

**DOCUMENTO PEDAGOGICO SOBRE LAS VARIABLES
CONTENIDAS EN LA METODOLOGIA DE BALANCE
HIDRICO PARA LAS CUENCAS DEL
PARQUE NACIONAL NATURAL FARALLONES**

Presentado por:

MARÍA JULIANA CERÓN BUSTAMANTE

**UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DEL SISTEMA DE PARQUES NACIONALES
NATURALES
PROGRAMA PARQUES DEL PACIFICO FASE II
TERRITORIAL SUROCCIDENTE
PARQUE NACIONAL NATURAL FARALLONES**

Santiago de Cali, Marzo de 2004

PRESENTACIÓN

Este documento se presenta como resultado final del contrato de consultoría del proyecto parques del pacífico

Con él se pretende dar elementos pedagógicos, es decir, bajar el lenguaje técnico de las variables utilizadas en la metodología propuesta en el Modelo Hídrico, las cuales serán incluidas en el aplicativo de SIG, que actualmente es realizado por el Parque Nacional Natural Farallones.

CONTENIDO

DOCUMENTO PEDAGÓGICO SOBRE LAS VARIABLES CONTENIDAS EN LA METODOLOGÍA DE BALANCE HÍDRICO PARA LAS CUENCAS DEL PARQUE NACIONAL NATURAL FARALLONES

1.	ANTECEDENTES	4
2.	BALANCE DE LA OFERTA HÍDRICA	5
2.1.	VARIABLES HIDROCLIMÁTICAS	6
2.1.1.	PRECIPITACIÓN	6
2.1.1.1.	MEDICIÓN DE LA PRECIPITACIÓN	6
2.1.2.	SISTEMAS PARA CALCULAR LA PRECIPITACIÓN PROMEDIA DE LA CUENCA	7
2.1.2.1.	METODO DE LAS ISOHIETAS	7
2.1.3.	EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL	8
2.1.3.1.	METODO DE CÁLCULO	8
2.1.3.2.	EVAPOTRANSPIRACION REAL AFECTADA	9
2.1.3.2.1.	METODO DE CÁLCULO	9
2.1.4.	ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL SUELO	10
2.1.4.1.	INFILTRACIÓN	10
2.1.4.2.	PERCOLACIÓN	10
2.1.4.3.	METODO DE CÁLCULO	11
2.1.5.	ESCORRENTIA	11
2.2.	VARIABLES BIOFÍSICAS	12
2.2.1.	TIPOS DE SUELO	12
2.2.2.	RED HÍDRICA	13
2.2.3.	USO/ COBERTURA	13
2.2.4.	PENDIENTE	14
3.	BIBLIOGRAFIA	16

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables del Balance Hídrico.....	5
Tabla 2. valores de Kc para coberturas no comerciales.....	9
Tabla 3. pendientes y Relieve	15

DOCUMENTO PEDAGOGICO SOBRE LAS VARIABLES CONTENIDAS EN LA METODOLOGIA DE BALANCE HIDRICO PARA LAS CUENCAS DEL PARQUE NACIONAL NATURAL FARALLONES

1. ANTECEDENTES

La Estrategia de Sostenibilidad Financiera que el parque farallones ha proyectado, incluye entre sus componentes un Modelo Hidrico que determine la oferta y la demanda hidrica de las cuencas que tienen su nacimiento en el área protegida. Este modelo afecta algunas de sus variables con coeficientes de cobertura vegetal, lo cual podría demostrar que la conservación de los bosques en las cuencas, beneficia la regulación de los caudales causando menos impacto en los periodos de invierno y en los de estiaje, encaminando de esta manera, las acciones de manejo en pro de la conservación de los recursos naturales, para que sigan cumpliendo la función de proporcionar agua a los centros poblados que se benefician de este recurso.

El modelo tiene como su principal objetivo, la negociación de recursos financieros con instituciones para conservación y recuperación de las cuencas que surten de agua a los municipios en jurisdicción del Parque Nacional Natural Farallones.

2. BALANCE DE LA OFERTA HIDRICA

Siendo el agua una de las necesidades básicas de la vida y el eje en que gira el manejo de las cuencas hidrográficas, es fundamental conocer cual es su dinámica en la tierra y en que parte de ésta puede influir el hombre. Como el agua siempre se encuentra en constante movimiento, va a la atmósfera y regresa a la tierra repetidas veces, se dice que se mueve en un ciclo conocido como **ciclo hidrológico**.

El ciclo hidrológico es muy importante en el manejo de una cuenca, por cuanto representa su contabilidad hidrológica, es decir las pérdidas y las ganancias de agua, es decir las entradas y las salidas.

En una cuenca se puede calcular la contabilidad del agua, mediante un balance hídrico. Este representa el intercambio y transferencia de agua dentro de una cuenca en un tiempo determinado, y permite estimar los flujos de entradas y salidas (tabla 1) del sistema global que configura la composición por elementos del recurso.

Toda el agua de una cuenca se caracteriza a través del concepto de "Balance Hídrico" para facilitar el cálculo de la oferta hídrica de una cuenca, se puede agrupar en 4 variables:

- Precipitación o lluvia
- Evapotranspiración (evaporación + transpiración + interceptación)
- Almacenamiento (agua almacenada en el suelo + infiltración + precolación profunda)
- Escorrentía (superficial, subsuperficial y subterránea)

ENTRADAS	SALIDAS
P : Aporte del periodo considerado precipitaciones, lluvia.	ETR: Evapotranspiración del periodo considerado
	ΔS : Recursos acumulados al final del periodo considerado por humedad del suelo
	Q : Escurrim ento en el periodo Considerado

TABLA 1. Variables del Balance Hídrico

De esta forma el Balance Hídrico se puede representar con la siguiente igualdad:

$$P = Q + E + \Delta S$$

A continuación se describen las variables que actualmente se han utilizan en el modelo de balance hídrico para el Parque Nacional Natural Farallones, de una manera simple para ser depositadas en el aplicativo del SIG, como una ayuda al usuario que requiera de información adicional sobre las variables utilizadas.

2.1. VARIABLES HIDROCLIMÁTICAS

Estas variables son utilizadas con el fin de caracterizar el comportamiento climatológico de una cuenca, y su área de influencia, Esta parte estudia la precipitación, la evapotranspiración real, el almacenamiento de agua en el suelo y la escorrentía.

2.1.1. PRECIPITACIÓN

Se define como la caída de agua desde la atmósfera en estado líquido (lluvia) o sólido (nieve, granizo o escarcha) a partir del fenómeno de condensación.

2.1.1.1. MEDICIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

Se efectúa por medio de pluviómetros, pluviógrafos o de pluviómetros totalizadores. En la medición de la precipitación se deben tener en cuenta las siguientes características:

- **Altura de la precipitación:** se mide con los instrumentos en milímetros, durante una tormenta, en un día, una semana, un mes, un año, etc., por medio de una regla graduada en milímetros.
- **Forma de la precipitación:** es decir, si es lluvia, nieve, granizo, neblina, rocío o escarcha. La forma correcta de determinar la precipitación es en forma líquida.
- **Intensidad:** se determina en milímetros / hora.
- **Duración:** se determina en minutos u horas.
- **Área abarcada por los aparatos de medición:** se calcula de acuerdo al área de influencia para cada aparato, con referencia al sistema de instalación de la red pluviométrica.
- **Frecuencia:** se debe tener en cuenta anotar la frecuencia con la que suceden las lluvias de cierta altura o intensidad.

2.1.2. SISTEMAS PARA CALCULAR LA PRECIPITACIÓN PROMEDIA DE LA CUENCA

La red pluviométrica de la cuenca, constituye la base fundamental para el cálculo exacto de su precipitación promedio en un tiempo determinado. Para calcular este dato existen tres sistemas, según el área de la cuenca. Ellos son:

- Método de promedio aritmético
- Método de los polígonos de Thiessen
- Método de las isohietas

A continuación se explica el método de las isohietas, el cual fue escogido como el método que más se ajusta en el modelo aplicado por el PNN Farallones.

2.1.2.1. METODO DE LAS ISOHIETAS

Es la representación de un mapa de curvas de precipitación diferentes, y se construye siguiendo los mismos principios que se aplican en la construcción de curvas de nivel en mapas topográficos, a continuación se presentan los pasos para calcular esta variable:

- 1- Se utiliza un mapa con la ubicación de la red pluviométrica, en donde cada instrumento ha registrado la cantidad de lluvia de un tiempo establecido.
- 2- Las estaciones allí determinadas se unen entre sí por triangulación.
- 3- Sobre los catetos de cada triángulo, a veces efectuando interpolaciones de acuerdo a la distancia y al grado de diferencia de precipitación que se quiere obtener para sacar curvas de 10mm en 10 mm, obtenemos puntos de diferente precipitación; luego la unión de varios puntos de precipitación igual, forma las curvas de precipitación o isohietas.
- 4- Una vez hecho esto, se mide el área que encierra cada isohieta y por diferencia, el área neta entre cada dos isohietas consecutivas. Este procedimiento se usa con el fin de evitar errores acumulativos en la medición del área.
- 5- El promedio de la precipitación se multiplica por el área neta correspondiente, para hallar el volumen de la precipitación.
- 6- Finalmente encontramos la precipitación promedio de la cuenca, sumando los volúmenes de precipitación y dividiendo este resultado por el área total de la cuenca.

2.1.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL

La evapotranspiración es la combinación de los procesos de evaporación del agua y la transpiración que llevan a cabo las plantas.

La evaporación es el proceso mediante el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) desde de una superficie. El agua se evapora de una variedad de superficies, como lagos, ríos, pavimentos, tierras y vegetación húmeda.

La transpiración consiste en la vaporización de agua líquida contenida en los tejidos de la planta. Por lo General las plantas pierden su agua a través de los estomas, éstos son aperturas pequeñas en la hoja de la planta, a través del cual pasan los gases y el vapor de agua. El agua, junto con algunos nutrientes, es subida por las raíces y se transporta a través de la planta. La vaporización ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares, y los vapores son lanzados a la atmósfera, este proceso es controlado por la abertura del estoma. Casi toda el agua subida, es pérdida por transpiración y sólo un fragmento diminuto se usa dentro de la planta.

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente, por eso no es fácil distinguir las diferencias entre los dos procesos y por ello son difíciles de medir por separado. Sin embargo en la mayor parte de los casos lo que interesa es la cantidad total de agua que se pierde a la atmósfera ya sea por evaporación o transpiración, por ello se consideran conjuntamente bajo concepto mixto de Evapotranspiración.

Aparte de la disponibilidad de agua en el suelo, la evaporación del suelo es principalmente determinada por el alcance de la radiación solar sobre la superficie de la tierra, esta se disminuye en el periodo en el que el cultivo se desarrolla y el dosel del cultivo oscurece más el suelo. Cuando la cobertura es pequeña, el agua es pérdida por evaporación de la tierra, pero una vez la cosecha se desarrolla bien y cubre el suelo completamente la transpiración se vuelve el proceso principal.

2.1.3.1. METODO DE CÁLCULO

Para el cálculo de la ETR se utiliza la formula de TURC, puesto que se adecua a cuencas con poca información, está en función de la precipitación y un parámetro heliotérmico en función de la temperatura media de la región estudiada.

La formula de TURC ajustada permite obtener estimaciones mensuales-anales que correspondan a un orden de magnitud de la precipitación y a la variación de la temperatura durante el año y de esta manera deducir un valor promedio anual lo mas aproximado a la realidad. La formula entonces es la siguiente:

$$ETR = P / ((0.9 + P^2 / (L/12)^2)^{1/2})$$

Donde:

ETR = Evapotranspiración real anual en mm

P = Precipitación anual en mm

L = Parámetro heliotérmico expresado como:

$$L = 25 + 25T + 0.05T$$

T = Temperatura media anual en °C

2.1.3.2. EVAPOTRANSPIRACION REAL AFECTADA

Es el consumo hídrico de cada especie, según su ciclo vegetativo. Se calcula a partir de la evapotranspiración de referencia (ETR), multiplicándola por el coeficiente de cultivo (kc) que depende de la especie vegetal y de su relación ponderada de área:

2.1.3.2.1. METODO DE CÁLCULO

Para la obtención de la ETR afectada (ETRa) por la cobertura vegetal se multiplica el resultado anterior de ETR por el coeficiente de cultivo (kc) que depende de cada especie vegetal o uso del suelo y de su relación ponderada de área

Por lo tanto:

$$ETRa = kc * ETR * \% \text{ Ponderado de Área}$$

Donde:

ETRa: Evapotranspiración Real afectada (mm)

Kc: Coeficiente de cultivo (decimal)

ETR: Evapotranspiración Real (mm)

Uso del Suelo	KC
Bosque Natural	0.75
Bosque Plantado	0.75
Vegetación de páramo	1.00
Rastrojo Balo	0.60
Rastrojo alto	0.60
Café	0.60
Pasto natural	1.00
Pajonales	1.00
Hortalizas	0.90

Fuente: Efecto de la cobertura vegetal en la respuesta hidrológica de cuencas hidrográficas. Montoya Ramírez Hernán, Díaz Granados Mario. CVC.

TABLA 2. Valores de Kc para coberturas no comerciales

2.1.4. ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL SUELO

Desde el punto de vista hidrológico, el suelo desempeña el papel de una serie de cedazos, que permiten la infiltración del agua en él, y en donde una parte se retiene, dando lugar al almacenamiento de agua por retención capilar; la otra parte percola hacia niveles inferiores dando origen al *almacenamiento no capilar o temporal*.

En el primer caso, el agua de retención capilar es aprovechada por las plantas, pero parte se pierde por evaporación; en el segundo caso, el movimiento del agua es hacia abajo por gravedad a través de poros bastante grandes, cuyo diámetro es mayor a 0.05mm y el agua es aprovechada por las corrientes laterales o aguas freáticas.

En este orden de ideas se dan la infiltración, la percolación y se originan las aguas freáticas.

2.1.4.1. INFILTRACIÓN

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua ingresa a través del suelo. La infiltración está sujeta al estado del horizonte superficial del suelo, cuyas condiciones determinan si las precipitaciones se convierten o no en escorrentía.

Cuando la precipitación es más rápida que la capacidad de absorción al suelo, se presenta escurrimiento sobre la superficie, el cual llega rápidamente a los cursos de agua y abre surcos y cárcavas, en las tierras que no tienen cubierta protectora.

Generalmente, el escurrimiento en terrenos no protegidos, es perjudicial y antieconómico; mientras que el agua infiltrada se convierte en agua freática que alimenta los pozos y suministros en casi todo el caudal de los cursos de agua en épocas de verano, y también sustenta parte de la vegetación.

2.1.4.2. PERCOLACIÓN

Se denomina percolación al movimiento de agua a través del suelo hacia niveles inferiores. La capacidad de percolación, es la capacidad máxima a la cual el agua puede moverse a través del suelo.

La percolación directa forma el agua freática en los suelos permeables de poca profundidad, y también por ríos o quebradas de introducción fluyente (caudales de corrientes de agua que en un punto de su cauce se pierden de la superficie, adentrándose al suelo por un hueco).

2.1.4.3. METODO DE CÁLCULO

Para esta variable no se cuenta con datos tomados en la cuenca, por tal razón se calcula despejando la formula del balance de la siguiente manera:

$$P = Q + E + \Delta S \quad \Longrightarrow \quad \Delta S = Q + E - P$$

Actualmente se estudia algún método para ajustar la metodología de esta variable con datos tomados en la cuenca.

2.1.5. ESCORRENTIA

Es la cantidad de agua después de una lluvia, que drena o escurre sobre la superficie del suelo. Cuando ocurren lluvias más intensas o frecuentes, el agua llega hasta la superficie, produciéndose por un lado, la infiltración y por otro lado, la saturación del suelo y la escorrentía. Cuando ocurre, ésta fluye a los cauces, incrementado su volumen a medida que llega agua de las partes más lejanas, y comienza a decrecer el caudal suavemente al poco tiempo de terminada la lluvia.

Esta agua sobrante de las lluvias que no alcanza a entrar al suelo, corre, sobre la superficie de la tierra a velocidades variables dependiendo de varios factores, ocasionando los mayores problemas en el manejo de las cuencas. Los factores que influyen en la escorrentía son:

- La superficie del suelo
- La capacidad de infiltración al suelo
- La intensidad de las lluvias
- El porcentaje de humedad del suelo
- La pendiente y el microrrelieve

Todos estos factores mencionados no actúan independientes entre sí, ya que la escorrentía es una resultante de la acción simultánea entre ellos.

2.2. VARIABLES BIOFISICAS

Aunque estas variables no se encuentran en el modelo a simple vista, afectan las variables hidroclimáticas de manera directa, siendo así la manera en que la topografía del terreno, el uso de suelo y las fuentes hídricas se ven reflejadas en el modelo de balance hídrico del Parque Nacional Natural Farallones.

Entre estas variables se encuentran los tipos de suelo, la red hídrica, los usos y coberturas y la pendiente promedio de la cuenca

2.2.1. TIPOS DE SUELO

El suelo es conocido como la capa superficial de la tierra en donde se desarrollan las raíces de la plantas. Es conocido también, como la capa arable o la capa vegetal y sus principales características son:

- Fertilidad
- Contenido de materia orgánica
- Textura
- Estructura
- Estabilidad estructural
- Relación aire- agua
- Drenaje
- Profundidad
- Uniformidad del perfil
- Color

En cualquier parte que se cave un hoyo, se observarán varias capas de diferentes profundidades. Tales capas se distinguen mejor en cortes recientes de carreteras, zanjas, etc. Estas capas de suelo, llamadas también horizontales, difieren unas de otras en forma más o menos notable, por propiedades como color, textura, estructura y características físicas. Al examinar el corte de suelo, generalmente se distinguen 3 horizontes o capas fundamentales, que se caracterizan en orden de profundidad de la siguiente manera: Horizonte A, Horizonte B y Horizonte C.

Esta variable está directamente relacionada con la escorrentía, ya que al ser afectada por el modelo de Curva Numero, se debe tener en cuenta la profundidad efectiva, la textura, el relieve, la ubicación del suelo y la pendiente. Estas variables que son generadas por los estudios de Generales de Suelos que realiza el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Para los departamentos del

país; para la zona del parque se utilizaron 3 libros¹ generados entre la Corporación Autónoma del Valle del Cauca (CVC) y el IGAC.

2.2.2. RED HÍDRICA

La red hídrica es el conjunto de cuerpos de agua corrientes permanentes o intermitentes, situados en una cuenca hidrográfica, se forma por el drenaje natural, permanente o temporal, por el que fluyen las aguas de los escurrimientos superficiales, hipodérmicos y subterráneos, como parámetros importantes de la red hidrográfica se consideran los siguientes:

- **Densidad de drenajes:** es la relación entre la longitud de los cursos de agua y su área total.
- **Orden de las corrientes:** refleja el grado de bifurcación o ramificación de los mismos dentro de una hoya. Las corrientes de primer orden son los pequeños canales que no tienen tributarios. Las corrientes de segundo orden se forman al unir dos corrientes de primer orden, las corrientes de tercer orden, son la unión de dos corrientes de segundo orden y así sucesivamente.
- **Pendiente del cauce:** es el grado de inclinación de la fuente hídrica.
- **Frecuencia de drenaje:** es el número de cursos de agua o corriente por unidad de área.
- **Tiempo de concentración:** es un valor importante en el estudio de crecientes, se considera como una constante de la cuenca y depende de las características fisiográficas de cobertura vegetal y de uso de la tierra. El tiempo de concentración se define como el tiempo de viaje del agua que cae como lluvia en el sitio más alejado de la cuenca con relación al punto de salida de la corriente, es decir cuando toda la hoya está aportando al caudal, dado en minutos u horas.

2.2.3. USO/ COBERTURA

La cobertura vegetal es uno de los componentes más influyentes en el movimiento del agua en la cuenca, además es el único factor modificable a escala temporal humana ya sea a través de su recuperación o de su destrucción lo cual repercute directamente en la disponibilidad de agua o en la alteración de dicha distribución causando efectos adversos como avenidas torrenciales en épocas de lluvia y disminución de caudales en épocas de menor precipitación.

¹ IGAC. Estudio general de suelos del sector comprendido entre los ríos Anchicayá- Naya, 1995
IGAC. Estudio general de suelos de las cuencas de los ríos Anchicayá, Calima y Bahía Malaga, 1994
CVC. Estudio general de suelos zona Andina, 1997

Las coberturas favorables a la estabilización del ciclo hidrológico de las cuencas son:

- Páramo
- Bosque maduro
- Bosque secundario
- Bosque de sucesión temprana
- Silvopastoriles
- Agrosilvocultivos

Entre las coberturas inapropiadas para la estabilidad del flujo del agua en las cuencas se encuentran:

- Monocultivos
- Potreros sin árboles
- Monocultivos forestales
- Minería de cielo abierto y socavón

Entre los procesos en los que interviene la cobertura vegetal en el flujo del agua se cuentan, la interceptación, la evapotranspiración, la retención de agua en el suelo.

2.2.4. PENDIENTE

La pendiente, es el al ángulo que una línea de máxima pendiente forma con un plano horizontal.

En función de la inclinación media de la superficie de la cuenca hidrográfica, dos zonas en condiciones fisiográficas generales similares registran diferencias evidentes en varios aspectos del régimen hidrológico. En relación con el crecimiento de la pendiente media, crece la velocidad de la escorrentía superficial y en función de ésta disminuye la infiltración, pueden crecer los picos de las avenidas², aumenta la capacidad de erosión y en condiciones de homogeneidad litológica puede crecer la turbidez del agua o la concentración de sedimentos y los caudales de aluviones.

Por otro lado la influencia de la pendiente media de la corriente se nota principalmente en la duración de subida o en la duración total de las avenidas. Su influencia se acopla a la de la longitud de la corriente, también indica el aspecto de la variación de algunas características fisicoquímicas y biológicas del agua, una corriente de pendiente pronunciada tendrá siempre aguas mejor oxigenadas, debido a la mayor turbulencia y la mayor capacidad de erosión y transporte. En conexión con el contenido de oxígeno y la mineralización, las condiciones biológicas serán a su vez más favorables.

² Avenidas: Crecidas de los ríos

La pendiente media de la cuenca tiene gran relación con la velocidad media de la escorrentía superficial, y en función de esta disminuye la infiltración y se pueden crecer los picos de avenidas, aumentando con ello la capacidad de erosión y la concentración de sedimentos. De acuerdo con la pendiente media de la cuenca se tiene la siguiente clasificación de la tabla:

PENDIENTE MEDIA	RELIEVE
0 - 3	PLANO
3 - 7	ONDULADO
7 - 12	MEDIANO
12 - 20	ACCIDENTADO
20 - 35	FUERTE
35 - 50	MUY FUERTE
50 - 75	ESCARPADO
> 75	MUY ESCARPADO

TABLA 3. Pendientes y Relieve

3. BIBLIOGRAFIA

CICA, Aspectos Metodológicos para la Aproximación de las Cuentas de Oferta y Demanda de Agua de una Cuenca Hidrográfica, Bogotá 1997

HENAO, S. Jesús Eugenio. Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas, USTA, Bogotá 1995

CVC, Cuentas de Patrimonio Natural del Recurso Hídrico en las Cuencas de los Ríos Tulúa y Morales, Cali 1999

MONTOYA, R. Álvaro Hernán, Díaz – Granados Mario. Efecto de la Cobertura Vegetal en la Respuesta Hidrológica de Cuencas hidrográficas.

ALLEN Richard G., Pereira Luis S., Raes Dirk, Smith Martin. Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements .FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 1998

**DOCUMENTO METODOLOGICO PARA EL BALANCE DE LA
OFERTA Y DEMANDA INCUIDAS EN EL MODELO HIDRICO
DEL PARQUE NACIONAL NATURAL FARALLONES**

Presentado por:

MARÍA JULIANA CERÓN BUSTAMANTE

UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DEL SISTEMA DE PARQUES NACIONALES
NATURALES
PROGRAMA PARQUES DEL PACIFICO FASE II
TERRITORIAL SUROCCIDENTE
PARQUE NACIONAL NATURAL FARALLONES

Santiago de Cali, Marzo de 2004

PRESENTACIÓN

Este documento se presenta como resultado final del contrato de consultoría del proyecto parques del pacífico

Con él se pretende mostrar los ajustes metodológicos realizados a la metodología recomendada para el modelo anual que el Parque Nacional Natural Farallones se encuentra validando actualmente, aportar la metodología para hallar el balance de la oferta hídrica, por dos periodos en el año (húmedo y seco), la cual será incluida en el mismo modelo, con el fin de evaluar de mejor manera el comportamiento hidrológico de la cuenca y su regulación, también se expone la metodología inicial para abordar el tema de demanda hídrica, para ser incluida en el mismo modelo.

CONTENIDO

DOCUMENTO METODOLOGICO PARA EL BALANCE DE LA OFERTA Y LA DEMANDA INCLUIDAS EN EL MODELO HIDRICO DEL PARQUE NACIONAL NATURAL FARALLONES

1.	ANTECEDENTES	5
2.	AJUSTES A LA METODOLOGIA DEL BALANCE ANUAL DE LA OFERTA HIDRICA	6
2.1.	EVAPOTRANSPIRACION REAL	6
2.1.1.	METODOLOGIA PLANTEADA	6
2.1.2.	AJUSTES	7
2.2.	ALMACENAMIENTO (ΔS)	8
2.2.1.	METODOLOGIA PLANTEADA	8
2.2.2.	AJUSTES	9
3.	METODOLOGIA POR PERIODOS O EPOCAS	9
3.1.	PRECIPITACION	9
3.2.	EVAPOTRANSPIRACION REAL	12
3.3.	ESCORRENTIA	13
3.4.	ALMACENAMIENTO (ΔS)	16
4.	METODOLOGIA INICIAL PARA CALCULAR LA DEMANDA HIDRICA	16
4.1.	DEMANDA HIDRICA	16
4.1.1.	ACTIVIDADES AGRICOLAS	17
4.1.2.	ACTIVIDADES DOMESTICAS	18
4.1.3.	ACTIVIDADES INDUSTRIALES	18
4.1.4.	OTROS USOS	18
4.2.	BALANCE DE LA DEMANDA DEL AGUA	19
4.3.	PROYECCION DEL USO Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA	19
4.3.1.	INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD DEL RECURSO HIDRICO	19
4.3.1.1.	INDICE DE ESCASEZ – RELACION OFERTA DEMANDA	20
4.3.1.2.	INDICE DE VULNERABILIDAD	20
5.	BIBLIOGRAFIA	21

INDICE DE TABLAS

tabla 1. valores de kc para coberturas no comerciales	7
tabla 2. precipitacion anual multianual cuenca del rio cali.....	9
tabla 3. precipitacion por 4 periodos multianuales cuenca del rio cali.....	10
tabla 4. precipitacion por 2 periodos multianuales cuenca del rio cali.....	11
tabla 5. datos de caudal mensual multianual en las estaciones del rio cali.....	13
tabla 6. valores correspondientes cha I (suelo seco) y cha III (suelo húmedo) a partir de cha II (suelo moderadamente húmedo)	14
tabla 7. numero de curva para casos de condicion de humedad antecedente I y III.....	15

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. precipitacion promedio mensual multianual de la cuenca del rio cali.....	10
Figura 2. precipitacion por 4 periodos multianuales de la cuenca del rio cali.....	11
Figura 3. precipitacion por 2 periodos multianuales de la cuenca del rio cali.....	11

DOCUMENTO METODOLOGICO PARA EL BALANCE DE LA OFERTA Y DEMANDA INCUIDAS EN EL MODELO HIDRICO DEL PARQUE NACIONAL NATURAL FARALLONES

I. ANTECEDENTES

La Estrategia de Sostenibilidad Financiera que el parque farallones ha proyectado, incluye entre sus componentes un Modelo Hidrico que determine la oferta y la demanda hidrica de las cuencas que tienen su nacimiento en el área protegida. La variable demanda, hasta ahora no habia sido tomada en cuenta, ya que se inició calculando la oferta hidrica en primera instancia, ahora que esta variable se halló de manera anual, en la cuenca de estudio, se procede a calcular la demanda para hacer la comparación entre la oferta y la demanda.

Actualmente se cuenta con una metodología para balance anual, la cual se encuentra en proceso de validación y ajuste, para determinar una oferta hidrica anual multianual en la cuenca del río Cali (cuenca piloto), con datos recolectados de 21 años de precipitación y caudal, y con una confiabilidad del 96% en su calculo.

La demanda hidrica se encuentra íntimamente relacionada con el Programa de Administración de Agua que viene adelantando el Parque, ya que caracteriza los usuarios del recurso hídrico y los usos que se le da al recurso, por tal razón, en algunos casos la cuantificación de la demanda será susceptible de ajustes, debido a la información recolectada, por los funcionarios en campo.

El modelo tiene como su principal objetivo, la negociación de recursos financieros con instituciones para conservación y recuperación de las cuencas que surten de agua a los municipios en jurisdicción del Parque Nacional Natural Farallones.

2. AJUSTES A LA METODOLOGIA DEL BALANCE ANUAL DE LA OFERTA HIDRICA

Para el modelo anual realizado en la anterior consultoría fue necesario ajustar la metodología en las siguientes variables:

2.1. EVAPOTRANSPIRACION REAL

2.1.1. METODOLOGIA PLANTEADA

¹Para el cálculo de esta variable se usó la metodología planteada por Turc, Langbein y Wunt, quienes no plantean la potencial sino la media anual en cuencas y por lo tanto se puede despreciar el efecto del almacenamiento y evitar el uso del cálculo de la evapotranspiración potencial con factores de ajuste, que da buenos resultados solo cuando la distribución temporal de la precipitación es uniforme a lo largo del año y de cada una de sus décadas. La ecuación se plantea de la siguiente forma:

$$E = P / \{ 0.9 + P^2 / [L(t)]^2 \}$$

Donde: $L(t) = 300 + 25 + 0.05 t^3$

T = temperatura media anual en °C

Si $P^2 / [L(t)]^2 \leq 0.1$ entonces $E = P$

Para la obtención de la ETRa (ETR afectada) por la cobertura vegetal se multiplica el resultado anterior de ETR por el coeficiente de cultivo k_c que depende de cada especie vegetal o uso del suelo y de su relación ponderada de área

Por lo tanto:

$$ETRa = k_c * ETR * \% \text{ Ponderado de Área}$$

Donde:

ETRa: Evapotranspiración Real afectada (mm)

Kc: Coeficiente de cultivo (decimal)

ETR: Evapotranspiración Real (mm)

Los valores de K_C para coberturas no comerciales utilizados para el balance de la cuenca del río Cali son:

¹ HERRERA, José Agustín, Proyecto los Cerros, Bogotá

TABLA 1. VALORES DE Kc PARA COBERTURAS NO COMERCIALES

USO DEL SUELO	Kc
Bosque natural	0.75
Bosque plantado	0.75
Vegetación de páramo	1.00
Rastrojo bajo	0.60
Rastrojo alto	0.60
Café	0.60
Pasto natural	1.00
Pajonales	1.00
Hortalizas	0.90

Fuente: Efecto de la cobertura vegetal en la respuesta hidrológica de cuencas hidrográficas. Montoya Ramírez Hernán, Mario Díaz Granados. CVC.

2.1.2. AJUSTES

La fórmula de TURC ajustada que permite obtener estimaciones mensuales anuales que correspondan a un orden de magnitud de la precipitación y a la variación de la temperatura durante el año y de esta manera deducir un valor promedio anual lo más aproximado a la realidad. La fórmula entonces es la siguiente:

$$ETR = P / ((0.9 + P^2 / (L/12)^2)^{1/2})$$

Donde:

ETR = Evapotranspiración real anual en mm

P = Precipitación anual en mm

L = Parámetro heliotérmico expresado como:

$$L = 25 + 25T + 0.05T$$

T = Temperatura media anual en °C

La afectación de la fórmula de ETP por el Kc sigue siendo la misma.

2.2. ALMACENAMIENTO (ΔS)

2.2.1. METODOLOGIA PLANTEADA

La capacidad de almacenamiento, es la cantidad de agua aprovechable por las plantas que puede almacenar el suelo, y depende principalmente de la textura del suelo y de su profundidad.

Para establecer la condición media de F.V.A.A. (fracción volumétrica de agua aprovechable en el perfil, mm), se tiene en cuenta el promedio ponderado de las características físicas consideradas (textura promedio en la zona y profundidad del suelo promedia).

$$F.V.A.A. = P.S. * f.v.a.a.$$

Donde:

F.V.A.A. = Fracción volumétrica de agua aprovechable en el perfil (mm)

P.S. = Profundidad efectiva del suelo (cm)

f.v.a.a. = Fracción volumétrica de agua aprovechable unitaria (mm/cm)

Para el cálculo de esta variable se tiene en cuenta las unidades de suelos que tiene el PNN en el estudio general de suelos realizado por el Instituto Agustín Codazzi.²

Criterios Para suelos:

Textura fina: arcillosa

Textura Moderadamente fina: limo arcillosa

Textura media: franca

Textura gruesa: arenosa

Textura Moderadamente gruesa: franco arenosa

Criterios para Profundidad Efectiva:

Se utiliza la pirámide de la relación entre la fracción volumétrica aprovechable en el suelo y su textura

Este valor es tomado para el ΔS el cual es la sumatoria de las variables:

- Almacenamiento
- Infiltración
- Percolación

² Disponible en el archivo de PNN Farallones

2.2.2. AJUSTES

Esta variable se calcula por medio de la diferencia entre las variables es decir:

$$\Delta S = P - ETP - Q$$

3. METODOLOGIA POR PERIODOS O EPOCAS

De acuerdo al objetivo del modelo, el cual es la negociación con actores institucionales por recursos para la conservación y regulación hídrica de la cuenca, se ha considerado bajar la escala del modelo a periodos o épocas lluviosas y secas. Para esta metodología se tienen en cuenta las mismas variables que para el modelo anual estas variables son:

- Precipitación
- Evapotranspiración real
- Escorrentía
- Almacenamiento (ΔS)

3.1. PRECIPITACION

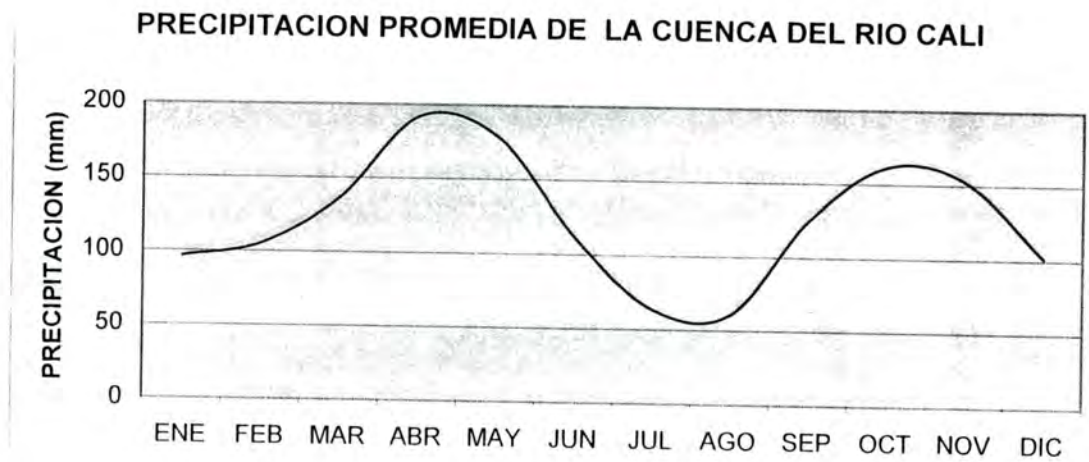
La precipitación es la variable tomada en cuenta para el criterio para agrupar los periodos o épocas de precipitación de la siguiente manera:

Se toma el periodo de tiempo homogéneo seleccionado para todas las estaciones, con el fin de generar el promedio mensual multianual con un tiempo de 21 años desde 1982 al 2002. con esto se realiza la siguiente gráfica de precipitación, y se procede a agrupar los periodos.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PROMEDIO PRECIPITACION	96,555	105,3575	136,744	192	179,01	111,8	63,72	60,634	125,33	161,73	152,02	101,58

TABLA 2. PRECIPITACION ANUAL MULTIANUAL CUENCA DEL RIO CALI

FIGURA 1. PRECIPITACION PROMEDIA MENSUAL MULTIANUAL DE LA CUENCA DEL RIO CALI



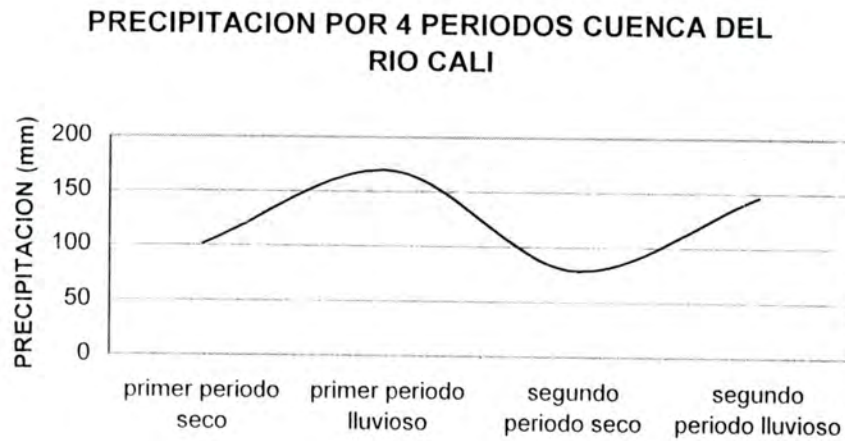
Tomando la mediana de precipitación que tiene un resultado de 118,5675, los meses que tengan la precipitación más alta serán agrupados en la época lluviosa y los meses que estén por debajo de la mediana serán agrupados en la época seca. Por ende los grupos quedarían de la siguiente manera:

- Primera época seca: diciembre, enero y febrero
- Segunda época seca: junio, julio y agosto
- Primera época lluviosa: marzo, abril y mayo
- Segunda época lluviosa: septiembre, octubre y noviembre

TABLA 3. PRECIPITACION POR 4 PERIODOS MULTIANUALES CUENCA DEL RIO CALI

primer periodo seco	primer periodo lluvioso	segundo periodo seco	segundo periodo lluvioso
101,163333	169,25333	78,7175	146,3608

FIGURA 2. PRECIPITACION POR 4 PERIODOS MULTIANUALES DE LA CUENCA DEL RIO CALI

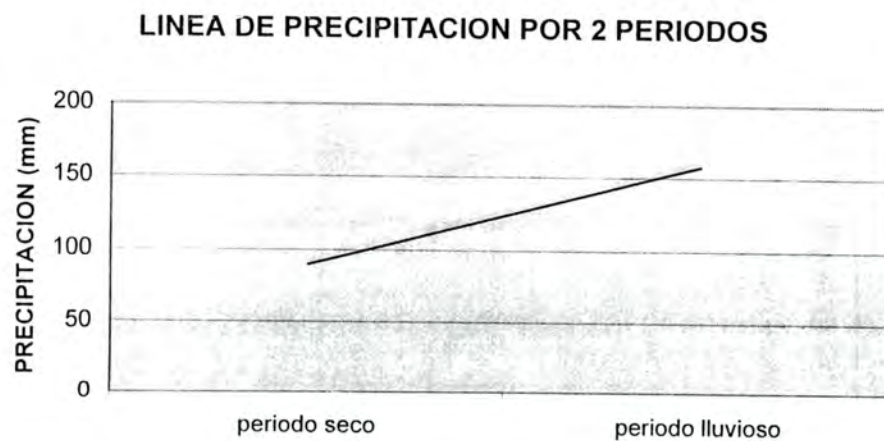


En el caso de que el modelo sea requerido con dos periodos en el año, la metodología será agrupando los periodos en dos de la siguiente manera:

TABLA 4. PRECIPITACION POR 2 PERIODOS MULTIANUALES CUENCA DEL RIO CALI

periodo seco	periodo lluvioso
89,9404167	157,80708

FIGURA 3. PRECIPITACION POR 2 PERIODOS MULTIANUALES DE LA CUENCA DEL RIO CALI



Con base en esta información se realizaría el mapa de isohietas, según se defina, internamente si se realizaría en los periodos propuestos por la consultoría.

3.2. EVAPOTRANSPIRACION REAL

Para el cálculo de la ETR se utilizará la misma fórmula de TURC que se utilizó para el balance anual, con los ajustes para los periodos

$$ETR = P / ((0.9 + P^2 / (L/12)^2)^{1/2})$$

Donde:

ETR = Evapotranspiración real en el periodo en mm

P = Precipitación en el periodo en mm

L = Parámetro heliotérmico expresado como:

$$L = 25 + 25T + 0.05T$$

T = Temperatura media en el periodo en °C

La constante que cambia en la fórmula es el **12**, ya que esta indica la cantidad de meses por compilados en variable, es decir que para los cuatro periodos anuales la fórmula quedaría así:

$$ETR = P / ((0.9 + P^2 / (L/3)^2)^{1/2})$$

Y para los dos periodos anuales la fórmula quedaría así: $ETR = P / ((0.9 + P^2 / (L/6)^2)^{1/2})$

Para la obtención de la ETRa (ETR afectada) por la cobertura vegetal se multiplica el resultado anterior de ETR por el coeficiente de cultivo kc que depende de cada especie vegetal o uso del suelo y de su relación ponderada de área

Por lo tanto:

$$ETRa = kc * ETR * \% \text{ Ponderado de Área}$$

Donde:

ETRa: Evapotranspiración Real afectada en mm

Kc: Coeficiente de cultivo (decimal)

ETR: Evapotranspiración Real del periodo en mm

Nota: los coeficientes de cultivo utilizados son los referidos en la tabla No. 1 de la página 7

3.3. ESCORRENTIA

Esta variable tendrá la misma modelación que en el modelo anual, es decir por medio del Curva Número (CN) del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS).

Los datos simulados se comparan con el promedio mensual – anual de estaciones de caudal, los cuales para el caso de la cuenca del río Cali se obtuvieron de la CVC a partir de la información de las estaciones limnimétricas de Pichinde y Cali Bocatoma

TABLA 5. DATOS DE CAUDAL MENSUAL MULTIANUAL EN LAS ESTACIONES DEL RIO CALI

Estación	categoria	Latitud Decimal	Longitud Decimal	Altura	PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES m3/seg. Periodo de 1982 al 2002												Prom Mensual Annual
					Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Bocatoma	LG	3.45	-76.57	997	3.56	3.45	3.69	4.88	5.85	4.91	2.64	1.53	2.24	3.52	4.62	3.91	3.73
Pichinde	LG	3.43	-76.62	1540	2.15	2.21	2.30	3.11	3.48	2.66	1.66	1.39	1.51	2.64	2.48	2.26	2.32

La información de caudal para los meses faltantes se obtuvo con la media aritmética del mes multianual.

Se corrió el modelo de curva número (CN) del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS), ya que las estaciones de caudal ubicadas en la cuenca no revelan un porcentaje de ajuste bueno, este modelo tiene la siguiente fórmula:

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

Donde:

Q = Escorrentía

P = Precipitación del periodo dado en mm

S = Capacidad de almacenamiento útil en el suelo en mm

La principal limitación del planteamiento, la constituye la estimación de S, pero en general permite una buena aproximación de Q para cuencas sin datos. El valor de S, depende de factores edáficos, condiciones de la superficie y humedad antecedente. Numéricamente, el valor de S es igual a la capacidad de almacenamiento útil en el suelo. El SCS, luego de analizar gran cantidad de hidrográmas, definió un procedimiento para estimar S en función de la curva número (CN) mediante la siguiente ecuación:

$$S = [(2540/CN) - 25.4] * 10 \text{ donde S está dado en mm}$$

El procedimiento a seguir en una cuenca para definir el valor de CN, para una condición de humedad antecedente promedio (CHAI), es el siguiente.

A partir de los complejos suelo- cobertura, los suelos se definen como:

Grupo A: de bajo potencial de escorrentía, con altas tasas de infiltración (gravas y arenas)

Grupo B: con tasas de infiltración moderada

Grupo C: tienen una tasa de infiltración lenta y el suelo impide el fácil movimiento del agua por tener una textura fina.

Grupo D: de alto potencial de escorrentía, tienen una tasa de infiltración muy lenta, son suelos arcillosos con alto potencial de expansión (ver tabla 6).

Se debe establecer la clase de tratamiento y uso de la tierra, a partir de las prácticas de siembra (Cultivos, pastos, bosques, rastrojo, etc.) y definir la condición hidrológica, que es un indicador de la cobertura vegetal de la siguiente forma:

Buena = cobertura \geq al 75% del área

Regular = cobertura entre el 50 y el 75% del área

Mala = cobertura $<$ al 50% del área

En la tabla que se presenta y de acuerdo con las condiciones anotadas anteriormente, se selecciona la CN para la cuenca y la CHA II. Posteriormente, se debe cuantificar el volumen total de lluvia precipitado en los cinco días anteriores al evento en consideración y establecer la Condición de Humedad Antecedente (CHA) para ese día, de acuerdo con los siguientes rangos de precipitación:

TABLA 6. VALORES CORRESPONDIENTES CHA I (SUELO SECO) Y CHA III (SUELO HÚMEDO) A PARTIR DE CHA II (SUELO MODERADAMENTE HUMEDO)

CHA	Período Húmedo	Período Seco
i	$P < 35.0 \text{ mm}$	$P < 12.5 \text{ mm}$
II	$35.0 > P < 52.5 \text{ mm}$	$12.5 > P < 28.0 \text{ mm}$
III	$P > 52.5 \text{ mm}$	$P > 28.0 \text{ mm}$

TABLA 7. NUMERO DE CURVA PARA CASOS DE CONDICION DE HUMEDAD ANTECEDENTE I Y III

CN PARA LAS CONDICIONES			CN PARA LAS CONDICIONES		
II	I	III	II	I	III
100	100	100	74	55	88
99	97	100	73	54	87
98	94	99	72	53	86
97	91	99	71	52	86
96	89	99	70	51	85
95	87	98	69	50	84
94	85	98	68	48	84
93	83	98	67	47	83
92	81	97	66	46	82
91	80	97	65	45	82
90	78	96	64	44	81
89	76	96	63	43	80
88	75	95	62	42	79
87	73	95	61	41	78
86	72	94	60	40	78
85	70	94	59	39	77
84	68	93	58	38	76
83	67	93	57	37	75
82	66	92	56	36	75
81	64	92	55	35	74
80	63	91	54	34	73
79	72	91	53	33	72
78	60	90	52	32	71
77	59	89	51	31	70
76	58	89	50	31	70
75	57	88	49	30	69

Una vez definida la CN, se calcula el valor de S y luego el valor de Q (escorrentía directa).

3.4. ALMACENAMIENTO (ΔS)

Para esta variable no se cuenta con datos tomados en la cuenca, por tal razón se calcula despejando la fórmula del balance de la siguiente manera:

$$\Delta S = Q + E - P$$

Actualmente se estudia la manera en que exista una metodología para ajustar esta variable con datos tomados en la cuenca.

4. METODOLOGIA INICIAL PARA CALCULAR LA DEMANDA HIDRICA

4.1. DEMANDA HIDRICA

Los seres humanos utilizan intensivamente el recurso hídrico tanto para sus necesidades biológicas y culturales básicas como para las diferentes actividades económicas. Cada uno de los diferentes usos tiene unos requerimientos de calidad o características físico químicas y biológicas particulares, por lo cual el análisis de la oferta y demanda no pueden realizarse exclusivamente en términos cuantitativos de rendimientos o caudales.

Aunque el mayor uso de agua tiene lugar en las actividades agropecuarias los aspectos más críticos de disponibilidad tienen relación con sus usos para el abastecimiento de agua potable para la población, para los procesos industriales y para la generación de energía eléctrica.

Para los análisis de oferta y demanda del sector agropecuario debe tenerse en cuenta que buena parte de la producción es realizada en condiciones de secano lo cual quiere decir que aprovecha directamente el recurso hídrico procedente de la precipitación y por tanto su demanda o utilización de agua queda incluida en el balance hídrico en el rubro de evapotranspiración.

El agua utilizada para usos domiciliarios e industriales y que constituye una proporción mínima respecto a la empleada por los distritos de riego y consumos pecuarios, a diferencia de estos últimos, retorna los volúmenes usados al sistema hídrico, pero con características de calidad sensiblemente inferiores afectando la disponibilidad del recurso aguas abajo.

Para el efecto de un análisis conceptual y operativo de los diferentes usos y demandas del recurso hídrico conviene hacer las siguientes distinciones y precisiones:

1. La mayor parte de las necesidades hídricas del sector agrícola, particularmente la que corresponde a los denominados cultivos de secano, se satisface básicamente con el producto de las precipitaciones y por tanto es descontada dentro del balance hídrico en el concepto de evapotranspiración, el cual cubre tanto a la vegetación nativa y los bosques como a los agro-ecosistema. Esta demanda agrícola de secano, o directa de precipitación que podría denominarse también "natural o extractiva" pese a construir uno de los usos más importantes, significativos y voluminosos del agua, en sentido estricto no compite con el resto de usos y demandas.
2. El resto de la demanda que podría denominarse demanda extractiva está constituida por los usos que implican sustracción, alteración, desviación o retención temporal del recurso hídrico. Esta demanda incluye por tanto, la correspondiente a todos los usos humanos y por ende económicos. El presente documento da cuenta de todos los usos humanos, domiciliarios y económicos contabilizados a nivel municipal.
3. Los distintos usos y demandas extractivas del recurso hídrico, implican tasas de retorno diferenciales, desde el caso extremo de los usos de riego que pueden considerarse como estrictamente consuntivos, hasta los de generación hidroeléctrica, o los recreativos, que retornan la totalidad del agua empleada a los cauces, o no generan alteración del ciclo hidrológico, y por tanto pueden catalogarse como no consuntivos.

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

4.1.1. ACTIVIDADES AGRICOLAS

Los cultivos requieren de agua para efectuar los procesos fisiológicos, de transpiración, transformación de tejidos y alcanzar el apropiado desarrollo de las plantas. Para lograr un aprovechamiento eficaz del agua, se deben proporcionar unas condiciones óptimas de humedad en el 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 de suelo. El agua lluvia sule parte de esta demanda, la lámina faltante se aplica a través de los sistemas de riego.

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 K_c que se establece según la velocidad del viento y la humedad relativa.

4.1.2. ACTIVIDADES DOMESTICAS

Una población o comunidad necesita de agua para abastecer sus necesidades de consumo de agua potable y uso doméstico. La estimación de la demanda de agua requerida para consumo humano, se determina con la base en la proyección de la población, tomando como punto de partida el último censo y adoptando una dotación de 250 litros por habitante por día, teniendo en cuenta labores de beneficio, eficiencia y riego de pequeñas parcelas.

4.1.3. ACTIVIDADES INDUSTRIALES

Los factores que intervienen en la demanda de agua por la industria son numerosos, debido precisamente a toda una serie de procesos industriales a que ésta es sometida. Entre una lista extensa de actividades industriales que consumen agua se destacan: alimentos y bebidas, productos lácteos, cervezas y gaseosas, producción de pulpa y cartón, metales primarios en la siderurgia, productos químicos, cemento, minería del carbón, derivados del petróleo, y del carbón, generación termoeléctrica, industria textil, fertilizantes, jabone y tintas, etc.

4.1.4. 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 (caudal ecológico); cualquier disminución del caudal en un cauce implica cambios en el ecosistema y por tanto una alteración del equilibrio.

El deterioro de las cuencas hidrográficas es reflejado en la estructura y dinámica de las comunidades acuáticas; por lo tanto, es necesario conocer el funcionamiento de los ecosistemas naturales y poder tener una aproximación a los límites de uso y/o perturbación a los cuales ellos puedan llegar. Para el recurso hídrico, una manera de obtener esta aproximación es determinando el Caudal Ecológico de las corrientes permanentes.

La comunidad de organismos refleja la integración de las características predominantes del ambiente durante cierto tiempo, en tanto que las características presentadas por los factores físicos y químicos muestran las condiciones instantáneas en el momento de muestreo.

La finalidad del funcionamiento del ecosistema es el mantenimiento de su propia estructura, la cual, para una comunidad se obtiene a partir de los índices ecológicos que son:

- La riqueza de especies
- La diversidad de la comunidad
- La equitabilidad
- La densidad total

Existen diversas metodologías para conocer los caudales ecológicos: las hidrológicas, las hidráulicas, las biológicas, las de simulación de hábitats. La aplicación de estas metodologías a una cuenca específica es un proceso que requiere un trabajo de campo y análisis de datos, por lo tanto se requiere de tiempo para la determinación de esta variable.

Mientras el parque pueda llevar a cabo estos estudios se ha definido adoptar la metodología de la CVC el cual adopta como referencia de caudal ecológico un valor que oscila entre el 10 y el 30% del caudal medio mensual multianual más bajo medido en la estación.

4.2. BALANCE DE LA DEMANDA DEL AGUA

La demanda de agua se estima contabilizando las cantidades utilizadas en los diferentes usos y consumo de las actividades humanas: industria, agua potable, agricultura, ganadería, minería, acuicultura, recreación, turismo, etc. La demanda de agua para las diferentes actividades humanas se estima mediante el registro del inventario de las concesiones de agua para acueductos urbanos y rurales, industria, minería, recreación, acuicultura. La demanda de agua en las actividades agropecuarias de irrigación de cultivos y pastizales y/o praderas se estima mediante el Balance Hídrico de Consumo Agropecuario, el cual se obtiene mediante varios métodos permitiendo valorar y analizar los requerimientos de agua en forma aproximada por meses, estaciones y años, porque también se pueden establecer las épocas de sequía agrícola y los déficits de agua durante el año.

4.3. PROYECCION DEL USO Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA

El uso del agua debe aumentar en función del crecimiento e intensidad de las actividades económicas de las cuencas y desde luego del crecimiento demográfico. Los posibles escenarios de demanda permiten perfilar el manejo y prever las posibilidades de desequilibrio entre la demanda de agua y la oferta, en condiciones medias y extremas y las estrategias para enfrentar necesidades cada vez mayores, bajo presiones de sobreexplotación de fuentes y escasez recurrente del agua.

4.3.1. INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD DEL RECURSO HIDRICO

Para el conocimiento y comprensión del estado actual y futuro y la dinámica de procesos básicos del recurso hídrico en las cuencas pequeñas se consideran indicadores básicos que muestren en alguna medida el estado (físico, químico y biológico) y la dinámica del medio natural y su relación con los procesos y demandas por el uso del agua de las actividades sociales y económicas. Estas relaciones permiten predecir y anticipar equilibrios y desequilibrios posibles y por lo tanto aspectos de sostenibilidad del recurso hídrico y de las actividades que de él dependen.

A partir de la evaluación de la oferta hídrica neta y considerando la estimación de la demanda de agua para los diferentes sectores, se cuantifica en las diferentes unidades de análisis los principales indicadores de sostenibilidad. Estos indicadores hacen referencia al índice de escasez (relación de la demanda sobre la oferta en porcentaje) y el índice de vulnerabilidad por disponibilidad de agua, que incorpora las relaciones de la regulación hídrica natural del sistema suelo- cobertura vegetal.

4.3.1.1. INDICE DE ESCASEZ – RELACION OFERTA DEMANDA

El índice de escasez es la relación porcentual de la demanda de agua, ejercida por el conjunto de las actividades sociales y económicas para su uso y aprovechamiento, con la oferta hídrica disponible, luego de aplicar factores de reducción por calidad de agua y caudal ecológico. El presente análisis se realiza teniendo en cuenta las estimaciones de demanda.

En este contexto, el índice de escasez se agrupa en 5 categorías para evaluar condiciones actuales y de sostenibilidad en áreas hidrográficas de fuentes de las cuales dependen los diferentes asentamientos humanos.

Para evaluar la relación que existe entre las condiciones de demanda predominante en una unidad de análisis seleccionada y la oferta hídrica disponible, se parte de la clasificación que cita las Naciones Unidas, la cual expresa la relación entre aprovechamiento hídrico como porcentaje de la disponibilidad de agua. En esta relación cuando los aprovechamientos representan más del 20% de la oferta disponible, se empiezan a observar condiciones críticas.

El índice de escasez que se expresa en porcentaje, identifica la abundancia o escasez relativa de agua en una región o municipio, relacionando la demanda específica con la oferta neta correspondiente. Debe tenerse en cuenta que el abastecimiento de agua para los diferentes usos involucra aspectos como el almacenamiento y transporte del recurso hídrico.

4.3.1.2. INDICE DE VULNERABILIDAD

Con el propósito de estimar o cualificar los riesgos de las diferentes actividades del desarrollo, se determina la vulnerabilidad de las fuentes relacionadas con la disponibilidad de agua.

La vulnerabilidad es un indicador que muestra el grado de fragilidad o de fortaleza del sistema hídrico, al existir o no existir suficiente disponibilidad de agua en una región para el abastecimiento, lo cual ante diferentes amenazas, tales como períodos largos de sequía ocasionados por eventos extraordinarios (fenómeno cálido del Pacífico "Niño") podría generar riesgo de desabastecimiento, especialmente en las pequeñas cuencas hidrográficas.

Para los efectos iniciales del análisis de la vulnerabilidad en cada cuenca o región hidrográfica, se determina el Índice de escasez y la capacidad de regulación hídrica, como los factores que al interrelacionarse originan el Índice de Vulnerabilidad por disponibilidad del agua.

5. BIBLIOGRAFIA

- HENAO, S. Jesús Eugenio. Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas, USTA, Bogotá 1995
- MONTOYA, R. Álvaro Hernán, Díaz – Granados Mario. Efecto de la Cobertura Vegetal en la Respuesta Hidrológica de Cuencas hidrográficas.
- ALLEN Richard G., Pereira Luis S., Raes Dirk, Smith Martin. Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements .FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 1998
- VIJAY, P.S. Elementary Hidrology. Luisiana State University. Department of Civil Engineering. Englewood Cliffs. New Jersey, 1992.
- MATERÓN, E. y Jiménez, H. Hidrología Básica. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. 2ª Edición. Cali, 1986.
- CVC, Cuentas de Patrimonio Natural del Recurso Hídrico en las Cuencas de los Ríos Tulúa y Morales, Cali 1999
- MARIN, R. Rodrigo, Estadísticas sobre el Recurso Agua en Colombia, HIMAT, Bogotá 1992
- CICA, Aspectos Metodológicos para la Aproximación de las Cuentas de Oferta y Demanda de Agua de una Cuenca Hidrográfica, Bogotá 1997
- IDEAM, Estudio Nacional del Agua, Indicadores de Sostenibilidad Proyectados al año 2016, Bogotá 1999