde:	<i>P</i>	:	Precipitación media (mm/mes)
	<i>S</i>	:	Infiltración potencial (mm/mes)
	<i>CN</i>	:	Número de escurrimiento
	<i>A</i>	:	Área de aferencia (Km ²)
	<i>Q_b</i>	:	Caudal base (m ³ /s)
	<i>Q</i>	:	Escorrentía real (m ³ /s)

- Fórmula Racional. Esta metodología se usa ampliamente en nuestro medio debido a su aparente simplicidad, aunque se limita a áreas pequeñas y proyectos de drenaje. Consiste en que la determinación del caudal es el producto de la intensidad de lluvia, el coeficiente de escorrentía y el área de una zona.

$$Q = \frac{C * I * A}{3.6}$$

Donde:	<i>Q</i>	:	Caudal (m ³ /s)
	<i>C</i>	:	Coeficiente de escorrentía
	<i>I</i>	:	Intensidad máxima de precipitación (mm/hora)
	<i>A</i>	:	Área de la zona (Km ²)

- Transposición de Caudales. La información registrada en una área con características similares y una estación de medición confiable, puede ser afectada por un factor de transposición del área de interés.

El factor de transposición se determina como el producto de un factor de área y un factor de precipitación.

$$F_t = F_a * F_p$$

Donde:	<i>F_t</i>	:	Factor de transposición
	<i>F_a</i>	:	Factor de área = $\frac{\text{Área zona vecina}}{\text{Área zona de estudio}}$
	<i>F_p</i>	:	Factor de precipitación = $\frac{\text{Precipitación zona vecina}}{\text{Precipitación zona de estudio}}$

- Caudal Específico. En forma similar al anterior, este método involucra registros de precipitación y de caudal en una zona, para calcular caudales en áreas pertenecientes a la misma zona, cuyas características físicas y climáticas sean similares.

La expresión corresponde a:

$$Re = \frac{(Q / A)}{P_m}$$

Donde:	<i>Re</i>	:	Rendimiento específico (l/s/ha/mm)
	<i>Q</i>	:	Caudal (l/s)
	<i>A</i>	:	Área de drenaje (ha)
	<i>P_m</i>	:	Precipitación media de la zona (mm)

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 24 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	



Una vez obtenido el rendimiento específico que produce una zona, se determina la disponibilidad hídrica en el área de interés, a través de la siguiente expresión:

$$Qa = Re \times A \times Pm$$

Donde:

Qa : Caudal para el área de interés (l/s)
 Re : Rendimiento específico (l/s/ha/mm)
 A : Área (ha)
 Pm : Precipitación media del área de interés (mm)

- **Modelo Lluvia – Escorrentía.** Los modelos conceptuales de escorrentía pueden ser muy útiles para la evaluación de la oferta espacial y temporal del agua en una región, ya que ellos calculan escorrentía teniendo como entrada principal los datos de precipitación, por medio de una cuantificación de los procesos físicos más dominantes a través de una serie de funciones matemáticas. A través de un modelo es posible simular en forma continua los caudales en una zona, para períodos de tiempo tan largos como las series disponibles de datos de entrada.

Existen gran cantidad de modelos lluvia – escorrentía, los cuales utilizan diferentes parámetros, algunos como precipitación media, evapotranspiración, condiciones de humedad del suelo, vegetación, etc. En este sentido, la CVC ha instalado y calibrado el modelo hidrológico Lluvia – Escorrentía “HBV”, creado en el año de 1970, para la simulación de caudales y pronóstico hidrológico. El modelo contiene las siguientes subrutinas: Humedad del suelo, Generación de escurrimiento, Tránsito de Muskingum, Acumulación y Fusión de nieve. Ha sido calibrado para la cuenca alta del río Cauca, comprendida desde el Embalse de Salvajina en el Departamento del Cauca hasta el Municipio de Cartago en el Departamento del Valle del Cauca. El parámetro de mayor importancia para su funcionamiento es la precipitación (*Ref. 13*).

Algunos de los objetivos de la aplicación del modelo HBV en la CVC, son:

- ◆ *Optimización de la operación del Embalse de Salvajina.* Pronóstico de caudales a corto, mediano y largo plazo aguas arriba del Embalse de Salvajina.

El Embalse de Salvajina está localizado en el corregimiento de Suárez, Municipio de Buenos Aires, Departamento del Cauca, a 65 Km al sur de Santiago de Cali en el Departamento del Valle del Cauca. Permite la regulación del río Cauca para controlar las inundaciones, generación de energía eléctrica y alivio de la contaminación de las aguas.

- ◆ *Elaboración de estudios hidrológicos detallados.* Generación de series diarias de caudal en sitios de interés y en cualquier punto sobre los tributarios del río Cauca, en el área de jurisdicción de la CVC.
- ◆ *Evaluación y optimización de la red hidroclimatológica existente.* El modelo es una herramienta que permite utilizar la información en tiempo real de las estaciones automáticas y el total de los datos disponibles para el resto de las estaciones, midiendo la sensibilidad de cada una en los resultados obtenidos en un sitio determinado.
- ◆ *Control de calidad de la información de precipitación y caudal.* El modelo es versátil en el manejo de la información, la base de datos incluye los registros diarios de precipitación y caudal, los cuales pueden ser analizados fácilmente, detectando inconsistencias, haciendo más sencilla la depuración de la información.

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 25 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	
				 Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

Con la información de caudales medios registrados en las estaciones de aforo ó estimados con alguna de las metodologías expuestas anteriormente, es posible trazar la curva de duración de caudales diarios mediante la cual se establece el comportamiento temporal del caudal y permite tomar decisiones de abastecimiento en los períodos secos.

- Curva de duración de caudales. La curva de duración de caudales indica el número de días del año, ó períodos en términos de porcentaje del tiempo en que un determinado caudal es excedido en magnitud, esto se define como probabilidad.

Una curva de duración de caudales se construye graficando la relación de los caudales medios de una corriente, ordenados por su magnitud, contra la frecuencia de ocurrencia del evento en términos de porcentajes del total.

Con los resultados de la curva de duración de caudales se puede determinar el caudal de distribución con el fin de suministrar agua para los diferentes tipos de demanda en una zona. Actualmente la CVC trabaja con un caudal entre el 70% y 85% de la curva de duración de caudales en los proyectos de distribución de agua. Para efectos de realizar el balance oferta – demanda de agua empleando la curva de duración de caudales, se debe realizar una comparación teniendo en cuenta la curva de duración trazada con todos los datos de caudal medio diario de determinado período de registro y la curva de duración de caudales de los meses críticos, que son realmente los períodos donde se presentan conflictos por la distribución del agua.

- Factor de distribución. Hay corrientes de agua superficial que son fuente de abastecimiento para varias zonas, es el caso de las áreas municipales y de los Corregimientos por los cuales cruza una misma corriente o que tienen como límite un río en común, por ejemplo: los Municipios de Florida y Candelaria en el Departamento del Valle del Cauca, tienen como principal fuente de abastecimiento los ríos Párraga, Fraile y Desbaratado, siendo éste último límite entre los Departamentos del Valle del Cauca y Cauca.

Por lo anterior, para determinar la oferta de agua superficial de un Municipio ó Corregimiento, se debe identificar cuáles son las principales fuentes de abastecimiento de agua superficial, calcular el aporte de cada una y afectarlo por un factor de distribución. El factor de distribución es el resultado de dividir el caudal asignado del río para la zona de estudio por el caudal total asignado, los cuales son definidos en los proyectos de distribución de agua.

$$\text{Factor de distribución} = \frac{\text{Caudal asignado de la corriente para el Municipio}}{\text{Caudal total asignado de la corriente}}$$

AGUA SUBTERRÁNEA

El conocimiento de los recursos de las aguas subterráneas, la variación de sus reservas, su explotación racional y su conservación son de vital importancia para la valoración del desarrollo agrícola, económico e industrial de una región. Su explotación racional exige una evaluación de los recursos explotables, cuyo cálculo se basa en la estimación de las reservas, es decir del volumen de agua que se puede extraer.

Esta determinación requiere el cálculo de diferentes parámetros de tipo hidrológico e hidráulico. A continuación se describen los pasos a seguir.

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 26 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	



- ◆ *Determinar la geometría del acuífero.* Se hace con el establecimiento del área, espesor y porosidad, mediante la expresión:

$$V = A * h * m$$

Donde:

<i>A</i>	:	Área del acuífero (km ²)
<i>h</i>	:	Espesor (m)
<i>m</i>	:	Porosidad eficaz
<i>V</i>	:	Volumen (Mm ³)

Para calcular el espesor del acuífero es necesario determinar las correlaciones estratigráficas mediante secciones de perfiles de varios pozos, y a través del análisis de los perfiles litológicos. Este es un análisis que debe realizarse tanto para los pozos que estén captando de la unidad A como para los pozos perforados a más de 180 m de profundidad, captando de la unidad C. Igualmente permiten la consolidación de los volúmenes isópacos, es decir, el establecimiento del volumen de agua confinado en la sección.


- ◆ *Cálculo de la recarga natural.* Se debe calcular la recarga del acuífero a través de la infiltración de aguas superficiales, la descarga de aguas subterráneas a los cauces, el agua que retorna por riego, la explotación (bombeos y tomas), el caudal que entra y sale por los límites y la variación en el almacenamiento. Es necesario establecer un balance hídrico para conocer el factor residual que equivale al caudal que se pierde por infiltración, esto implica la determinación y análisis de la precipitación, evapotranspiración y escurrimiento directo. Para la determinación de la descarga de aguas subterráneas a los cauces y viceversa, es necesario trazar las líneas equipotenciales, que unen puntos de igual altura piezométrica, y permiten la identificación de las líneas de flujo.
- ◆ *Determinación de la capacidad hidráulica instalada.* Se calcula mediante el registro de los pozos activos, que determinan el caudal aprovechado para suplir las necesidades actuales, y que es la base de cobro para realizar el proceso de facturación, que se efectúa semestralmente. Esta capacidad se determina a partir de las lecturas de los pozos profundos con contador y del cobro por aforo que se hace a aquellos pozos que no se les ha instalado contador.
- ◆ *Establecer un balance de agua.* Una vez determinados los parámetros hidráulicos que caracterizan la hidrología subterránea, se procede a la realización del balance entre las entradas y salidas de agua, con el que se cuantifica el agua almacenada en los diferentes acuíferos existentes.

La variación en la recarga en los acuíferos puede ser deducida de la siguiente ecuación general:

$$Iw + Iq + qw + Ir = E + q'w + q's + qex + dW$$

Donde:

<i>Iw</i>	:	Infiltración directa por precipitación
<i>Iq</i>	:	Alimentación por infiltración de cauces superficiales
<i>qw</i>	:	Aporte de las otras capas subterráneas
<i>Iw</i>	:	Infiltración de excedentes de riego
<i>E</i>	:	Evapotranspiración real
<i>q'w</i>	:	Flujo subterráneo hacia otras capas acuíferas
<i>q's</i>	:	Flujo superficial hacia otras cuencas
<i>qex</i>	:	Explotación de las aguas subterráneas
<i>dW</i>	:	Variación de las reservas en aguas subterráneas

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 27 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	
				

Debido a la exigencia para calcular los parámetros que intervienen en el balance de agua, se expone a continuación una metodología práctica para determinar la recarga, que es el volumen que se puede aprovechar sin afectar la naturaleza del sistema.

$$\text{Recarga} = \text{Descarga} + \text{Variación del almacenamiento}$$

$$\text{Descarga} = \text{Bombeo} + \text{Aporte del acuífero a los cauces}$$

$$\text{Variación del almacenamiento} = \Delta h * S * A$$

Donde: Δh : Variación de los niveles piezométricos (m)
 S : Coeficiente de almacenamiento o producción específica de los acuíferos de la zona
 A : Área de la zona de estudio (m²)

Para el desarrollo del balance oferta – demanda de agua, se ha estimado la disponibilidad de agua subterránea como un 75% de la capacidad total instalada en la zona de estudio, con el fin de evitar la sobreexplotación de los acuíferos.

PASO 4. BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA

El balance entre la demanda y oferta del recurso hídrico, permite identificar posibles soluciones frente a situaciones de déficit y/o excesos de agua, planificar, manejar y distribuir este recurso de manera adecuada en una zona determinada.

Para el cálculo del balance oferta – demanda de agua, inicialmente se efectúa un balance entre la demanda por uso agrícola, la precipitación media mensual y los distintos escenarios de probabilidad de ocurrencia, si los resultados generan déficit de agua, es decir, la demanda supera el aporte de la precipitación bajo cualquiera de los escenarios de ocurrencia considerados en el análisis de sensibilidad, se realiza un balance entre la demanda de agua total que incluye el uso agrícola, doméstico e industrial, la conservación de la biodiversidad acuática y la oferta de agua tanto superficial como subterránea.

BALANCE 1: PRECIPITACIÓN – DEMANDA DE AGUA PARA USO AGRÍCOLA

La precipitación es la oferta de agua con que se cuenta para abastecer las necesidades agrícolas de una región, una vez calculada la demanda de agua para uso agrícola, se realiza un primer balance bajo dos escenarios de ocurrencia de la precipitación media, así:

- ◆ *Escenario 1.* Balance entre la demanda de agua para uso agrícola y el aporte por precipitación media mensual.
- ◆ *Escenario 2.* Balance entre la demanda de agua para uso agrícola y la precipitación correspondiente al 90% de probabilidad de ocurrencia.

Al efectuar el balance 1, es posible identificar los meses con déficit de agua, es decir, aquellos en los que la demanda para uso agrícola supera el aporte de la precipitación media y la precipitación bajo la probabilidad de ocurrencia del 90%. Este déficit, al igual que la demanda doméstica e industrial y la pecuaria, constituyen la demanda de agua total que debe ser cubierta con el aporte de las corrientes hídricas tanto superficiales como subterráneas, se debe efectuar entonces el balance 2.

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 28 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos		APROBADO POR: Director Técnico Ambiental	 Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

BALANCE 2: OFERTA DE AGUA – DEMANDA TOTAL DE AGUA

El balance 2 se lleva a cabo entre la demanda total de agua, equivalente al resultado obtenido en el balance 1 (déficit de agua para uso agrícola), la demanda de agua por uso doméstico, industrial, pecuario, y la oferta neta representada por el aporte de agua superficial y subterránea. Este balance se realiza bajo los dos escenarios planteados en el punto anterior.

$$\text{Balance 2} = \text{Oferta de agua} - \text{Demanda total de agua}$$


Si los resultados del balance 2 son positivos, se pueden plantear proyectos de distribución de agua; por el contrario, si éstos registran déficit de agua, es decir, si la oferta de agua superficial y subterránea no cubre la demanda de la zona de estudio, se deben buscar alternativas de solución, entre las que se encuentran:

- ◆ Manejar adecuadamente el recurso agua a través del mejoramiento de las eficiencias de los sistemas de riego.
- ◆ Regular el agua a través del almacenamiento en épocas de lluvia para emplear este recurso en épocas de verano.
- ◆ Captar agua de otras fuentes.
- ◆ Explorar la capacidad futura de explotación del agua subterránea

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 29 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	
				<p>Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca</p>

Referencias Bibliográficas

1. AGUAS EN COLOMBIA. RECURSOS ABUNDANTES, SIN USO RACIONAL. Francisco Galán S. Fundación Corona – Fundación FES. Santafé de Bogotá D.C. – Santiago de Cali, Colombia. Mayo de 1995.
2. CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS EN LA DETERMINACIÓN DEL BALANCE DEMANDA – DISPONIBILIDAD. VERSIÓN 1. Mary Loly Bastidas A. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), Subdirección de Gestión Ambiental, Grupo de Recursos Hídricos. Santiago de Cali, Colombia. Mayo de 2000.
3. CUENTAS DE PATRIMONIO NATURAL DEL RECURSO HÍDRICO EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS TULUÁ Y MORALES. Alfredo Zúñiga B., María Teresa Zuluaga W. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), Subdirección de Planeación. Santiago de Cali, Colombia. Marzo de 1999.
4. DEMANDA HÍDRICA. Proyecto Metodología para la Distribución del Recurso Hídrico en el Valle del Cauca (PMD). Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), Subdirección de Gestión Ambiental, Grupo de Recursos Hídricos. Universidad del Valle, Departamento de Mecánica de Fluidos y Ciencias Térmicas. Santiago de Cali, Colombia. Mayo de 2000.
5. ECOLOGÍA BASADA EN ZONAS DE VIDA. Leslie R. Holdridge. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica. Septiembre de 1979.
6. EVALUACIÓN, CONTROL Y MANEJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA. Omar Azcuntar R. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), Subdirección de Gestión Ambiental, Grupo de Aguas Subterráneas. Santiago de Cali, Colombia. Septiembre de 1992.
7. FUNDAMENTOS DE HIDROLOGIA DE SUPERFICIE. Francisco Aparicio Mijares. Limusa. México. 1996.
8. HIDROLOGÍA APLICADA. Ven Te Chow, David R. Maidment and Larry W. Mays. McGraw-Hill. Santafé de Bogotá D.C., Colombia. Octubre de 1993.
9. HIDROLOGÍA PARA INGENIEROS. Ray K. Linsley, Max A. Hohler and Joseph L.H. Paulhus. McGraw-Hill. México D. F. Octubre de 1986.
10. INFORME ANUAL. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar (CENICAÑA). Santiago de Cali, Colombia. 1992.
11. INFORME ANUAL. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar (CENICAÑA). Santiago de Cali, Colombia. 1995.
12. LAS NECESIDADES DE AGUA DE LOS CULTIVOS. ESTUDIO FAO DE RIEGO Y DRENAJE. No.24. Doorenbos J., Pruitt W.O. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 1977.
13. MODELO HIDROLÓGICO LLUVIA – CAUDAL. IHMS. María Clemencia Sandoval G., Jenny Astrid Mayorquín R. y Héctor Fabio Aristizábal R. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), Subdirección de Gestión Ambiental, Grupo de Recursos Hídricos. Santiago de Cali, Colombia. Enero de 2000.

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 30 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos		APROBADO POR: Director Técnico Ambiental	 Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

14. OFERTA HÍDRICA. Proyecto Metodología para la Distribución del Recurso Hídrico en el Valle del Cauca (PMD). Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), Subdirección de Gestión Ambiental, Grupo de Recursos Hídricos. Universidad del Valle, Departamento de Mecánica de Fluidos y Ciencias Térmicas. Santiago de Cali, Colombia. Mayo de 2000.
15. PLAN DEL AGUA, MARGEN DERECHA DEL RÍO CAUCA ENTRE LOS RÍOS OVEJAS Y AMAIME. FASE I: RECONOCIMIENTO E INVENTARIO. Consorcio INCOL S.A. Gómez, Cajiao y Asociados Cia. Ltda. – Silva Carreño Asociados Ltda. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). Santiago de Cali, Colombia. Mayo de 1993.
16. MANEJO EFICIENTE DEL RIEGO EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN EL VALLE GEOGRÁFICO DEL RÍO CAUCA. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA). Cruz Valderrama, J. R., Cali, Colombia. 2015.
17. RESTAURACIÓN HIDROLÓGICA FORESTAL DE CUENCAS Y CONTROL DE LA EROSIÓN. Ediciones Mundi Prensa. Segunda Edición. Madrid, España. 1998.

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 31 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos		APROBADO POR: Director Técnico	
			Ambiental	

4. ANEXOS

ANEXO A

LAS ZONAS DE VIDA O FORMACIONES VEGETALES DEL MUNDO

Tomado de: *ECOLOGÍA BASADA EN ZONAS DE VIDA*
 Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Septiembre de 1979

Autor: *LESLIE R. HOLDRIDGE*
Ecólogo y Dendrólogo. Centro Científico Tropical

Las zonas de vida son conjuntos naturales de asociaciones, sin importar que cada grupo incluya una catena de diferentes unidades de paisajes o de medios ambientales, que puedan variar desde pantanos hasta crestas de colinas. Al mismo tiempo, las zonas de vida comprenden divisiones igualmente balanceadas de los tres factores climáticos principales, es decir, calor, precipitación y humedad.

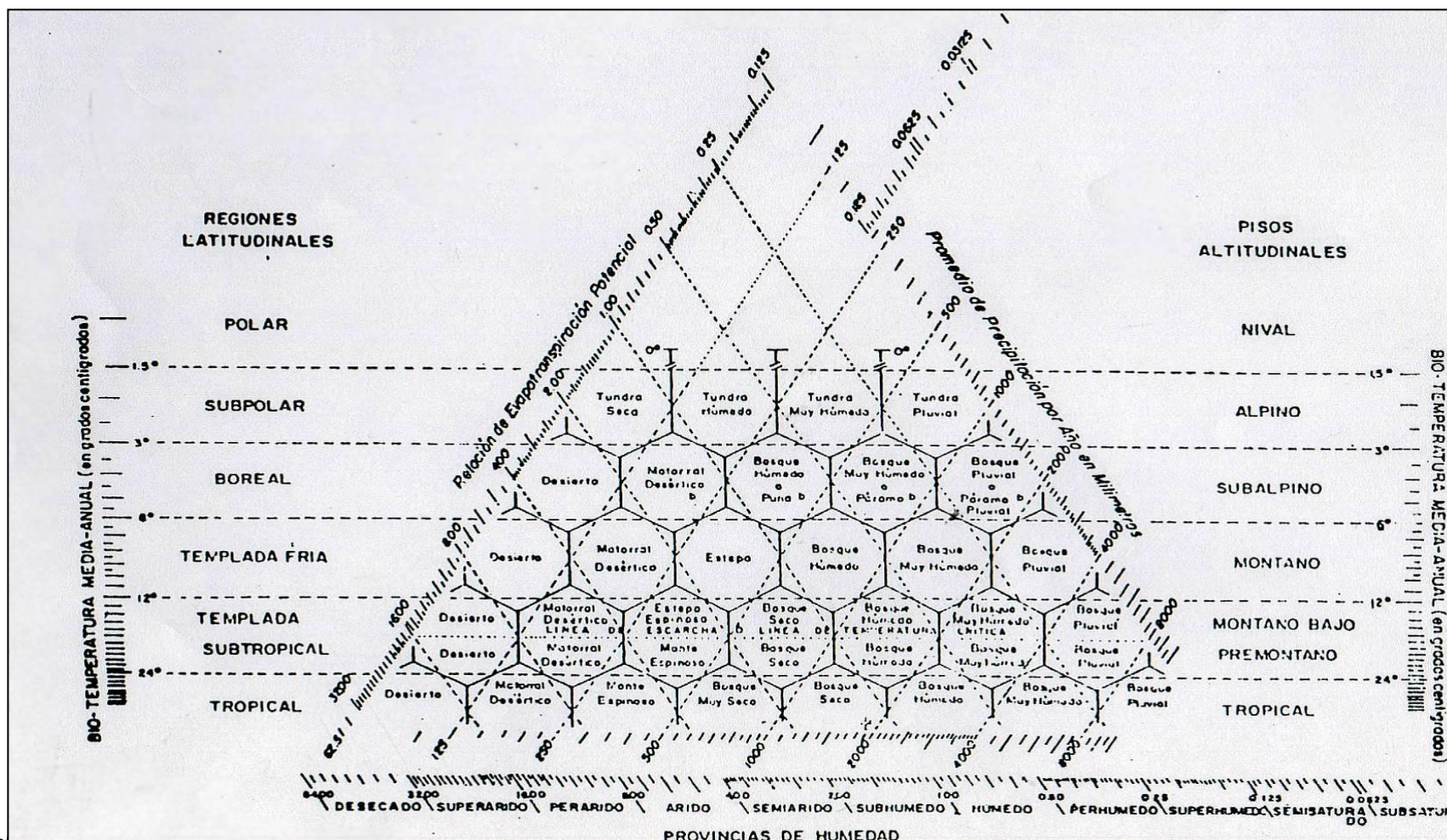
Holdridge se interesó en los sistemas de clasificación de los climas y de la vegetación, con el propósito expreso de delinear las relaciones entre la vegetación de las montañas y de las zonas bajas. Utilizando simplemente valores anuales de precipitación y temperatura, él desarrolló el esquema que se muestra en la Figura A1.

El diagrama de la Figura A1 es una representación gráfica de las zonas de vida más comunes en el planeta y se aplica igualmente para ambos hemisferios; puede utilizarse como representación del territorio comprendido entre el ecuador geográfico y el polo norte o el polo sur, según se decida aplicarlo en uno u otro hemisferio. Aunque esté delineado en dos dimensiones, el diagrama representa un conjunto tridimensional de zonas de vida en regiones y fajas altitudinales. Al Considerarlo horizontalmente, muestra las posiciones climáticas de las zonas de vida basales, o sea, a nivel del mar, desde el ecuador geográfico hasta el polo norte o el polo sur; al considerarlo verticalmente, el diagrama muestra las posiciones relativas y las dimensiones en altura de las varias zonas de vida altitudinales, superpuestas sobre las zonas de vida basales de cada región latitudinal.

DETERMINACIÓN DE UNA ZONA DE VIDA CON DATOS CLIMÁTICOS

Para determinar con datos climáticos, la zona de vida a que pertenece un sitio dado, se necesita solamente la biotemperatura promedia anual (promedio de las temperaturas en grados centígrados, a las cuales tiene lugar el crecimiento vegetativo, está en 0 °C como mínimo y 30 °C como máximo), la precipitación promedia anual (el valor usado es el total anual promedio de agua, en milímetros, que cae en forma de lluvia) y la elevación sobre el nivel del mar.

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 32 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	Técnico	



Cualquier copia impresa, electrónica o reproducción de este documento sin el consentimiento escrito de los autores o el Comité de Control y de debe consultarse al

Figura A1. Diagrama para la clasificación de las zonas de vida del mundo

GUIA BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 33 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Técnico Ambiental		

Las escalas logarítmicas de la biotemperatura aparecen en dos columnas verticales en los extremos derecho e izquierdo del diagrama; los intervalos de las escalas son de 0.5 °C entre 1.5 y 10 °C, y de 1 °C después de 10 °C. Las escalas de la precipitación, están en la base y a la derecha y los intervalos varían desde 25 mm en el extremo seco, hasta intervalos mucho mayores en el extremo húmedo.

El punto donde se cortan las líneas de precipitación y biotemperatura, determina la localización del sitio en cuestión. También puede calcularse el valor de la relación de la evapotranspiración potencial, indicado en la base y la izquierda del diagrama.

Después de localizar el punto dentro de uno de los hexágonos, debe definirse la región latitudinal, para tener así determinada correctamente la zona de vida, lo cual se logra utilizando la altura sobre el nivel del mar del sitio dado. Los ámbitos de altitud máximos son los siguientes: Tropical 1000 m, Subtropical 1000 m, Templada 1000 m, Templada fría 1000 m, Boreal 500 m, Subpolar 250 m y Polar indefinido.

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA			
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 34 de 38
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	Técnico



ANEXO B

Coeficientes De Cultivo "Kc"

Cultivo	Código	Kc máximo	Kc promedio
Aguacate	AG	0,85	
Aji	AJ	0,85	0,95
Algodón	AL	1,15	0,90
Arracacha	AC	1,05	0,62
Arboles Frutales	AF	0,85	
Arroz	AR	1,10	1,05
Banano	BA	1,15	0,95
Bosque de Guadua	BG	1,15	0,85
Bosque Plantado	BP	1,15	0,85
Bosque Natural	BN	1,15	0,85
Cacao	CA	0,85	
Cacao-Plátano	CA-PL	0,95	
Café	CC	0,90	0,90
Café-Plátano	CC-PL	0,95	
Caña de Azúcar	CÑ	1,05	0,80
Citricos	CT	0,85	0,80
Frijol	FR	1,10	0,70
Frutales-Plátano	AF-PL	0,95	
Granadilla	GR	0,80	
Habichuela	HA	0,94	0,50
Hortalizas	HO	0,94	0,50
Maiz	MZ	1,10	0,80
Maiz-Habichuela	MZ-HA	1,10	
Maiz-Zapallo	MZ-ZA	1,10	
Mango	MG	0,85	
Maracuya	MY	0,85	
Melón	ME	0,95	0,80
Papa	PA	1,05	0,40
Pasto Cultivado	PC	1,10	1,00
Pasto Natural	PN	1,15	1,05
Piña	PI	0,80	
Pimentón	PM	0,95	0,30
Plátano	PL	0,95	
Praderas	PR	1,00	
Rastrojo	RA	0,90	0,85
Sorgo	SO	1,05	0,80

Cultivo	Código	Kc máximo	Kc promedio
Soya	SY	1,05	0,80
Tabaco	TB	1,20	
Té	TE	1,00	
Tomate	TO	1,10	0,85
Trigo	TR	1,10	0,70
Uva	UV	0,75	
Vegetación de Páramo	VP	1,00	0,85
Yuca	YU	0,75	0,69
Zapallo	ZP	0,85	

Cualquier copia impresa, electrónica o reproducción de este documento sin el sello de control de documentos se constituye en una COPIA NO CONTROLADA y se debe consultar al Grupo Gestión Ambiental y Calidad de la CVC para verificar su vigencia

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 35 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	



ANEXO C

*MANEJO DE LA SALINIDAD
Lecciones del Pasado*

Tomado de: *JOURNAL OF SOIL & WATER CONSERVATION*
Julio – Agosto de 1985. Volumen 40, No.4. Páginas 329 / 331

Autor: *DIANA E. GELBURD*
Especialista en Recursos Culturales Nacionales para el Servicio de Conservación de Suelos

Traducción: *FREIDE GUZMAN G. – MARIA CLEMENCIA SANDOVAL G.*
Profesionales Especializados, Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca “CVC”

No pocas veces, la evidencia física de la prosperidad de civilizaciones pasadas representada por edificios, monumentos, estructuras de riego y objetos de arte, ha sido descubierta en áreas rodeadas de pobreza.

En los siglos XIX y XX se han encontrado estas situaciones aparentemente paradójicas en Europa, Asia y América. “Los registros históricos de los últimos 6000 años muestran, con pocas excepciones, que el hombre civilizado nunca ha podido continuar una civilización progresista en una localidad por más de 800 a 2000 años”. En la mayoría de los casos las civilizaciones crecieron unos pocos cientos de años, luego decayeron o se trasladaron a nuevas tierras.

Mucha gente ha investigado la decadencia de civilizaciones pasadas. En 1938 y 1939 Walter C. Lowdermilk, entonces asistente del jefe de Servicio de Conservación de Suelos, examinó detalladamente los países en los cuales la agricultura ha sido practicada durante al menos 1000 años, en busca de que los Estados Unidos pudieran beneficiarse con las lecciones del pasado. Específicamente se preguntó, porqué las tierras que una vez se cultivaron fueron abandonadas o destruidas?... De su estudio de Europa, Africa del Norte y el cercano Oriente, y su investigación previa en China, Lowdermilk concluyó que la caída de muchas grandes civilizaciones se debió a la destrucción de los recursos básicos que originalmente habían hecho posible el surgimiento de la civilización.

UNA LECCIÓN DE MESOPOTAMIA

Un área examinada por Lowdermilk fue Mesopotamia, región que una vez fue una fértil planicie aluvial entre los ríos Tigris y Eufrates, en lo que ahora es Irak. Esta región estuvo entre las cunas de la agricultura y la civilización. Al menos 11 imperios surgieron y cayeron en Mesopotamia.

La agricultura de riego fue el cimiento sobre el cual se construyeron y se sostuvieron estos imperios. Hoy el área es una inmensa tierra baldía, con sólo los restos de las otras gloriosas ciudades y sistemas de riego. Lowdermilk sugirió que las acumulaciones de limo en los canales de riego provenientes de las aguas fangosas del Tigris y del Eufrates fueron la ruina de Mesopotamia. Tan pronto como el limo fue limpiado de los canales, la agricultura continuó.

Sin embargo, durante períodos de trastornos políticos, no existió la estructura administrativa para asegurar el mantenimiento de los canales.

Además de la sedimentación, hubo otra amenaza tal vez más devastadora: la sal. Los suelos de Mesopotamia tienen baja permeabilidad, y el clima semiárido los hace vulnerables a acumulaciones de sal y sodio intercambiable cerca a la superficie. La mayor parte de la sal en los suelos aluviales

Cualquier copia impresa, electrónica o reproducción de este documento sin el sello de control de documentos se constituye en una COPIA NO CONTROLADA y se debe consultar al Grupo Gestión Ambiental y Calidad de la CVC para verificar su vigencia

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 36 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	POR: Técnico	

ha sido transportada desde las rocas sedimentarias de las montañas septentrionales, por aguas de los ríos y sistemas de riego, ocasionando salinización y sodificación.

En la Mesopotamia meridional el nivel freático se eleva a 6 pies de la superficie. El riego puede llevar el nivel freático a 18 pulgadas de la superficie. La acción de la capilaridad en el suelo saturado trae las sales desde el nivel freático hasta la superficie. Estas sales no se pueden remover del suelo sin costosos sistemas de drenaje extensivos.

El daño principal ocurrió en Mesopotamia desde el año 2400 a.C. hasta el 1700 a.C. El problema surgió de la disputa por los derechos de aguas y tierras entre dos capitales independientes, Girsu y Umma. Umma, localizada por encima de Girsu sobre un curso de agua derivado del Eufrates, obstruyó continuamente los canales secundarios que suministraban agua a algunos de los campos de Girsu. Entonces Girsu construyó otro canal desde el Tigris para abastecer una gran cuenca al oeste que hasta entonces había sido alimentada sólo por Eufrates. El agua adicional produjo más crecientes, infiltración y riego en exceso, ocasionando problemas de salinidad por elevación del nivel freático.

Los efectos de este aumento de caudal a largo plazo son evidentes en los registros históricos y arqueológicos. La producción de las cosechas bajó y la gente se cambió a cultivos más tolerantes a la sal. Los principales cultivos de grano fueron el trigo y la cebada. El trigo es moderadamente tolerante a la sal; la cebada lo es algo más. En el año 2400 a.C., el trigo representaba el 16% y la cebada el 84% de la producción de grano de la región. En el año 2100 a.C., el trigo representaba el 2% de la producción de grano y la cebada el 98%. En esta época, los agrimensores del templo también empezaron a registrar casos de salinidad en predios individuales. El cultivo del trigo, el menos tolerante a la sal, fue abandonado entre los años 2000 y 1700 a.C..

Con el incremento de la salinidad vino una baja en la productividad. El rendimiento promedio de cebada en el año 2400 a.C. era 29 bushels¹ por acre. Alrededor del año 2100 a.C. el rendimiento había caído a 17 bushels por acre y en el año 1700 a.C. a un promedio de 10 bushels por acre, una disminución del 65% durante un periodo de 700 años. Para el año 1700 a.C. más de un cuarto de los campos cultivados producían sólo 4 bushels por acre.

No hay registro de rendimiento menores de 5 bushels por acre antes de 1700 a.C. Los granjeros trataron de compensar la baja en la productividad aumentando las tasas de siembra y cultivando tierras menos productivas. Las tasas de siembra se incrementaron de menos de medio bushel por acre en el 2400 a.C. a un promedio de aproximadamente 1 bushel por acre en el 2100 a.C., probablemente para compensar la germinación irregular provocada por la salinidad.

Mesopotamia alivió sus problemas de salinidad practicando el barbecho de malezas en años alternados. Se sembraron plantas de raíces profundas (Proserpina Stephanis) y Agul (alhagi maurorum), creando una zona seca profunda, con el fin de prevenir el ascenso de la sal por acción capilar y reaprovisionar el suelo de nutrientes tales como el nitrógeno. Esta práctica, sin embargo, no fue completamente acertada durante el periodo de irrigación excesiva.

Las grandes ciudades de la llanura sur de Mesopotamia nunca se recuperaron de estas pérdidas en la producción, y finalmente decayeron en aldeas o fueron abandonadas. Los Mesopotamios dejaron tras de sí un legado de arte, monumentos y construcciones, pero también suelos salinos.

Sus descendientes heredaron una llanura salina que requiere costosos métodos de control de salinidad para una producción agrícola intensiva.

¹ Nota: 1 bushel = 36.35 litros en Inglaterra, 35 litros en EE.UU.

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 37 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	Técnico	

Los Mesopotamios, quienes nos legaron los cereales, el arado, los animales de tiro, la rueda y la escritura, crecieron y cayeron por sus propias invenciones. Su agricultura al principio dependía de los caudales naturales del Tigris y el Eufrates, y luego de la distribución de estos caudales con obras construidas por ellos. Desarrollaron sofisticadas técnicas para alterar los sistemas naturales de los ríos y aprovechar nuevas fuentes importantes de agua. Esta tecnología llevó a la civilización de Mesopotamia a nuevas alturas, pero también creó problemas. Los Mesopotamios no habían evaluado todas las consecuencias de sus acciones. Ellos quizá no pudieron hacerlo porque el daño ocurrió lentamente, y porque no había una historia de la irrigación en agricultura de la cual pudieran aprender.

Sin embargo, los habitantes del mundo de hoy, podemos aprender del registro del pasado. Los problemas de salinidad se están desarrollando rápidamente en las tierras con riego.

LA SALINIDAD DE HOY

Los problemas de salinidad están aumentando constantemente en algunas de las granjas más productivas de los Estados Unidos. California aporta al país una producción agrícola mayor de US\$14.000 millones y tiene también la mayor cantidad de tierras irrigadas: 8.6 millones de acres, de los cuales 4.5 millones están afectados por salinidad o sodicidad. Los problemas de salinidad tienen un impacto significativo en la economía agrícola de California hoy, y reducirán aún más la producción agrícola en el futuro a menos que se tomen acciones correctivas a largo plazo.

Los granjeros de California cultivan una cantidad de hortalizas y frutas sensibles a la sal. Sin embargo, con un bajo nivel de sal en el suelo, de 4 milimhos por centímetro, un campo de frijoles produce sólo el 40% de su potencial, la zanahoria el 60%, y no se produce cosecha con 8 milimhos por centímetro. Un suelo medianamente salino, 16 milimhos, reduce el potencial del algodón al 57%. Una disminución del 1% en la producción de las tierras irrigadas en California presenta un promedio anual de \$80 US millones de pérdida.

Muchos propietarios no se percatan del desarrollo de los problemas de salinidad hasta cuando son severos. Podemos preguntarnos si la situación en el oeste de los Estados Unidos no es parecida a la que vivieron los Mesopotamios 4000 años atrás. Ellos (los Mesopotamios) no detectaron el problema hasta cuando se volvió severo. La sal se acumuló en sus campos por siglos y los rendimientos de cebada disminuyeron casi a la mitad, antes que los registros conocidos consignaron la presencia de parches salinos en los campos. En California donde el riego en agricultura en la mayoría de las áreas tiene menos de 100 años, se espera que el daño a las tierras cultivables se incremente de 4.5 millones de acres a 5.2 millones de acres en el año 2000.

En el Valle de San Joaquín los daños a un estimado de 400.000 acres donde los rendimientos han caído en un 10% o más, afectarán en el 2000, 700.000 acres.

Los Mesopotamios creyeron que solucionarían sus problemas construyendo canales más grandes. Esta acción causó más problemas de los que solucionó. La gente tiende a considerar que el suministro insuficiente de agua es el mayor problema de la agricultura. Pero demasiada agua puede muchas veces causar mayores problemas.

Debemos retomar la experiencia de las lecciones que pueden aprenderse de los éxitos y fracasos del pasado. Para establecer una civilización duradera se requiere reflexionar sobre la irrigación y la salinidad. Algunas preguntas difíciles deben ser contestadas: Está la gente obligada a aceptar el ciclo de adecuación y abandono de las tierras que ha ocurrido a lo largo de los años?.

GUIA: BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA				
FECHA DE APLICACIÓN: 2019/10/07	CÓDIGO: GU.0130.07	VERSIÓN: 02	Página 38 de 38	
ELABORADO POR: Grupo Recursos Hídricos	REVISADO POR: Coordinador grupo Recursos Hídricos	APROBADO POR: Director Ambiental	Técnico	



¿Puede la tecnología resolver este problema?

¿Estamos viviendo más allá de las posibilidades de nuestros recursos?

¿Deberían ser considerados otros usos del suelo más permanentes?

¿Serán las tierras verdes de hoy los desiertos de mañana?

¿O hay una forma en que la gente pueda aprender de la historia para asegurar una agricultura sostenible en el futuro?