

Planificación del recurso hídrico en la quebrada Aguas Blancas, zona rural de Montería, Córdoba

Planning of water resource in Aguas Blancas creek, rural area of Montería, Córdoba

Álvaro López Ramos¹, Luisa Martínez Acosta², Jhon Jairo Feria Díaz³, Jorge Enrique Cruz Benedetti⁴

¹Magíster en Recursos Hidráulicos, docente Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Montería, Grupo de Investigación de Ingeniería Civil (GIIC). Montería, Córdoba.

²Magister en Ingeniería Civil, énfasis en ambiental, docente Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Montería, Grupo de Investigación de Ingeniería Civil (GIIC). Montería, Córdoba.

³Magíster en Ciencias Ambientales, docente Ingeniería Civil, Universidad de Sucre, Grupo de Investigación en Medio Ambiente y Aguas (GIMAGUAS). Sincelejo, Sucre.

⁴Especialista en Estructuras, docente Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Montería, Grupo de Investigación de Ingeniería Civil (GIIC). Montería, Córdoba.

E-mail: jhon.feria@unisucra.edu.co

Recibido: 30/10/2015,
Aceptado: 10/05/2016

Cite this article as: A. López, L. Martínez, J. Feria, J. Cruz "Planning of water resource in Aguas Blancas creek, rural area of Montería, Córdoba", *Prospect*, Vol 14, N° 2, 71-80, 2016.

RESUMEN

Se evaluaron las variables climatológicas que intervienen en el balance hídrico de la cuenca de la quebrada Aguas Blancas, ubicada en la zona rural del Municipio de Montería, Córdoba, con el objeto de planificar la sostenibilidad del recurso hídrico frente a las necesidades de demanda de la población de influencia. Con los registros históricos de siete estaciones meteorológicas localizadas espacialmente alrededor de la cuenca, se realizó un análisis estadístico y probabilístico de la precipitación, para cuantificar la oferta hídrica de la zona y contrastarla con la demanda requerida para consumo doméstico.

La investigación se centró en desarrollar una metodología para zonas rurales con dificultades de disponibilidad del recurso hídrico, mediante el uso de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y programas de simulación, para generar los escurrimientos mensuales a partir de los datos de lluvia. Los resultados obtenidos para la quebrada Aguas Blancas, indican que es posible resolver la problemática de suministro de agua almacenando la escorrentía superficial en época de lluvia, en pequeños reservorios, para luego utilizarla en los períodos de sequía.

Palabras clave: Recurso hídrico; Sistema de Información Geográfica; Modelización hidrológica; Balance hídrico.

ABSTRACT

Climatic variables were involved in the water balance of the basin of the creek Aguas Blancas, located in the rural area of the municipality of Montería, Córdoba, in order to plan for sustainability of water resources meet the needs of demand evaluated people of influence. Historical records seven meteorological stations located spatially around the basin, a statistical and probabilistic analysis of the precipitation was performed to quantify the water supply in the area and contrast it with the demand required for domestic consumption.

The research focused on developing a methodology for rural areas with difficulty of availability of water resources, using tools such as Geographic Information Systems (GIS) and simulation software to generate the monthly runoff from rainfall data. The results obtained for the broken Aguas Blancas, indicate that it is possible to solve the problem of storing water runoff during the rainy season, in small reservoirs and then use during periods of drought.

Keywords: Water resources; Geographic Information System; Hydrological modeling; Water balance.

1. INTRODUCCIÓN

Para una correcta planificación del recurso hídrico, es indispensable analizar el comportamiento del ciclo hidrológico, el cual gobierna la presencia de agua en una determinada región y está condicionado por factores como la latitud, altitud, las actividades humanas, entre otros. [1]

Ha sido evidente, a lo largo de los años, que el ciclo hidrológico de las cuencas se ha transformado mundialmente debido al cambio climático y a la actividad humana, siendo ésta última la que más ha aumentado la demanda del recurso hídrico, por el rápido desarrollo de la ciencia y la tecnología, así como por la expansión de la escala económica [2].

El equilibrio del ciclo hidrológico se ve afectado por el cambio de uso del suelo, que responde al aumento de la población y a la necesidad de mayor productividad (agrícola, comercial, entre otros) y de requerimientos de vivienda. Lo anterior conlleva a la devastación de los bosques y a la degradación en los suelos, lo que afecta el balance hídrico y propició cambios en él, como el aumento de la escorrentía superficial y su descarga en los ríos, debido a la disminución del tiempo de concentración [3]

El cambio del uso del suelo, especialmente en zonas urbanizadas, donde las superficies naturales pasan a ser impermeables, tienen un impacto significativo y más importante en la escorrentía superficial que en las precipitaciones que se puedan presentar en una cuenca, es por tanto necesario planificar el uso del suelo en las cuencas hidrográficas [4, 5, 6]. Sin embargo, los parámetros que intervienen en el ciclo

hidrológico tienen un comportamiento muy variado y la ocurrencia de algunos de ellos están en función de factores climatológicos, fisiográficos y antrópicos de las distintas regiones. Existen regiones donde se presenta un desequilibrio en el suceso de las precipitaciones, y por lo tanto, se tienen períodos secos con poca o nula precipitación y períodos de excesos. Esta variabilidad ocasiona dificultades que van desde la falta del recurso para atender los requerimientos básicos del hombre para su sostenibilidad, hasta eventos catastróficos como inundaciones provocadas por avenidas. En consecuencia, es necesario contar con esquemas de evaluación adecuados y confiables para hacer frente a estos desafíos.

En la actualidad, la seguridad del recurso hídrico, aún no definida claramente, tiene implicaciones del orden social, económico y en la seguridad ecológica, entre otros aspectos. Dado lo anterior es importante encontrar un equilibrio del recurso (análisis de la oferta y la demanda) que permita evaluar la seguridad del agua [2].

La oferta hídrica en una zona viene condicionada por la oferta y la demanda de agua y se estudia con el fin de cumplir con sus necesidades. Así mismo, la oferta puede estar condicionada por el área donde es requerido el recurso, si es en escala pequeña (local), pero puede ser satisfecha si se estudia a gran escala (regional). Se recalca entonces, que la escasez de agua se convierte en un asunto local, mientras que la demanda tiene una implicación mayor, y se debe considerar toda la cuenca [7]. En el estudio de la demanda de agua se debe tener en cuenta factores como el consumo agrícola de la región y la conducta de consumo de los habitantes de la zona de estudio [8].

A través de un balance hídrico, se puede planificar el recurso con el fin de responder a la creciente demanda actual y futura del mismo. El Balance Hídrico es también de gran utilidad en muchos campos de la investigación. Por ejemplo, el conocimiento del déficit de humedad es primordial para comprender la factibilidad de irrigación, ya que provee información sobre el volumen total de agua necesaria en cualquier época del año y entrega un valor importante sobre la sequía. La información sobre los excedentes de agua y la cantidad por la cual la precipitación excede las necesidades de humedad cuando el suelo está en su capacidad de campo, es fundamental en todo estudio hidrológico, lo cual proporciona una adecuada planificación y gestión de los recursos hídricos, de tal forma que el desarrollo socioeconómico tenga como base el uso racional y armónico de sus recursos naturales.

Estudios previos han demostrado que el aumento de las precipitaciones en algunas zonas y el calentamiento global (cambio climático), son factores importantes a considerar en el análisis de la escorrentía, como es el caso de la cuenca del río Manasi, localizado al suroeste de la Cuenca Junggar en Xinjiang (República Popular China). El estudio concluyó que es de gran importancia hacer un uso racional y sostenible del recurso hídrico, así como una correcta planificación integral del mismo [9].

El hombre durante años ha utilizado diversas técnicas para recoger agua en las zonas áridas y semiáridas para permitir la conservación del recurso y aprovecharla para consumo humano, el riego de cultivos o para abrevadero de animales. Ésta recolección de agua comienza a ser imprescindible debido a la escasez que se viene presentado por los proceso de desertificación [10].

En ciertas épocas del año, regiones del departamento de Córdoba, sufren por la dificultad de obtener agua, a pesar de contar con fuentes hídricas diversas como pozos, quebradas, ríos y lagunas, entre otros. La mala planificación del recurso hace que estas poblaciones sufran escasez hídrica o en el sentido opuesto, toleren desplazamientos forzados por inundación. Esta situación se convierte en un problema en el ámbito de la salud, de lo socioeconómico, lo político y lo ambiental.

Colombia, a pesar de ser rico en recursos hídricos, estos no se encuentran distribuidos homogéneamente, y el problema se acentúa por la falta de gestión [11], como el caso de la microcuenca seleccionada para este estudio, que representa la problemática generalizada

del recurso hídrico en la zona rural del departamento de Córdoba.

En este trabajo, se aplicó una metodología de planificación del recurso hídrico superficial para una pequeña cuenca hidrográfica, con el fin de plantear un balance hídrico entre la oferta y la demanda, que permita garantizar la sostenibilidad del recurso a lo largo del año.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Delimitación del área de estudio

La microcuenca Aguas Blancas pertenece a la cuenca del río Sinú y está esencialmente constituida por pastos manejados. Está localizada en la zona rural del municipio de Montería (ver figura 1). Dentro de los principales corregimientos aledaños, se encuentran Aguas Claras y Santa Clara; y la elevación de la cuenca con respecto al nivel del mar varía desde un mínimo de 45 m.s.n.m. hasta un máximo de 180 m.s.n.m. [12].

Figura 1. Localización área de estudio.

Figure 1. Location study area.



2.2 Recopilación de datos

La información para el proyecto fue adquirida del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Del IDEAM se obtuvo las series de tiempo de las diferentes variables climatológicas, tales como precipitación, evaporación, escurrimiento, temperatura, entre otros, mientras que del IGAC, se obtuvo la cartografía básica en escala 1:25.000. Para el modelo de elevación, cobertura vegetal, capa de suelo y capa de aguas se usó imágenes satelitales descargadas de Google Earth.

2.3 Análisis estadístico de los datos

Las estaciones meteorológicas fueron seleccionadas teniendo en cuenta su influencia sobre la cuenca analizada (Universidad de Córdoba, Aeropuerto Los Garzones, Carrillo, Montería, Santa Lucía, Cristo Rey y Canalete). A cada una de estas estaciones, para el parámetro precipitación, se les realizó un análisis estadístico y probabilístico mes a mes, mientras que el hietograma de precipitación de diseño fue calculado mediante el uso del método del bloque alterno desarrollado a partir de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) [13]

2.4 Cartografía

La cartografía adquirida en archivos digitales fue exportada a un sistema de información geográfica, utilizando el software Arc-GIS 10.1 y convertida a formato Shapefile. Con las herramientas de este programa se obtuvo la representación gráfica de la cuenca, el cálculo de las características fisiográficas y la precipitación media mensual por interpolación, utilizando los métodos de Thiessen y de las Isoyetas [14]. El software Arc-GIS 10.1 ofrece un tratamiento objetivo de los datos, una calibración del modelo generado y un análisis de los escenarios posibles, convirtiéndose en una herramienta importante de modelización hidrológica de cuencas [15].

2.5 Escurrimiento superficial

Para el cálculo del escurrimiento superficial, se utilizó el método del Soil Conservation Service – SCS, que es usado para determinar los parámetros involucrados en el Balance hídrico, especialmente aquellos relacionados con la oferta como son la escorrentía, la recarga de acuíferos, caudal, infiltración, entre otros [16].

El SCS establece un Número de Curva (CN), el cual es utilizado ampliamente para identificar la escorrentía

media mensual del sitio en estudio, la recarga del acuífero y el contenido de humedad del suelo [17, 16]. El CN considera la relación existente entre la cobertura del suelo y la respuesta que se presenta en la escorrentía en una cuenca durante un evento de lluvia, que es afectado por la condición de humedad antecedente (AMC): condición seca, normal y húmeda [18]. El valor de CN va de cero (0) a cien (100), donde 0 implica un área sin escurrimiento y 100 es una zona que genera escorrentía, y por lo tanto se considera impermeable [19].

Para realizar la simulación del proceso de precipitación–escurrimiento, se utilizó el Hydrologic Engineering Center’s Hydrologic Modeling System (HEC – HMS), el cual utiliza el método de curva para realizar la distribución espacial de los cálculos de infiltración [20].

2.6 Demanda del recurso para diferentes usos

Con el fin de obtener un cálculo aproximado de la demanda hídrica, se utilizó la metodología avalada por el Ministerio de Ambiente [21], que consiste en estimar los volúmenes de producción sectorial y compararlos con los factores de consumos de agua por tipo de producto o servicio, utilizando (1):

$$D_T = D_{UD} + D_{UI} + D_{US} + D_{UA} + D_{UP} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde, D_T es la demanda total de agua; D_{UD} es la demanda de agua para uso doméstico; D_{UI} , la demanda de agua para uso industrial (que en este caso es cero por no existir industrias); D_{US} demanda de agua para uso del sector servicios (cero, por no presentarse este uso); D_{UA} demanda de agua para uso agrícola y D_{UP} es la demanda de agua para uso pecuario.

Para calcular D_{UD} se seleccionó la comunidad más importante de la cuenca, el corregimiento de Santa Clara. Con el fin de establecer el número de habitantes a abastecer, sus hábitos de recolección de agua para consumo y la disposición de las aguas residuales domésticas, se desarrolló y aplicó una encuesta, que arrojó una población de 530 personas, distribuidas en 127 viviendas.

Una vez obtenido el dato poblacional, se determinó el consumo de agua para Santa Clara utilizando la metodología establecida por la resolución 1096 de 2000 [22] y sus normas modificatorias.

La población futura se calculó usando los métodos aritmético, geométrico y exponencial con una tasa de crecimiento de 0.01%, recomendada por el

Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE, para la zona rural del departamento de Córdoba y municipio de Montería. Tomando como referencia la Resolución 2320 de 2009 se utilizó una dotación neta máxima de 100 l/hab/día, y a partir de (2), se determinó la dotación bruta:

$$D_b = \frac{D_{neta}}{(1-p)} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Considerando un porcentaje de pérdidas del 25%, se obtiene una dotación bruta de 133,33 l/hab/día.

Con la población proyectada, se determinaron los consumos medios diarios (Qmd), los máximos diarios (QMD) y los máximos horarios (QMH), y con ellos, los caudales de diseño (Q) en L/s.

La demanda para uso agrícola se calculó como [23]:

$$DUA = [P - ((ETP)K_c)] ha \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Donde P es la precipitación; ETP, evapotranspiración potencial; K_c , coeficiente de usos de agua del cultivo, según la FAO.

En cuanto al uso pecuario (DUP) siguiendo la metodología del mismo autor [23], se calculó con (4):

$$D_{UP} = \sum_{i=1}^n V_{pai} F_{ca} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Donde V_{pai} es el volumen de producción por tipo de animal industrial y F_{ca} , Factor de consumo según producción animal.

2.7 Índice de escasez

El índice de escasez de agua de la cuenca, se determinó con la ecuación (5):

$$I_e = \frac{D}{O_n} \times 100 \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Donde I_e es el índice de escasez (%); D, demanda de agua (m^3) y O_n , Oferta hídrica superficial neta (m^3).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

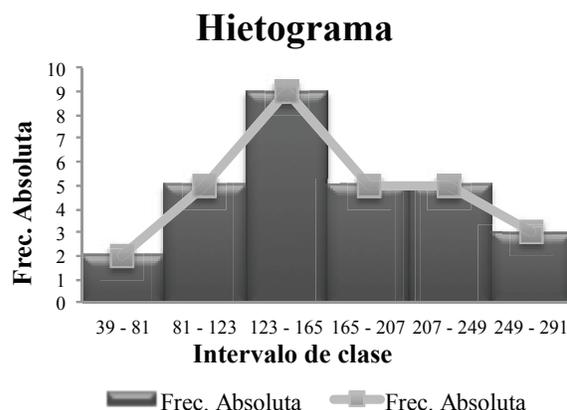
3.1 Climatología

De las estaciones meteorológicas seleccionadas se realizó el análisis estadístico y probabilístico de las precipitaciones mes a mes. En la figura 2 se muestra el análisis de los valores máximos de la precipitación para la estación Montería, durante el mes de julio, tomando

los valores registrados durante todos los años.

Se observó que en el comportamiento de esta variable, predominan los valores de 123 mm a 165 mm de precipitación (ver figura 2).

Figura 2. Hietograma de la precipitación.
Figure 2. Hyetograph precipitation.



Fuente: Elaboración propia

3.2 Cartografía

La información climatológica, ya homogenizada, se correlacionó con la cartografía a través del Arc-GIS 10.1 y se obtuvo una representación gráfica de la cuenca, que se muestra en la figura 3.

Los resultados del cálculo de las características fisiográficas y la precipitación media mensual por interpolación, utilizando los métodos de Thiessen y de las Isoyetas, se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Características morfométricas de la cuenca.
Table 1. Morphometric characteristics of the basin.

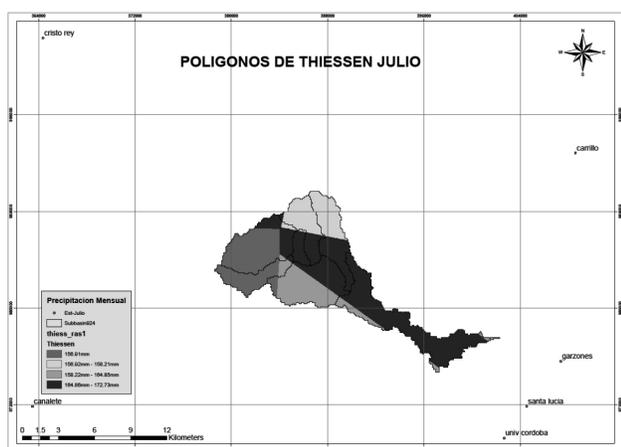
Nº	Características morfométricas de la cuenca	Unidad	Cantidad
1	Área	Área Cuenca Alta	Km ² 46,82
		Área Cuenca Media	Km ² 27,50
		Área Cuenca Baja	Km ² 24,00
		área total de la cuenca	Km ² 98,32
2	Longitudes	Perímetro	Km 56,24
		Longitud total de drenaje	Km 23,30
		Long. Axial o cauce principal	Km 27,27
		Ancho Máximo de la Cuenca	Km 18,40

3	Pendientes	Cuenca alta	%	0,014
		Cuenca media	%	0,004
		Cuenca baja	%	0,003
4	Forma de la cuenca	Coefficiente de Compacidad		1,6
		Factor Forma		0,13
		Índice de Alargamiento		1,48
5		Orden de las Corrientes		5

Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Precipitación media de la cuenca, mes de Julio

Figure 3. Rainfall in the basin, (July)



Fuente: Elaboración propia

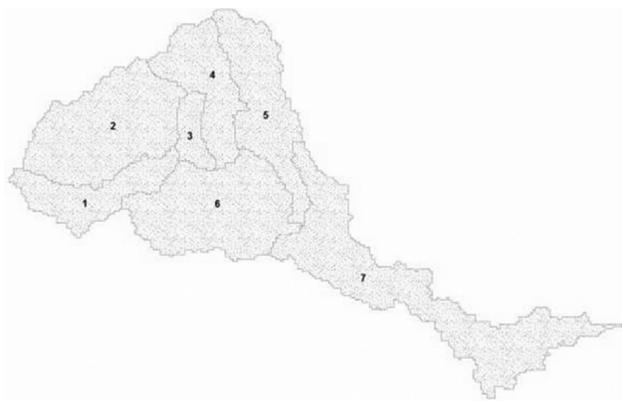
3.3 Determinación del escurrimiento superficial mediante el método del Soil Conservation Service de los Estados Unidos de América, SCS

Con los softwares Arc-GIS 10.1 y HEC HMS, se simuló la cuenca, subdividiéndola en siete sub cuencas con el fin de obtener resultados más precisos. Los suelos se clasificaron como Arenas (32%), Limos (31,4%) y arcillas (35,98%), de acuerdo con las visitas de campo realizadas durante el desarrollo del proyecto. Con los mapas de cobertura vegetal recopilados, se definieron los números de curvas (CN) y la abstracción inicial para cada una de las sub cuencas, como se puede observar en la figura 4 y en la tabla 2.

El modelo hidrológico se desarrolló a partir de la siguiente información: a) Series de tiempo del modelo meteorológico; b) características físicas de la cuenca creando y editando un modelo de cuenca; c) definición de las especificaciones de control; d) correlación entre

el modelo de cuenca y el modelo meteorológico y las especificaciones de control para crear la simulación.

Figura 4. Subcuencas quebrada Aguas Blancas.
Figure 4. Aguas Blancas creek sub-basin.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Selección de los CN para las sub-cuencas.
Table 2. CN selected for the sub-basins.

Sub-cuenca	CN	I _a (mm)
1	82	11,151
2	80	12,700
3	79	13,504
4	79	13,504
5	78	14,328
6	80	12,700
7	80	12,700

Fuente: Elaboración propia

Con el modelo de elevaciones (MDE), del Arc-GIS 10.1, se calcularon los tiempos de concentración de las siete sub cuencas y de los tres tramos en que se dividió la quebrada, como se muestra en la tabla 3. Con esta información se definieron los gastos de salida mensuales de las diferentes sub-cuencas, y por consiguiente, de toda la cuenca estudiada. Estos gastos constituyen la oferta hídrica, es decir, la cantidad de agua que puede producir la cuenca para atender los diferentes requerimientos y demandas de las poblaciones localizadas en el área de estudio.

De acuerdo con los resultados de la tabla 2, el CN que arrojó el método SCS, en promedio es de 80 curvas, lo que indica que hay una buena escorrentía en la cuenca,

proporcional con los datos de caudales obtenidos.

En la figura 5, se muestra el esquema de salida de los escurrimientos que se presentan en la cuenca hidrográfica Aguas Blancas.

Tabla 3. Tiempos de concentración para las sub-cuencas.

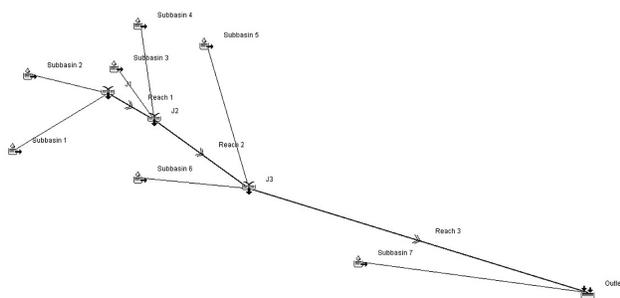
Table 3. Time of concentration for sub basins.

Sub-cuencas					
	Longitud (m)	Elevación (m)	Pendiente (m/m)	Tc min (Kirpich)	Tc (HMS)
Subbasin 1	7247	141	0,0195	83,38	50,03
Subbasin 2	5242	121	0,0231	60,84	36,50
Subbasin 3	3268	45	0,0138	51,59	30,95
Subbasin 4	5813	119	0,0205	69,00	41,40
Subbasin 5	8980	180	0,0200	97,23	58,34
Subbasin 6	7071	144	0,0204	80,39	48,24
Subbasin 7	14005	97	0,0069	206,10	123,66
RÍOS					
	Longitud (m)	Elevación (m)	Pendiente (m/m)	Tc min (Kirpich)	Tc (HMS)
Río 1	1773	16	0,0090	37,91	22,74
Río 2	4402	18	0,0041	103,55	62,13
Río 3	14049	45	0,0032	278,02	166,81

Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Esquema de salida de los escurrimientos de la cuenca.

Figure 5. Exit scheme basin runoff.



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4 se presentan los datos de salida de la precipitación efectiva mensual, donde se puede identificar los meses con mayor pluviosidad, que constituyen el período de lluvias y permiten realizar el análisis de la cantidad de agua disponible para satisfacer las necesidades básicas de la región.

Tabla 4. Precipitación de efectiva total de salida en mm.

Table 4. Precipitation total effective output mm.

Salida P _{Total} mm	
Enero	0,21
Febrero	0,00
Marzo	3,74
Abril	59,46
Mayo	120,58
Junio	96,14
Julio	105,28
Agosto	123,51
Septiembre	118,94
Octubre	102,91
Noviembre	73,66
Diciembre	13,08

Fuente: Elaboración propia

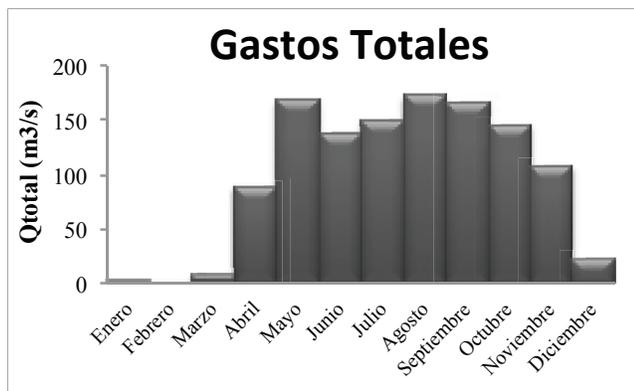
Con las herramientas del Arc-GIS 10.1, la precipitación efectiva es transformada en escurrimiento, de acuerdo a las ecuaciones del SCS. En la figura 6, se puede observar los gastos mensuales. De esta manera, se determina la disponibilidad u oferta hídrica mensual de la cuenca, que al contrastarla con la demanda para los diferentes usos, permite estimar los volúmenes mensuales de almacenamiento.

Para este caso en particular, por ejemplo, se obtuvo una precipitación promedio anual multianual que varía en el rango de los 1272 a 1664 mm y promedio mensual multianual de 37 mm, con un ciclo de verano o de sequía que se inicia en el mes de diciembre y finaliza en el mes de marzo y el otro ciclo de lluvias que se inicia en el mes de abril y finaliza en el mes de noviembre. La humedad relativa promedio mensual multianual es de 83%, que corresponde a una zona muy húmeda, típica del valle del Sinú. La temperatura promedio mensual multianual, varía en un rango desde una mínima de 20.6°C hasta una máxima de 34.8, con promedio mensual multianual de 32.6°C.

Para un período de retorno (Tr), igual a 20 años, típico para el diseño de pequeñas obras hidráulicas, la Intensidad de la precipitación, varía desde 210 mm/h con duración de 5 minutos hasta de 50 mm/h en 180 minutos. La evapotranspiración mensual, calculada por el método de García – López, es del orden de los 48,95 mm, presentando como valor máximo 54,33 mm correspondiente al mes de febrero y 45,49 como valor mínimo en el mes de noviembre.

Figura 6. Gastos totales mensuales en m³/s a la salida de la cuenca.

Figure 6. Total monthly flow in m³/s at the outlet of the basin.



Fuente: Elaboración propia

3.4 Demanda del recurso para diferentes usos

Con la población proyectada y teniendo en cuenta lo recomendado por el RAS, se realizaron los cálculos, que se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Cálculo del Q_{md}, Q_{MD}, Q_{MH} y el Q diseño.
Table 5. Calculation of Q_{md}, Q_{MD}, Q_{MH} y Q_{desing}.

Año	Población (Habitantes)	Q _{md} (l/s)	Q _{MD} (l/s)	Q _{MH} (l/s)	Q Diseño (L/s)
				Red menor distribución	
2014	530	0,82	1,06	1,70	3,40
2015	538	0,83	1,08	1,73	3,45
2020	580	0,89	1,16	1,86	3,72
2025	624	0,96	1,25	2,00	4,01
2030	673	1,04	1,35	2,16	4,32
2035	725	1,12	1,45	2,33	4,65
2039	769	1,19	1,54	2,47	4,94

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la demanda de agua para uso agrícola (D_{UA}) el valor de precipitación utilizado fue el promedio multianual (1468mm), la evapotranspiración potencial (1460mm en promedio), el coeficiente de usos de agua del cultivo fue de 0,8 (ponderado para cultivos de plátano, hortalizas y pasto) y el área utilizada para estos cultivos de 7360 Ha. Teniendo en cuenta lo anterior y reemplazando estos valores en (3), se obtuvo un D_{UA} de 107.456 Mm³/año

En el cómputo de la demanda de agua para uso pecuario (D_{UP}), se verificó en campo que por hectárea

hay 2 animales vacunos. Luego, para un total de 2676 Ha y con un factor de consumo de 22,75 [21], se obtuvo un D_{UP} de 125.580 m³/año

Por tanto, la demanda total calculada (D_T), usando (1) fue de 2.348.385 m³

3.5 Índice de escasez

En la cuenca Aguas Blancas, el índice de escasez fue de 0,007% y según el Estudio Nacional del Agua, esta cuenca se ubica dentro del rango de escasez no significativa [24]. Por otra parte, el IDEAM clasificó como zona de disponibilidad normal de agua al departamento de Córdoba, en particular, la Cuenca del río Sinú.

3.6 Comparación entre oferta y demanda para estimar volumen de almacenamiento

Para el cálculo de la oferta hídrica se utilizó el método relación lluvia – escorrentía superficial recomendada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Esta metodología es usada para determinar la oferta hídrica para cuencas que tengan menos de 250 Km² y no se encuentren instrumentadas, como es el caso de la cuenca en estudio [21].

Una vez definido los escurrimientos mensuales de la quebrada Agua Blancas, se procedió a confrontarlos con la demanda del recurso, con el objeto de definir el volumen de almacenamiento útil que debe ser almacenado para que el recurso sea sostenible en todo tiempo. En la tabla 6, se puede observar que la demanda proyectada a 25 años (4.94 l/s), es inferior a los escurrimientos mensuales, con excepción del mes de febrero, por consiguiente, se requiere de un volumen mínimo mensual de almacenamiento de 12.804,5 m³ para demanda de uso doméstico, adicionando los demás usos, sería un valor de 195.698,75 m³.

El volumen mínimo calculado debe mayorarse para cubrir el volumen evaporado, el cual se puede estimar de la siguiente forma: la evaporación diaria en la región es aproximadamente de 5 mm [25], que multiplicado por una hectárea y durante un período de 30 días, equivaldría a 1500 m³ por mes. Este volumen debe adicionarse al volumen mínimo de almacenamiento.

Todo este procedimiento, corresponde a los pasos metodológicos que se deben desarrollar con el fin de planificar la disponibilidad del recurso para sus diferentes usos.

4. CONCLUSIONES

Una micro cuenca bien instrumentada y con más de 25 años de registros como la seleccionada, permite caracterizar la climatología y por consiguiente realizar análisis útiles para la planificación del recurso hídrico.

Correlacionando la información climatológica con la información cartográfica, mediante herramientas como los sistemas de información geográfica y programas computacionales, es posible obtener diseños de pequeñas obras hidráulicas confiables para cosechas de agua, especialmente en zonas rurales, donde la escasez del recurso es determinante para las actividades económicas de la población y para satisfacer sus necesidades básicas.

Los resultados descritos, demuestran que es posible almacenar los excesos de agua en el período lluvioso para atender los requerimientos en el período seco y de esta forma, garantizar que el recurso sea sostenible en toda época del año, particularmente en las zonas rurales.

La caracterización efectuada en esta pequeña cuenca indica que el recurso hídrico es suficiente para atender la demanda de los usos doméstico, agrícola y pecuario actual y futuro de la población asentada en el área de influencia, ya que los aportes mensuales superan ampliamente la demanda.

Es recomendable considerar en el análisis de la oferta hídrica los componentes y procesos que intervienen en el ciclo hidrológico y en un contexto temporal más prolongado y una mayor densidad de estaciones hidrometeorológicas que posibiliten analizar la variabilidad climática con más detalle, teniendo en cuenta los fenómenos climatológicos del niño y de la niña (cambio climático). La demanda hídrica debe ser evaluada en su totalidad y debe tener en cuenta los usos posibles para analizar su regulación, ya que de lo contrario, la planificación del recurso hídrico sería incompleta.

REFERENCIAS

[1] H. Vera Árevalo, J. Acuña A. y J. Yerrén S., «Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú,» 2006. [En línea]. Available: http://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/Paper_BHSTUZA.pdf. [Último acceso: 15 04 2015].

[2] K. K. Liu, C. Li, X. L. Yang, J. Hu y X. Xia, «Water Resources Supply-Consumption (Demand) Balance Analyses in the Yellow River Basin in 2009,» *Procedia Environmental Sciences*, vol. 13, n° 1, pp. 1956-1965, 2012.

[3] P. Nugroho, D. Marsono, P. Sudira y H. Suryatmojo,

«Impact of land-use changes on water balance,» *Procedia Environmental Sciences*, vol. 17, pp. 256-262, 2013.

[4] H. Ozdemir y E. Elbaşı, «Benchmarking land use change impacts on direct runoff in ungauged urban watersheds,» *Physics and Chemistry of the Earth*, Vols. %1 de %279-82, pp. 100-107, 2014.

[5] M. Ali, S. J. Khan, I. Aslam y Z. Khan, «Simulation of the impacts of land-use change on surface runoff of Lai Nullah Basin in Islamabad, Pakistan,» *Landscape and Urban Planning*, vol. I, n° 102, pp. 271-279, 2011.

[6] A. D. Roo, G. Schmuck, V. Perdigao y J. Thielen, «The influence of historic land use changes and future planned land use scenarios on floods in the Oder catchment,» *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. I, n° 28, pp. 1291-1300, 2003.

[7] L. Boithias, V. Acuña, L. Vergoñós, G. Ziv, R. Marcé y S. Sabater, «Assessment of the water supply: demand ratios in a Mediterranean basin under different global change scenarios and mitigation alternatives,» *Science of the Total Environment*, Vols. %1 de %2470-471, pp. 567-577, 2014.

[8] D. Vanham, «An assessment of the virtual water balance for agricultural products in EU river basins,» *Water Resources and Industry*, vol. I, n° 1-2, pp. 49-59, 2013.

[9] X. L. Tang, J. F. Li y H. L. Long, «Analysis of the Characteristics of Runoff in Manasi River Basin in the past 50 years,» *Procedia Environmental Sciences*, vol. 13, pp. 1354-1362, 2012.

[10] J. Mongil Manso y A. Martínez de Azagra Paredes, «Técnicas de recolección de agua y de Oasificación para el desarrollo de la agricultura y la restauración forestal en regiones desfavorecidas,» *Cuadernos Geográficos*, pp. 67-80, 2007.

[11] C. Costa Posada, E. Domínguez Calle, H. G. Rivera y R. Vanegas Sarmiento, «El índice de escasez del agua ¿Un indicador de crisis o una alerta para orientar la gestión del recurso hídrico?,» *Revista de Ingeniería*, vol. 22, pp. 104-111, 2005.

[12] VS, «Proyecto Plan de Ordenamiento y Manejo de Integral de la Cuenca Hidrográfica del Río Sinú,» CVS, Montería, 2004.

[13] V. T. Chow, D. R. Maidment y L. W. Mays, *Hidrología aplicada*, Bogotá: McGraw-Hill, 1994.

- [14] M. Coskun y N. Musaoglu, «Investigation of rainfall-runoff modelling of the Van Lake catchment by using remote sensing and GIS integration,» de *Twentieth International Society for Photogrammetry and Remote*, Istanbul, 2004.
- [15] V. H. Burgos, «Estimación de la distribución espacial del Número de Curva en cuencas piedemontanas del Gran Mendoza aplicando técnicas SIG,» de Workshop Internacional de Aplicaciones de SIG en Hidrología, Santa Fé, 2008.
- [16] M. J. Mack, «HER-Hydrologic evaluation of runoff; the Soil Conservation Service Curve Number technique as an interactive computer model,» *Computers & Geoscience*, vol. 21, n° 8, pp. 929-935, 1995.
- [17] S. Das y D. P. Paul, «Selection of Site for Small Hydel Using GIS in the Himalayan Region of India,» *Journal of Spatial Hydrology*, vol. 6, n° 1, pp. 18-28, 2006.
- [18] K. Lin, F. Lv, L. Chen, V. P. Singh, Q. Zhang y X. Chen, «Xinanjiang model combined with Curve Number to simulate the effect of land use change on environmental flow,» *Journal of Hydrology*, vol. 519, n° D, pp. 3142-3152, 2014.
- [19] D. S. Deshmukh, U. C. Chaube, A. E. Hailu, D. A. Gudeta y M. T. Kassa, «Estimation and comparison of curve numbers based on dynamic land use land cover change, observed rainfall-runoff data and land slope,» *Journal of Hydrology*, vol. 492, pp. 89-101, 2013.
- [20] M. Knebl, Z.-L. Yang, K. Hutchison y D. Maidment, «Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event,» *Journal of Environmental Management*, vol. 75, n° 4, pp. 325-336, 2005.
- [21] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Resolución 865 de 2004*, Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2004.
- [22] Ministerio de Desarrollo Económico, *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico*, Bogotá: Ministerio de Desarrollo Económico, 2000.
- [23] E. A. Domínguez Calle, R. Gonzalo, R. Vanegas Sarmiento y P. Moreno, «Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico colombiano,» *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. XXXII, n° 123, pp. 195-212, Junio 2008.
- [24] IDEAM, «Estudio Nacional del Agua 2014,» Panamericana Formas e Impresos S.A., Bogotá, 2015.
- [25] J. T. Gómez Vidal y C. M. Carvajal Pinto, «Estudio sobre el comportamiento de la evaporación en la cuenca media del río Sinú,» Universidad Pontificia Bolivariana, Montería, Montería, 2010.