



DISTRIBUTION OF THE WATER RESOURCES OF THE MICROBASIN THE QUIÑA, DEPARTMENT BOYACÁ, COLOMBIA

DISTRIBUCIÓN DEL RECURSO HÍDRICO DE LA MICROCUENCA LA QUIÑA, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, COLOMBIA

Ingeniera Ambiental. Grupo investigaciones ambientales Agua Aire y suelo. Cruz S., Diana Carolina* Rivera María E..*

***Profesor Asociado, Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Grupo investigaciones ambientales Agua Aire y Suelo. Universidad de Pamplona, Tel: 5685303 (ext. 140) e-mail: maes@unipamplona.edu.co*

Universidad de Pamplona

Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.
Tel: 57-7-5685303, Fax: 57-7-5685303 Ext. 140

Abstract

This research was conducted by the University of Pamplona and (CORPOCHIVOR), in order to determine the water supply and demand of the microbasin Q. The Quiña, Boyacá, to the distribution of water based on the uses of the resource, taking into account environmental regulations. Methodologies specified in Resolution 865 of July 22, 2004 and the National Water Study (ENA) 2010 were applied to determine the rate of water scarcity. The mapping of the study area was provided by the SIAT CORPCHIVOR, and supplemented by the collection of information in the field. The programs used for the determination of the ETP is the CROPWAT 8.0 (FAO) and the Excel statistical analysis package.





Resumen

La presente investigación se realizó entre la Universidad de Pamplona y (CORPOCHIVOR), con el objeto es determinar la oferta y demanda hídrica de la microcuenca Q. La Quiña, departamento de Boyacá, para realizar la distribución de agua con base en los usos del recurso, teniendo en cuenta la normativa ambiental. Se aplicaron las metodologías citadas en la Resolución 865 del 22 de Julio 2004 y el Estudio Nacional del Agua (ENA) 2010 para determinar el índice de escasez de agua. La cartografía de la zona de estudio fue proporcionada por el SIAT de CORPOCHIVOR, y complementada con el levantamiento de información en campo. Los programas utilizados para la determinación de la ETP es el CROPWAT 8.0 (FAO) y para los análisis estadísticos el paquete Excel.

Keywords: Water demand, ICA, Index shortage, water supply, Regulation.

Palabras Claves: Demanda hídrica, ICA, Índice de escasez, Oferta hídrica, Reglamentación.

1. INTRODUCCIÓN

La microcuenca “La Quiña” se encuentra entre los municipios de Tenza, La Capilla y Pachavita del departamento de Boyacá bajo la jurisdicción ambiental de la Corporación Autónoma Regional de Chivor (CORPOCHIVOR). La microcuenca Q. La Quiña tiene su cota más alta a los 2790 msnm en la zona del Paramo Cristales, sus aguas discurren a través de la zona limítrofe de los municipios de Tenza, Pachavita y la Capilla (alto del buitres) hasta tributar sus aguas al Rio Garagoa. El cauce principal de la micro-cuenca, nace sobre la cota 2650 msnm abarcando una longitud de 8.806 Km, La Q. La Quiña esta tributada por las

Q. de Chorro Hondo y Chuscal del municipio de Pachavita, una quebrada sin nombre del municipio de La Capilla y dos quebradas de corto recorrido en el municipio de Tenza, entre ellas Quebrada Los Adobes (2296,46 m).

Una de las principales dificultades en la realización del estudio hidrológico es la falta de información a la hora de realizar balances hídricos y curvas de duración de caudales, que permitan realizar una proyección del comportamiento del recurso hídrico a lo largo de los años, por lo cual se hace necesario la aplicación de modelos hidrológicos que permitan mediante información de estaciones meteorológicas y climatológicas cercanas





estimar el estado de la microcuenca en estudio.

Los estudios de oferta y demanda hídrica realizados en cuencas, surgen de la necesidad tener conocimiento de la respuesta que puede dar una cuenca a la incidencia antrópica sobre el recurso hídrico. A nivel colombiano, el estudio más completo de oferta y demanda hídrica, es el Estudio Nacional del Agua planteado por el IDEAM, este ofrece a las instituciones resultados para la toma de decisiones y la creación de escenarios de planificación a nivel del país.

La reglamentación de corriente es un requerimiento legal que analiza mediante un análisis hidrológico la relación de oferta y demanda hídrica, la disponibilidad de agua, para realizar una distribución de aguas en la zona de estudio. La normatividad ambiental Colombiana define la reglamentación, como la aplicación conjunta de acciones de orden técnico y jurídico, destinadas a obtener una mejor distribución del agua; mediante estudios técnicos para conocer el comportamiento de la oferta y demanda hídrica en la cuenca, soporta la aplicación de la reglamentación como un instrumento de la gestión integrada del recurso hídrico (GIRH), que permita su administración eficiente, concentrando esfuerzos de control y vigilancia en las captaciones principales (Sabas R. C., 2009).

2. MARCO TEÓRICO

Demanda hídrica. La resolución 0865 de 2004 define la demanda hídrica representa el volumen de agua, expresado en metros cúbicos, utilizado para las actividades socioeconómicas en un espacio y tiempo determinado, y corresponde a la sumatoria de las demandas sectoriales, donde la Demanda Total de agua (DT) es la sumatoria de cada una de las demandas por sectores: demanda de agua para uso doméstico (DUD), demanda de agua para uso industrial (DUI), demanda de agua para el sector servicios (DUS).

Demanda Agrícola. El uso del agua en la producción agrícola se establece en función de las necesidades de riego de los diferentes cultivos, es la cantidad de agua necesaria para alcanzar el equilibrio entre la cantidad de agua requerida por el cultivo y la precipitación efectiva (ENA, 2010).

La variación del coeficiente K_c a lo largo el crecimiento del cultivo representado por la curva de coeficiente de cultivo (Figura 1).

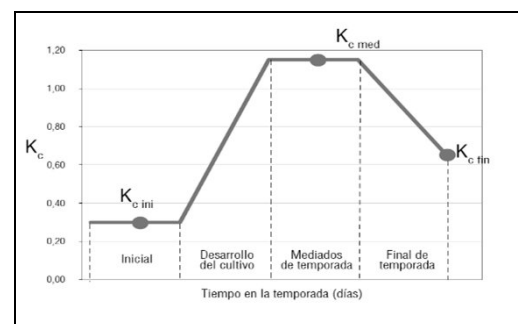


Figura 1. Curva del coeficiente del cultivo. Fuente: FAO, 2006

Oferta hídrica. La caracterización y la estimación de la oferta hídrica superficial,





se soporta en los procesos del ciclo hidrológico y en la cuantificación de sus componentes a partir del balance hídrico, en particular la escorrentía y su expresión en términos de rendimiento hídrico. El ENA expresa la oferta hídrica superficial como el volumen de agua continental que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje superficial, esta variable se analiza para unidades temporales anuales y mensuales en condiciones hidrológicas promedio, húmedas y año típico seco.

La estimación de la oferta hídrica para un espacio y periodo específico tiene como base el ciclo hidrológico modelado mediante el balance hídrico el cual determina la disponibilidad del agua en cada una de las fases: precipitación, evapotranspiración real, infiltración y escorrentía. El ciclo hidrológico comprende una serie de procesos continuos e interdependientes, de movimiento y transferencia de agua en la tierra, el océano, cuerpos de agua y en la atmósfera. Un balance hídrico es la cuantificación tanto de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico, como de los consumos de agua de los diferentes sectores de usuarios, en un área determinada, cuenca, y la interrelación entre ellos, dando como resultado un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en cuanto a su oferta, disponibilidad y demanda en dicha área (Servicio Nacional de Estudios Territoriales – Servicio Hidrológico Nacional Balance Hídrico Integrado y Dinámico, 2005). Mediante el balance hídrico, se pueden caracterizar las diferentes regiones y establecer el rango de disponibilidad natural de agua, como resultado de la interrelación de los

parámetros hidrológicos y meteorológicos. La ecuación de balance hídrico, para cualquier cuenca, indica los valores relativos de entrada y salida de flujo y la variación de volumen de agua almacenada en la zona. Existen diversos métodos para estimar estas variables de interés hidroclimático. Entre ellos se encuentra el método de Thornthwaite.

Los términos y conceptos involucrados en el balance hídrico se definen a continuación:

Almacenamiento de agua útil (A), existe cuando la precipitación $P > E_p$, quedando una reserva de humedad que se acumula mes a mes y no puede ser superior a la capacidad del campo. **Exceso (E)**: existe si la precipitación es mayor que la evapotranspiración potencial y hay un sobrante de agua, una vez completado el almacenamiento en el suelo. A la suma de los excesos producidos mes a mes durante todo el año se le denomina exceso anual E.

Deficiencia (D): cuando la precipitación es menor a la *evapotranspiración potencial* (E_p), se evapora y transpira toda el agua precipitada. La cantidad que hace falta para completar el total de E_p se toma del almacenamiento y si, aun así, no se completa el valor de E_p el faltante se considera como deficiencia. **Evapotranspiración real** (E_r): es la evapotranspiración que realmente, según el método, ocurre en función del agua disponible ($P+A$). Máximo puede ser igual a la potencial. **Relación de humedad (RH)**: relación de la diferencia de la precipitación y la ETP entre la ETP. **Índice de humedad (Ih)**: está dado por la relación entre el exceso anual (E_x) y la





evapotranspiración potencial anual, expresada en porcentaje.

El valor del caudal que en condiciones promedio circula por el río está sujeto a una distribución temporal que se refleja en el comportamiento anual de los períodos de estiaje y mayor pluviosidad, así mismo su distribución espacial se debe ajustar al sitio de interés que sea elegido sobre el cauce estudiado, el cual determina el valor del área de la cuenca aferente hasta él y por ende su potencial hídrico. Este valor generalmente está asociado a los valores de caudal medidos en las estaciones hidrométricas.

Caudal base es aquel que se encuentra en forma permanente en el cauce del río en cualquier época del año, cuyo origen puede ser el aporte que genera el perfil hidrogeológico de la cuenca y/o el abastecimiento que suministran las zonas de páramo en los sectores más altos de la misma. Cuando estas provisiones no ocurren el cauce se seca durante los períodos de estiaje y la corriente se denomina intermitente. Una de las metodologías que se aceptan con esta finalidad es el empleo de la curva de duración de caudales, la cual refleja, en función de los registros de caudal la permanencia de los caudales a través del tiempo (Ambytec U.T, Corpoboyacá, 2008). El *caudal ecológico* es aquel que mantiene el funcionamiento, composición y estructura del ecosistema fluvial que el cauce contiene en condiciones naturales, preservando los valores ecológicos, el hábitat natural y funciones ambientales como: purificación de aguas, amortiguación de extremos hidrológicos, recreación y pesca, y otros (Davis y Hirji, 1999; García de Jalón y Gonzales del Tánago, s. f). El decreto 3930 de 2010,

define el caudal ambiental como el volumen de agua necesario en términos de calidad, cantidad, duración y estacionalidad para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y para el desarrollo de las actividades económicas de los usuarios, debajo de la fuente de la cual dependen tales ecosistemas.

En la actualidad se emplean muchos métodos para la estimación del caudal ecológico. Uno de los métodos para su evaluación puede ser hidrológico, este se fundamenta en un tratamiento estadístico de las series de caudales naturales mediante técnicas sencillas que deducen un “caudal mínimo” expresado como porcentaje de un estadístico de tendencia central, como percentil de la curva de duración de caudales, o bien como un período de retorno. Estos métodos precisan de unos conocimientos técnicos y datos de campo relativamente limitados y proporcionan de manera rápida y económica un resultado fácilmente interpretable y aplicable, por lo que se han utilizado en condiciones hidrológicas muy diversas (Ambytec U.T, Corpoboyacá, 2008). Las curvas de duración o distribución de frecuencias acumuladas de los caudales medios indican el porcentaje de tiempo durante el cual los caudales igualan o exceden un valor dado, la forma y pendiente de estas curvas refleja la capacidad de regulación de la cuenca en la unidad de tiempo considerada. Adicional, suministran información sobre el porcentaje del tiempo en el que el río lleva un caudal superior o inferior a un determinado valor, pero no reflejan la distribución o secuencia de dicho periodo ni el momento del año en que se produce (ENA, 2010)





El *Caudal disponible* corresponde a la oferta hídrica, se obtiene como la diferencia entre el caudal total y el caudal ecológico, se obtiene como la diferencia entre el caudal total disminuido en un valor que corresponde a la reducción para mantener para proteger las fuentes frágiles (caudal ecológico) y el régimen de estiaje (caudal base). Teniendo en cuenta que trabajó con la curva de duración de caudales medios mensuales, el valor del caudal base del 95% queda incluido en la consideración del caudal ecológico del 75%, por tanto, el caudal disponible es la diferencia entre el caudal total y el caudal ecológico.

Calidad de agua. Un estudio de disponibilidad del recurso hídrico debe considerar la calidad del agua en la fuente, en consecuencia, un amplio rango de sus posibles usos se puede ver restringido y limitado por dicho factor. En el presente estudio se estima la presión que ejerce las actividades domésticas, agrícola, pecuarias y vertimientos de aguas residuales domésticos sobre los cauces de la quebrada La Quiña. En forma general, incluye la variable del caudal (oferta) como componente representativo de la capacidad de depuración de los cuerpos de agua, de la que dependen en gran medida las mediciones de las condiciones de calidad. La determinación del grado de alteración del cuerpo de agua se realiza a través del cálculo de índices calidad diseñados para valorar problemas ambientales diferentes. En Colombia se han formulado varios índices de contaminación conocidos como ICO (Díaz C, Luz A. 2010).

Para el presente estudio se han analizado; el índice de Calidad del Agua "ICA", que indica el grado de

contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje de agua pura, así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a 0%, en tanto que en el agua en excelentes condiciones el valor del índice será cercano a 100%. Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano "IRCA (Resolución 2115 de 2005.)". En la tabla 1 se muestran las variables requeridas para cálculo de cada índice.

Tabla 1. Variables de los Índices de contaminación de Colombia ICO

Índice	Variable
ICA	Fosfatos, OD, K, Turbiedad, pH, T, Nitratos, Nitritos, Sulfatos, Cloruros, Color aparente, Color real, DBO ₅ , DQO, ST, SST, SD, Coliformes Totales, E. Coli.
IRCA	Color Aparente, Turbiedad, pH, Fosfatos, Sulfatos, Hierro Total, Cloruros, Nitratos, Nitritos, Coliformes Totales, E. Coli.
ISST	Sólidos suspendidos totales

El cálculo del ICA para la microcuenca la Quiña adopta la ecuación (1) de Horton:

$$ICA = \frac{K \sum C_i P_i}{\sum P_i} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

C_i= Valor porcentual asignado a los parámetros (Tabla 1).

P_i= Peso asignado a C_i= Valor porcentual asignado a los parámetros (Tabla 1).

P_i= Peso asignado a cada parámetro

K= 0.75 Se adopta 0.75 para aguas con ligero color, espumas, ligera turbiedad aparente.

Cada uno de los parámetros tiene una ponderación, en la tabla 2 se exponen los valores.



**Tabla 2. Valores de Ci y Pi**

VALOR Ci	OD	Conductividad K	Turbiedad	pH		Temperatura		NO ₃	SO ₄	Cl	DBO ₅	ST	COLIF. TOTALES
	mg/l	ms/cm	NTU	Unidades		°C		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	UFC/100ml
0	0	16	500	1	14	50	-8	100	250	90	15	10000	4500
10	1	12	400	2	13	45	-6	50	200	75	12	5000	4000
20	2	8	300	2.5	12	40	-4	20	150	60	10	3000	3500
30	3	5	200	3	11	36	-2	15	100	45	8	2000	3000
40	3.5	3	150	3.5	10.5	32	0	10	60	30	6	1500	2500
50	4	2.5	100	4	10	30	5	8	50	20	5	1000	2000
60	5	2	80	4.5	9.5	28	10	6	40	15	4	750	1500
70	6	1.5	60	5	9	26	12	4	30	10	3	500	1000
80	6.5	1.25	40	5.5	8.5	24	14	2	20	5	2	250	500
90	7	1	20	6	8	22	15	1	10	2	1	100	100
100	7.5	0.75	0	6.5	7.5	21	16	0	0	0	0.5	0	0
VALOR Pi	4	3	2	1		1		2	1	1	3	2	2

Fuente. Ramos, D y Chavarro, A, 1999

El documento propuesto por CORPOCHIVOR para los objetivos de calidad y uso propuesto, indican el uso del recurso hídrico con base en el estado de la fuente, estos se muestran en el tabla 3 (MORENO O, Eliana A, Corpochivor)

Tabla 3. Índice de calidad y uso propuesto

Estado de la fuente (ICA)		Uso
-100	Excelente	Consumo domestico
71-90	Buena	Recreativo. Preservación y reproducción de flora y fauna. Pesca artesanal, deportiva e industrial.
51-70	Regular	Agrícola. Pecuario.
26-50	Mala	Industrial. Estético. Aprovechamiento de material de arrate.
0-25	Muy mala	Transporte de aguas residuales y asimilación.

Fuente: ENA, 2010





IRCA. Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano. El valor del IRCA es cero (0) puntos cuando cumple con los valores aceptables para cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas y cien puntos (100) para el más alto riesgo cuando no cumple ninguno de ellos.

El IRCA por muestra y el IRCA mensual se calculan con las ecuaciones (2) y (3) respectivamente.

IRCA por muestra

$$IRCA (\%) = \frac{\sum \text{Puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\sum \text{Puntajes de riesgo asignados a todas las características analizadas}} \times 100$$

Ecuación (2)

IRCA mensual

Ecuación (3)

$$IRCA (\%) = \frac{\sum IRCA\text{s obtenidos en cada muestra realizada en el mes}}{\text{Número total de muestras realizadas en el mes}}$$

I_{SST}. Un índice que mide la calidad con base en los sólidos se determina con la ecuación (4)

Ecuación (4)

$$I_{SST} = 1 - (-0,02 + 0,003 \times SST_{mg}) \dots$$

Si $SST \leq 4.5$; entonces $I_{SST}=1$

Si $SST \geq 320$; entonces $I_{SST}=0$

Índice de escasez (Ie). Se calcula mediante la ecuación (5)

$$Ie = \frac{Dh}{Oh} * 100$$

Ecuación (5)

Ie= Índice de escasez

Dh=Demanda hídrica en metros cúbicos

Oh=Oferta hídrica en metros cúbicos

Tabla 4. Interpretación del Ie

Categoría	Rango [%]	Explicación
Alto	>50	Demanda alta
Medio alto	21-50	Demanda apreciable
Medio	11-20	Demanda baja
Mínimo	1-10	Demanda muy alta
No significativo	<1	Demanda no significativa

Fuente: Resolución 0865 de 2004

El índice de escasez se agrupa en cinco categorías mostradas en el tabla 4:





El artículo 39 del decreto 1594 de 1984 tiene en cuenta siete usos del recurso hídrico, los cuales son: Consumo humano y doméstico; Preservación de flora y fauna, Agrícola; Pecuario; Recreativo; Industrial; Transporte.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Recopilación de información de fuentes primarias y secundarias.

Los datos climatológicos analizados para la microcuenca “La Quiña” fueron solicitados ante el IDEAM a través de la Corporación Autónoma Regional de Chivor-CORPOCHIVOR, las estaciones seleccionadas se eligieron bajo el criterio de la similitud topográfica de la microcuenca con la ubicación de la estación y el tipo de estación, las estaciones fueron Pachavita (PM), Valle Grande (PG) y Sutatenza (CP), se consideró la serie de datos desde 1990 hasta 2011. Los parámetros meteorológicos analizados son: la Precipitación, la temperatura (media, máxima y mínima), la humedad relativa, la evaporación y el Brillo solar.

La consulta de las concesiones de agua otorgadas por CORPOCHIVOR se realizó con la revisión de la información de bases de datos de TUA (Tasas por utilización de agua) y la revisión de cada uno de los expedientes almacenados por la corporación.

La información cartográfica de la microcuenca La Quiña se solicitó en la subdirección de planeación de CORPOCHIVOR. La información recopilada para este proyecto

corresponde a la suministrada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) en escala 1:25.000. El diagnóstico de la microcuenca La Quiña se realizó con el análisis de la información adquirida en el SIAF de CRPOCHIVOR, analizándola con el uso de sistemas de información geográfica SIG mediante el manejo del software ARCGIS 9.0; esta información se reforzó comparándola con la información recopilada en campo y con el análisis de los métodos estadísticos aplicados en el área de estudio.

Con base en que no hay registros de caudal de la microcuenca se iniciaron aforos en puntos estratégicos del cauce principal y los tributarios, con la finalidad de estimar el comportamiento del caudal contemplando el periodo de lluvias y sequía, estos aforos se realizaron en el mes de septiembre 2011 hasta el mes de enero 2012. De igual forma se realizaron aforos en los acueductos que se abastecen de la Quebrada La Quiña en compañía de los fontaneros o jefes de acueducto para determinar el consumo de agua.

La estimación de la demanda hídrica de la microcuenca se realizó con la aplicación de una encuesta. La formulación de la encuesta se basó en la recopilación de los formatos y documentos establecidos por la Corporación, las variables estipuladas en el Decreto 1324 de 2007 y sus normas complementarias, y la encuesta aplicada por la reglamentación del año 2004 de la subcuenca La Quiña.

La calidad del recurso hídrico de la microcuenca se determinó mediante dos muestreos en los meses de noviembre y diciembre del 2011 con la medición de datos de campo y toma de muestras para





analizar los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en el laboratorio de calidad ambiental de CORPOCHIVOR.

Determinación de la Demanda Hídrica. Se seleccionaron los sectores de uso presentes en la zona, se encuentra el uso del recurso para consumo humano o doméstico, uso agrícola, uso pecuario. El método de medición se realizó con la aplicación de una encuesta en cada una de las familias en las que se captaba agua directamente de la Q. la Quiña y sus tributarios. Dos grandes captadores de agua son los acueductos veredales y urbanos presentes en la zona a los cuales se les realizó el aforo respectivo.

El método de determinación de la escorrentía se basó en el método de lluvia – escorrentía con el cálculo del número CN, lo cual requirió el análisis del suelo mediante mapas de usos de suelo y cobertura vegetal, usos potenciales, tipos de suelo y asociaciones.

La estimación de la demanda pecuaria se estimó mediante la ecuación (6):

$$Dp = Cv + Cs + Cua \quad \text{Ecuación (6)}$$

Dónde: Dp - demanda pecuaria, Cv - Consumo vital en la fase de cría, levante y terminación., Cs - consumo en lugares de manejo y alojamiento animal.

La demanda para uso agrícola mediante la ecuación (7)

$$Dua = \sum_{d=1}^{lp} \frac{(Kc \times ET_o) - \frac{(P \times Ke)}{100} \times A}{Kr} \quad \text{Ecuación (7)}$$

Finalmente, la sumatoria de las demandas hídricas estimadas representa la demanda hídrica total de la cuenca, expresada en L/s.

3.2 Cálculo de Oferta Hídrica.

Los métodos aplicados directos se basaron en información tabulada de registros de precipitación con periodo de 20 años, aforos eventuales durante cinco meses y la curva de duración de caudales.

Los métodos indirectos fueron los métodos empíricos de relación lluvia-escorrentía y elaboración de balances hídricos por método de Thorntwaite, cálculo del índice de escasez de la microcuenca.

El análisis de la oferta está enfocado a la descripción de los caudales para fijar la condición de disponibilidad de agua. La microcuenca la Quiña no cuenta estaciones hidrométricas, por tal razón se utilizó el método del número de curva CN propuesto por el Soil Conservation Service – SCS, (National Engineering Handbook (NEH, 1972), para el análisis de la precipitación efectiva o escorrentía directa. El cual considera como variables: (i) la precipitación, representada en este caso por la precipitación para un período de tiempo previamente seleccionado; (ii) el complejo de suelo - hidrológico que considera la interrelación suelo - cobertura vegetal y (iii) la condición de humedad antecedente; de acuerdo con estas variables se fija un número de curva (CN) que representa tal interrelación.

Según este procedimiento, la escorrentía directa (Q) o precipitación efectiva (Pe), se expresa mediante las ecuaciones (8) y (9).

$$P_e = \frac{(P-0,2S)^2}{P+0,8S} \quad \text{Ecuación (8)}$$

$$s = \frac{1000}{CN} - 10 \quad \text{Ecuación (9)}$$

Donde, Q : Es la escorrentía directa o precipitación efectiva, en pulgadas. P :





Es la precipitación considerada, en pulgadas. S : Es la diferencia potencial máxima entre P y Q a la hora que se inicia la tormenta y representa proporcionalmente la pérdida de escorrentía por infiltración, intercepción y almacenamiento superficial (pulgadas).

La precipitación se manejó con valores totales mensuales para obtener el valor de la escorrentía efectiva que permitiera determinar la oferta hídrica para la microcuenca.

La determinación del complejo de suelo hidrológico se establece en términos de dos variables principales: (i) el tipo de suelo mediante el cual se fijan las condiciones de infiltración subsuperficial incidente en la escorrentía superficial en forma directa y por tanto la condición hidrológica del suelo se ajusta a los conceptos de tipo agrológico. (ii) la cobertura vegetal, según la cual las plantas también ejercen una fuerte influencia en la escorrentía directa no solamente en su interpretación hipotética de un coeficiente de escorrentía sino también en la capacidad de planta para absorber agua en los periodos húmedos.

La determinación del número de curva se requirió información del uso, tipo, y cobertura vegetal del suelo, para lo cual se usó la información reportada en los estudios de suelos del IGAC para el área de influencia de la jurisdicción de CORPOCHIVOR. Con base en esta información se asignó un grupo A, B, C o D y sus correspondientes valores de CN para la condición hidrológica promedio a nivel local, es decir, II.

Esta interacción permite determinar en forma empírica una primera aproximación al valor del CN para las condiciones hidrológicas promedio a nivel local. La teoría del CN ofrece cuatro grupos de suelos hidrológicos, cuyas características generales son las siguientes:

Suelo A. Tiene alta capacidad de infiltración al estar completamente húmedos y alta velocidad de transmisión de agua. Son arenas y gravas profundas bien drenadas, es decir, tienen un potencial de escurrimiento mínimo.

Suelo B. Su capacidad de infiltración es moderada al estar completamente húmedos. Son suelos medianamente profundos y drenados, tienen una infiltración media superior después de haberse saturado completamente.

Suelo C. La capacidad de infiltración es baja al estar completamente húmedos. Están formados principalmente de suelos que contienen arcillas y coloides en menor cantidad que el grupo D, con textura fina a moderadamente fina, que impiden que el agua se infiltre rápidamente.

Suelo D. Son suelos que tienen una capacidad de infiltración muy baja al estar húmedos. Se componen de suelos arcillosos con un alto potencial expansivo y tienen altos niveles freáticos.

En la tabla 5 se incluye la clasificación establecida por el USDA, la cual se adopta para hallar el número de curva de la microcuenca La Quiña.





Tabla 5. Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones de humedad II, Ia: 0.2S)

Descripción del uso de la tierra		Grupo de suelo hidrológico			
		A	B	C	D
Tierra cultivada [*] :	Sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
	Con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales:	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones óptimas	39	61	74	80
Bosques:	Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, cubierta buena ^{**} .	45	66	77	83
		25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.					
Óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más.		39	61	74	80
Condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%.		49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial^{***}:					
Tamaño promedio del lote		Porcentaje Promedio impermeable ^{****}			
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. ^{*****}		98	98	98	98
Calles y carreteras:					
Pavimentados con cuencas y alcantarillados ^{*****}		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89
* Para una descripción más detallada de los números de curva para usos agrícolas de la tierra, remitirse a <u>Soil Conservation Service, 1972, Cap. 9.</u>					
** Una buena cubierta esta protegida del pastizal y los desechos del retro de la cubierta del suelo.					
*** Los numeros de curva se calculan suponiendo que la escorrentia desde las casas y de los accesos se dirige hacia la calle, con un minimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.					
**** Las áreas permeables restantes (cesped) se consideran como pastizales en buena condicion para estos números de curva,					
***** En algunos países con climas mas calidos se puede utilizar 95 como numero de curva.					

Fuente: Chow V. T, 1994.

Condición de humedad antecedente. Para la condición de humedad antecedente se considera el rango de variación que se indica U.S. Bureau of Reclamation de acuerdo con la cantidad

de lluvia acumulada en los 5 a 30 días anteriores (USBR. 1979) a la ocurrencia de la lluvia máxima, según se indica en el tabla 6.





Tabla 6. Rango de variación para la condición de humedad antecedente

Fuente: CHOW, 1988, p. 153.

Condición Antecedente	Lluvia anterior (mm)	
	Invierno	Sequia o Estiaje
I	Menor 35.6	Menor 12.7
II	35.6 - 55.3	12.7 - 27.9
III	55.3 -	27.9 -

La condición antecedente I es aquella en la cual los suelos están secos debido a la condición de verano o época de estiaje en una región determinada, sin llegar al nivel del punto de marchitamiento en las plantas. La condición antecedente II corresponde a las condiciones promedio, generalmente para ciertos valores de caudal máximo, en este caso, para los valores de caudal medio.

La condición antecedente III es aquella en la que el suelo se encuentra casi ecuaciones (10) y (11):

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \quad \text{Ecuación (10)}$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)} \quad \text{Ecuación (11)}$$

3.3 Calidad del agua.

Con el objeto de conocer el impacto de las actividades humanas que se desarrollan a lo largo de la microcuenca sobre el recurso hídrico, se seleccionaron

saturado para este caso, se considera como humedad promedio la correspondiente a la capacidad de campo del suelo.

Es necesario tener en cuenta los índices de precipitación para la precipitación media total mensual para el período de registro disponible en las diferentes estaciones, si este índice es menor que 0.6 se considera que la condición antecedente corresponde a un período de estiaje, es decir, condición (I); el rango entre 0.6 y 1.2 representa la condición promedio (II) y para valores mayores a 1.2 la respuesta de la cuenca obedece a un período de mayor pluviosidad (III).

Para la aplicación de esta metodología, se parte de la Condición II en la cual para cada tipo de uso del suelo en la cuenca estudiada se elige un valor de CN y se pondera con respecto al valor del área para las condiciones promedio mencionadas anteriormente.

Para condiciones de estiaje (secas) y condiciones de mayor pluviosidad, el valor de CN(I) y CN(III) respectivamente, se calcula mediante las siguientes

puntos de muestreo sobre el escurrimiento principal de la microcuenca, la Q. La Quiña, que permitan conocer el contraste del impacto sobre el recurso hídrico desde el nacimiento hasta su desembocadura, a través del análisis de parámetros fisicoquímicos y biológicos.

3.4 Cálculo del Índice de Escasez.

Con base en el cálculo de la oferta hídrica disponible y la demanda hídrica de la microcuenca se calculó el índice de





escasez con base en la relación de estas dos variables.

3.5 Distribución de aguas en la microcuenca.

Levantamiento de cartografía con la información de módulos de consumo, oferta y demanda hídrica de la microcuenca, recopilación de información en campo y análisis de esta. La información de la demanda hídrica, tanto de encuestas como de información recopilada se compilara y manejara en EXCEL. Planteamiento de distribución de oferta hídrica disponible en la población de la microcuenca La Quiña con base en módulos de consumo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados de las demandas hídricas domésticas, agrícolas y pecuarias, y el volumen otorgado por medio de concesión por parte de CORPOCHIVOR, se obtuvo el valor de demanda hídrica total requerida por los habitantes de la microcuenca. En la gráfica 1 se muestra el consumo en L/s para cada una de las actividades desarrolladas en la microcuenca, dando un total de demanda hídrica total de 50,6 L/s.

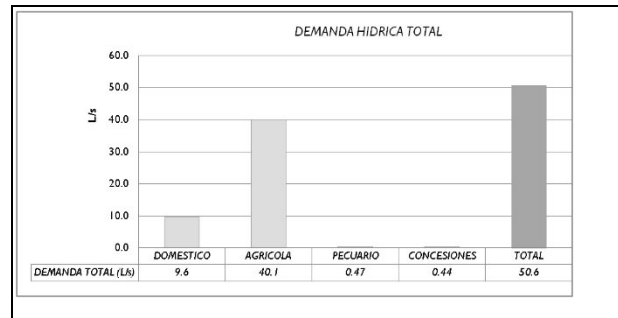


Figura 1. Demanda Hídrica total de la microcuenca Q, La Quiña.

La mala a regular calidad de agua es un problema que aqueja a las personas que captan el agua con manguera directamente de la quebrada, un 46% asegura no tener problemas con la calidad del agua, el resto de la población caracterizándose en un 43% presenta problemas con la turbidez, especialmente en épocas de invierno debido al arrastre de sedimentos, en un 11% las personas aseguran el agua llega contaminada por los agroquímicos que usan para los cultivos, y en casos muy remotos cuando es época de verano, al escasez de agua hace que capten el agua de pozos contaminados.

El cálculo de balance hídrico por el método de Thornthwaite se resume en las tabla 7.



**Tabla 7.** Calculo de balance hídrico por Thornthwaite

	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Total
Temperatura	17.8	18.2	17.5	17.7	18.4	17.6	18.5	18.3	18.1	17.5	17.1	17.2	
i	6.83	7.08	6.69	6.76	7.22	6.72	7.22	7.15	6.99	6.69	6.44	6.48	82.27
ETP sin corr	65.2	68.0	63.5	64.3	69.6	63.8	69.7	68.8	67.0	63.5	60.7	61.2	
n° días mes	30	31	30	31	31	28.25	31	30	31	30	31	31	
n° horas luz	12.1	11.91	11.77	11.67	11.71	11.86	12	12.24	12.43	12.533	12.433	12.344	
ETP corr.	65.7	69.8	62.3	64.6	70.2	59.4	72.0	70.2	71.7	66.3	65.0	65.0	748.1

a=1.821

El balance de agua en el suelo se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Balance de agua en suelo para la Q. La Quiña

	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Total
P	109.1	107.2	84.9	39.9	22.7	30.6	91.8	129.8	167.7	161.5	182.3	156.5	1284.0
ETP corr.	65.7	69.8	62.3	64.6	70.2	59.4	72.0	70.2	71.7	66.3	65.0	65.0	802.2
ETR	65.7	69.8	62.3	64.6	58.0	30.6	72.0	70.2	71.7	66.3	65.0	65.0	761.2
Déficit	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2	28.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.9
Reserva	43.4	60.0	60.0	35.3	0.0	0.0	19.8	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	
Excedentes	0.0	20.8	22.6	0.0	0.0	0.0	0.0	19.4	96.0	95.2	117.3	91.5	462.8
RH	0.66	0.54	0.36	-0.38	-0.68	-0.48	0.27	0.85	1.34	1.44	1.8	1.41	7.1
lh	lh=(E Anual/ Ep Anual)*100										57.7		
la	la = (D Anual /Ep Anual)*100										5.1		
Fh	Fh = (lh-0,6*la)										54.6		

De acuerdo con el balance hídrico hecho para la unidad de trabajo de la Q. la Quiña, con precipitación anual de 1284 mm, presenta déficit de agua en los meses de enero y febrero, y muestra excesos en los meses de abril a agosto, y

octubre y noviembre. Se presenta una evaporación potencial de 802.2 mm/año y evapotranspiración real de 761.2 mm/año y relación de humedad de 7.1.

En la figura 2 se muestra el déficit de agua entre las curvas de ETP y ETR.





Cuando P está por encima de ETR corresponde al almacenamiento en reserva más excedentes; y donde ETR está por encima de P y corresponde a la utilización de la reserva del suelo (SÁNCHEZ S. R, F, 2012)

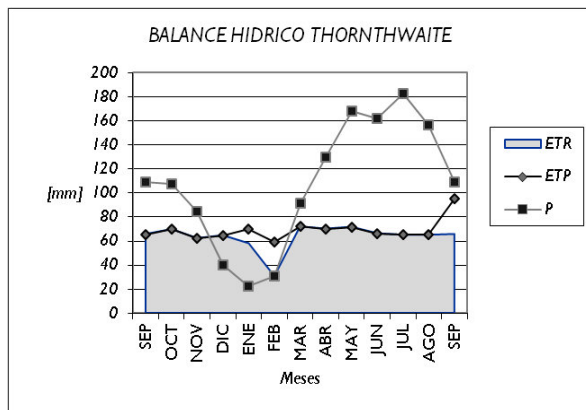


Figura 2. Déficit de agua entre las curvas de ETP y ETR

4.1 Índice de Escasez

Con base en la información de oferta hídrica disponible y demanda hídrica estimada anteriormente, se realiza el análisis de la escasez de agua mes a mes en la microcuenca La Quiña. Los resultados de excesos obtenidos en el balance hídrico son convertidos a caudal (oferta hídrica), posterior a ello relaciona con la demanda hídrica con la oferta hídrica, se obtiene el índice de escasez, este se resume en la tabla 9.

Tabla 9. Índice de escasez

MICROCUECNA La Quiña			
Área microcuenca: 1407.39 Ha			
Demanda hídrica (D_h): 50,6 L/s			
Mes	Oferta (oh) (l/s)	Índice escasez (dh/oh) (%)	Interpretación
Enero	45.32	-	Demanda alta
Febrero	64.29	78.71%	Demanda alta
Marzo	212.88	23.77%	Demanda apreciable
Abril	305.78	16.55%	Demanda baja
Mayo	398.29	12.71%	Demanda baja
Junio	383.18	13.21%	Demanda baja
Julio	433.92	11.66%	Demanda baja
Agosto	370.86	13.65%	Demanda baja

La tabla 9 muestra altos índices de escasez en los meses de diciembre, enero y febrero, en el mes de enero la demanda supera la oferta hídrica, en los meses de abril a septiembre el índice de escasez no es representativo ya que es época de lluvias, y la demanda es baja, en marzo y noviembre la demanda es apreciable, ya que son meses en los que termina e inicia la época de estiaje respectivamente.





Realizando una estimación del promedio de índice de escasez en la microcuenca La Quiña, se tiende a una demanda apreciable a lo largo del año, superando el valor el 30%, en estos casos, se requiere de obras de control que permitan amortiguar los efectos de escasez de agua en los meses más críticos, aquellos con demanda alta.

4.2 Distribución de agua en la Microcuenca La Quiña

El estudio busca la regulación y distribución en forma equitativa y adecuada de las corrientes de la microcuenca Q. La Quiña, de la jurisdicción de CORPOCHIVOR, a través de los recorridos de campo y las concesiones, principalmente aquellas que surten de agua a los acueductos municipales y veredales.

La mayor parte del agua que se consume se dedica a la agricultura y al uso doméstico, y en menor proporción al uso pecuario. Con el objeto de establecer una adecuada oferta de agua para la población asentada en la jurisdicción de CORPOCHIVOR en el área de influencia de la Q. La Quiña y al mismo tiempo preservar las funciones hidrológicas, biológicas y químicas de los ecosistemas, adaptando las actividades humanas a los límites de la capacidad de la naturaleza. A continuación se presenta el análisis de módulos de consumo de la población en estudio.

Las principales labores de tipo doméstico que se pueden mencionar son aseo (personal y de viviendas).

Tanto para el abastecimiento rural como urbano, de acuerdo a la resolución 2320 de 27 noviembre de 2009 se utilizará un

módulo de consumo de 90 L/habitante-día, para niveles de complejidad bajo y nivel medio, alto una dotación de 115 L/habitante-día.

La elección de los módulos de consumo de la demanda pecuaria, se basó en promedios de módulos citados en otras reglamentaciones de la región, referencias de CORNARE, módulos elegidos en la determinación de la demanda pecuaria en el estudio nacional de agua de Colombia del 2010, y la comparación con los módulos de consumo establecidos en el año 2004 y la variación del consumo hídrico desde el año 2004 al presente en la microcuenca.

De acuerdo a la base de cálculo de la demanda agrícola de la microcuenca La Quiña, el requerimiento de agua para los cultivos es de 0,5 a 0,7 L/s-ha, por tal razón se adopta un modulo de consumo para la demanda agrícola de 0,7.

En la microcuenca no se presentan actividades piscícolas e industriales, pero se establece un modulo de consumo para cada una de estas actividades en caso de que se lleguen a presentar en la zona, para uso piscícola=0.00015 L/pez-día, para uso industrial 0,02 L/hab-día, estos módulos se eligieron de acuerdo al análisis de módulos ya establecidos en otras corrientes reglamentadas, el modulo piscícola no se modifico, se continua con el establecido en el año 2004.

Teniendo en cuenta que los usuarios censados en el año 2011 no cumplen con los módulos de consumo anteriormente establecidos, se procede a realizar la reasignación de uso del recurso para cada uno de los usuarios, en el cuadro 16 se muestra la reasignación.





5. CONCLUSIONES

Los requerimientos de agua de la microcuenca La Quiña son de 50,6 L/s para soportar las demandas sectoriales.

La calidad del recurso hídrico arrojada por el ICA es regular en épocas de invierno y verano, de igual forma el IRCA indica que en todos los tramos es inviable sanitariamente el uso de agua para consumo doméstico, y los índices de contaminación indican que la concentración por sólidos suspendidos totales es alta, y el pH aunque en los primeros tramos es bajo no presenta ningún tipo de contaminación.

El caudal total de la microcuenca tuvo reducciones por caudal ecológico del 30% y por calidad del recurso un 25%, con estas consideraciones la oferta hídrica de la Quiña es capaz de soportar la demanda hídrica en todos los meses, exceptuando el mes de enero en la que la demanda es más alta de la oferta.

El índice de escasez en la cuenca representa una demanda apreciable a lo largo del año con valores superiores a 30%, es necesario establecer obras que amortigüen la escasez en épocas de estiaje, como sistemas de almacenamiento de agua.

La distribución de aguas formulada presentó cambios en los módulos de consumo en cada sector, en el doméstico y el pecuario el módulo disminuyó y en el módulo agrícola subió, aun no se evidencian actividades industriales ni piscícolas en la zona, pero se establecieron módulos para estos usos con el fin de que lleguen a presentarse.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ambytec U.T, Corpoboyacá.
“Reglamentación del manejo y uso del recurso hídrico de las aguas que discurren en las quebradas río de Piedras y Toibita utilizando como estrategia la resolución participativa de conflictos por uso y aprovechamiento del agua”. Pág 251, 2008.
- Chow V. T., Maidment D., Mays L.
Hidrología aplicada. Bogotá: McGraw-Hill Interamericana S.A., 1994. p. 153
- Davis y Hirji, 1999; García de Jalón y Gonzales del Tánago, s. f
- Díaz C., Luz A. Estudio Comparativo de índices de calidad del agua mediante la aplicación y evaluación de un modelo armonizado en Latinoamérica, caso de estudio Río Loa. Universidad Católica del Norte. Agosto 2010. Chile. (tesis) p.39).
- Fao, ETc coeficiente del cultivo Kc. Cap 6. Cuadro 11. p. 104-108
- Moreno O., Eliana A. Estudio para el establecimiento de los objetivos de calidad de las principales fuentes hídricas de la jurisdicción de la corporación autónoma regional de Chivor – Corpochivor. NEH, National Engineering Handbook, Hydrology, Section 4, Chapter 10. Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall. Washington D.C: Soil Conservation Service, (1972) Resolución 2115 de 2005 Resolución 0865 de 2004
- Ramos, Diana y CHAVARRO, Adriana. Diseño de la red de monitoreo de la calidad y cantidad de las corrientes superficiales de las cuencas de los ríos Garagoa y Súnuba, 1999.





- Sánchez S. R, F. Departamento de Geología. Universidad de Salamanca (España) <http://web.usal.es/javisan/hidro/>
- Sabas R. C. Scientia et Technica. Estudio De Oferta Y Demanda Hídrica En La Cuenca Del Río Barbas Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira Año XV, No 42, Agosto de 2009. p. 407-409.
- Snet, Servicio Nacional de Estudios Territoriales – Servicio Hidrológico Nacional Balance Hídrico Integrado y Dinámico. Balance hídrico integrado y dinámico en el Salvador Componente Evaluación de Recursos Hídricos. San Salvador, Diciembre 2005
- Unesco. Instituto de hidrología de España. RAFAEL HERAS. Métodos de cálculo del balance hídrico. Guía Internacional de investigación y métodos. (1981) .Pág. 18
- Usbr. Diseño de presas pequeñas. Editorial CECSA, Méjico, 1979 Pág. 461

