

EVALUACIÓN Y DINÁMICA DE USO DEL RECURSO HÍDRICO EN EL CORREGIMIENTO DE BARÚ (CARTAGENA, BOLÍVAR, COLOMBIA)

Evaluation and Use Dynamics of Water in Barú (Cartagena, Bolívar, Colombia)

MÓNICA BERDUGO MORENO, ANDRÉS BETANCOURT MORALES,
ADRIANA MALDONADO CHAPARRO, JAVIER GARZÓN.
Departamento de Biología, Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Presentado en octubre 6 de 2003, aceptado en noviembre 27 de 2003.

RESUMEN

El corregimiento insular de Barú (Cartagena, Bolívar, Colombia) carece de los servicios de acueducto y alcantarillado; sin embargo, sus habitantes logran manipular el agua para suplir sus necesidades básicas. Partiendo de este hecho, se evaluó la calidad del recurso hídrico y se caracterizó la dinámica de su uso en la localidad durante la época seca (marzo de 2003), respondiendo dos preguntas básicas: ¿Es apta para el consumo humano el agua disponible en Barú? y ¿Cuáles son los eventos, flujos y procesos involucrados en su manejo? La evaluación de la calidad del agua se hizo por comparación de algunas variables fisicoquímicas y microbiológicas frente a lo establecido en la legislación colombiana y se encontró que, en general, el agua utilizada y consumida en Barú no es segura, debido a la presencia de coliformes. La dinámica de uso del agua en el corregimiento se estudió a través de entrevistas semiestructuradas a los habitantes y caminatas de reconocimiento de la infraestructura disponible en la localidad, con lo que se obtuvo información de las prácticas de consumo, los hábitos y métodos de tratamiento de agua dulce, la disposición de aguas servidas y el volumen consumido por persona (91,4 L día). Con base en esta información, se construyó un modelo del flujo de agua utilizando el programa STELLA 7.0.3® y se determinó que el sistema tiene baja sostenibilidad debido a la marcada estacionalidad de lluvias en la zona y a la gran dependencia de factores externos y de trabajo humano interno requeridos para su funcionamiento.

Palabras clave: Barú, calidad del agua, modelación de sistemas, uso del recurso hídrico.

ABSTRACT

The insular town of Barú (Cartagena, Bolívar, Colombia) lacks aqueduct and sewer system services; however, Barú's habitants manipulate the water to satisfy their basic necessities. In this way, we evaluated water quality and characterized the dynamic of its use in Barú during the dry season (March of 2003). We answer two basic questions: is the available water in Barú suitable for human consumption? and, which are the events, flow and processes involved in its handling? The evaluation of the quality of the water was made by comparison of some physicochemical and microbiological variables versus

the standards of the Colombian law. It was found that the water in Barú is not safe, due to coliforms. The dynamics of water use in this town was studied by interviewing some of the inhabitants and recognition trips of the available infrastructure. Information about consumption practices, habits and methods of treatment of sweet water, disposition of served waters and volume consumed by person (91,4 L/day) was obtained. With this information, we constructed a model of the water flow using the software STELLA 7.0.3®. It was found that the system has low sustainability due to the marked seasonality of rain, the great dependence to external factors and to the human work required for the maintenance of the system.

Key words: Barú, water quality, system modeling, water use.

INTRODUCCIÓN

El corregimiento de Barú carece de infraestructura para los servicios de acueducto y alcantarillado, por lo que gran parte de la rutina de sus habitantes está ligada a la consecución y manejo de agua dulce y salobre para suplir las necesidades que demandan tanto la población como los visitantes. En esta localidad turística, el agua dulce es un recurso limitante para el mantenimiento y la sostenibilidad de la población humana, aunque actualmente la comunidad logra manipularla para suplir sus necesidades básicas. El análisis sistémico de su manejo puede ser útil en la identificación de puntos críticos en el flujo del recurso con el fin de evaluar la sostenibilidad del sistema y orientar la toma de decisiones administrativas que busquen incrementar su eficiencia. La calidad del agua se determina con base en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos previamente establecidos como condiciones mínimas para la potabilidad. Para el caso colombiano, el Ministerio de Salud en su Decreto 475 de 1998 define el agua potable como aquella que por reunir ciertos requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos puede ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos en su salud y el agua segura como aquella que sin cumplir algunas de esas normas de potabilidad, puede ser manipulada y consumida sin riesgo inminente para la salud humana. Según revisión de Prescott *et al.* 1999, el agua potable es aquella que está libre de coliformes, coliformes fecales y ciertos protozoos de los géneros *Acanthamoeba*, *Cryptosporidium* y las especies *Cyclospora cayentensis*, *Giardia lamblia* y *Naegleria fowleri*.

No es fácil evaluar las necesidades en materia de agua, desde el punto de vista hidrológico o económico. Un mismo tipo de agua puede reaprovecharse o utilizarse con distintas finalidades; por ello, el volumen total utilizado en ciertas regiones puede rebasar la capacidad de los recursos hídricos locales (Marín 1992). Lo anterior es más evidente en lugares donde el recurso agua es escaso, como ocurre en isla Barú, donde se presentan 4 meses de sequía. Durante esta temporada, los pobladores se abastecen de los depósitos de agua lluvia recogida durante el resto del año y de agua proveniente de Cartagena, factores que obligan a un uso restringido de ésta. Los estudios de evaluación del recurso hídrico y la calidad del agua dentro del análisis ambiental de una región son de gran importancia, ya que proveen un soporte para el diseño de políticas y planes de manejo que contribuyen a mejorar la calidad de vida de los habitantes (Tucker y Vivado

1980). El conocimiento del manejo del recurso hídrico en una localidad se compone de varios elementos, entre ellos: la demanda de agua potable de acuerdo con las actividades que se realicen en el área, la oferta natural local o probable de provisiones hídricas, la evaluación de las características organolépticas, fisicoquímicas y microbiológicas de dicha fuente, la viabilidad de potabilización de la misma y el manejo de aguas servidas, entre otras (Pound *et al.* 1976). Este conocimiento puede ser representado en un modelo de la dinámica de uso del recurso, la cual se entiende como el conjunto de eventos, flujos y procesos que sigue el agua desde su origen hasta su desecho. Este estudio fue realizado para obtener una primera aproximación, desde la perspectiva de los sistemas, de la caracterización del estado y manejo del recurso hídrico disponible en el corregimiento de Barú mediante evaluación cualitativa y cuantitativa de su calidad, valoración del uso y manejo del mismo por parte de la comunidad y modelación de su dinámica.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El corregimiento de Barú está localizado en la isla Barú ($10^{\circ}19'$ y $10^{\circ}08'$ latitud N y $75^{\circ}42'$ y $75^{\circ}31'$ longitud O), ubicada en la jurisdicción del Distrito Turístico de Cartagena en la costa Caribe colombiana. La isla está entre dos ensenadas: al norte la bahía de Cartagena y al sur la bahía de Barbaçoas y se separa de la masa continental por el Canal del Dique, tiene una longitud aproximada de 35 km y 1,5 km a 10 km de ancho (Caro 1985). El corregimiento de Barú, está ubicado al sur oriente de la isla al margen de la laguna costera ciénaga Barú, conocida por los habitantes locales como ciénaga Cruz de Mayo; su población es aproximadamente de 6.800 habitantes (Marín 1992). La precipitación media mensual y total anual para el período comprendido entre 1984 y 1995 fue de 69,44 mm y 833,264 mm respectivamente (IDEAM 2003). Presenta un régimen unimodal biestacional, con un período seco que abarca los meses de diciembre a abril y uno húmedo que va de mayo a noviembre; el valor mínimo de precipitación es de 0,075 mm en enero y el máximo es de 172,42 mm en octubre.

CONSECUCCIÓN DE DATOS CUALITATIVOS Y CUANTITATIVOS

El estudio se realizó en marzo de 2003, período que corresponde a la época seca. Tuvo dos componentes: el primero se llevó a cabo durante 12 horas de trabajo efectivo y comprendió una serie de entrevistas semiestructuradas (Tabla 1). Los criterios para la selección de las personas entrevistadas fueron, la ubicación de sus hogares y su situación económica. De esta forma, se logró entrevistar a los diferentes actores de la localidad y cubrir el amplio espectro de situaciones que se pueden dar respecto del manejo del agua, en el área urbana del corregimiento de Barú.

La población encuestada fue discriminada en proveedores y consumidores. Los proveedores a su vez, se dividieron en dos categorías según el tipo de agua que comercian: dulce y salobre; mientras que el grupo de consumidores, comprendió varias clases: colegio, puesto de salud, hotel, once hogares y dos establecimientos comerciales (restaurante y tienda). Esta división se estableció con el fin de determinar cualitativa y cuantitativamente los elementos involucrados en el uso del recurso hídrico y las características

del manejo cultural del mismo Elorza 2000). El segundo componente comprendió la toma de muestras instantáneas de agua para evaluar la calidad de los tipos de agua disponibles en la localidad (dulce, salobre y salada). Las pruebas de evaluación de la calidad del agua se realizaron sobre 10 muestras (Tabla 2).

| ENCUESTA | DESCRIPCIÓN | PREGUNTAS CLAVE |
|----------|-----------------------------|--|
| Tipo I | Proveedores de agua salobre | <ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Cuánto venden en época seca / en época de lluvia? 2. ¿Cuánto se demora el pozo en llenar? 3. ¿Cuánta gente viene al pozo? 4. ¿Venden el agua a transportadores? |
| Tipo II | Proveedores de agua dulce | <ol style="list-style-type: none"> 1. Cuáles son las fuentes de agua en: <ol style="list-style-type: none"> a. Época seca. b. Época de lluvia. 2. ¿Con qué frecuencia traen el agua? 3. Cuál es el costo del agua en: <ol style="list-style-type: none"> a. Época seca b. Época de lluvia |
| Tipo III | Consumidores | <ol style="list-style-type: none"> 1. Dónde se proveen de: <ol style="list-style-type: none"> a. Dulce en época seca y en época de lluvia. b. Salada. c. Potable. d. Salobre. 2. Cuál es el uso de cada tipo de agua: <ol style="list-style-type: none"> a. Dulce en época seca y en época de lluvia. b. Salada. c. Potable. d. Salobre. 3. ¿Tratan el agua de alguna forma para mantener el agua antes de su consumo? 4. ¿Cuál es la distancia al pozo y a la alberca más cercana a la preferencial? 5. Cuántos galones consume al día de: <ol style="list-style-type: none"> a. Dulce en época seca y en época de lluvia. b. Salada. c. Potable. d. Salobre. 6. ¿Cuántos acarreo del recurso realizan por semana? 7. ¿Dónde vierten el agua sucia? 8. ¿Cómo mantienen el pozo séptico? 9. ¿De qué otra forma aprovechan el agua? 10. ¿Cómo se afectan estos otros usos con el depósito de aguas servidas? |

Tabla 1. Encuestas semiestructuradas realizadas a los pobladores. El total de la muestra fue de 19 entrevistas.

| NOMENCLATURA | ORIGEN | TIPO DE AGUA | FUENTE | ALMACENAMIENTO | UBICACIÓN |
|----------------------|--|--------------|------------------------|---|------------------------|
| Proveedor 1 | Don Miguel (gran proveedor) | Dulce | Cartagena ^a | Alberca de concreto con techo de aluminio | Solar |
| Proveedor 2 | La vecina (gran proveedor) | Dulce | Cartagena ^a | Alberca de concreto con techo de aluminio | Solar |
| Proveedor 3 | Pozo de agua salobre (gran proveedor) | Salobre | Pozo profundo | Ninguno | Solar |
| Colegio | Colegio local | Dulce | Cartagena ^a | Alberca de concreto | Subterránea |
| Hotel | Reserva del Hotel | Dulce | Alberca | Tanque plástico | Solar |
| Hogar 1 | Hogar de Don Sergio | Dulce | Cartagena ^a | Tanque de asbesto | Solar |
| Hogar 2 | Hogar de Doña Rosalina | Dulce | Alberca | Tanque plástico | Solar |
| Bendeck | Bolsa de agua potabilizada Bendeck® | Embotellada | Embotelladora Bendeck® | Nevera | Tienda |
| Hielo | Hielo de fabricación casera ^b (pequeño proveedor) | Dulce | Alberca | Bolsa plástica | Congelador |
| Ciénaga Cruz de Mayo | Agua superficial de la ciénaga Cruz de Mayo | Salada | Ciénaga | Ninguno | Límite de la población |

Tabla 2. Muestras de agua tomada para la evaluación de la calidad del recurso. Una muestra instantánea es definida por el Decreto 2.105 de 1983, como la tomada en un lugar representativo, en un determinado momento.

^a Agua proveniente del acueducto de Cartagena, extraída a su vez del Canal del Dique (Marín 1992).

^b Aunque el proceso de fabricación del hielo es casero (bolsas plásticas con agua traída de Cartagena en el congelador de una nevera residencial), el producto es distribuido comercialmente.

PRUEBAS FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS

Con el fin de evaluar la potabilidad del agua se desarrollaron en campo y en el Departamento de Biología (Laboratorio de Ecología), sede Bogotá Universidad Nacional de Colombia, pruebas fisicoquímicas y microbiológicas para los parámetros enumerados en la tabla 3, donde también se presentan las especificaciones de los procedimientos respectivos.

| PARÁMETRO | UNIDADES | INSTRUMENTO | LUGAR |
|------------------|------------------|---|-----------------------------|
| Salinidad | ‰ | Conductímetro ORION 115 | <i>In situ</i> |
| Conductividad | µS ó mS | Conductímetro ORION 115 | <i>In situ</i> |
| pH | Unidades | Potenciómetro Handylab2 | <i>In situ</i> |
| TDSa | mg/L | Conductímetro ORION 115 | <i>In situ</i> |
| Alcalinidad | mg/L | Kit Hash (r) | <i>In situ</i> |
| Dureza | mg/L | Kit Merck (r) para dureza | En laboratorio ^b |
| Coliformes | P-A ^c | Kit Readycult(r) coliforms | En laboratorio |
| Escherichia coli | P-Ac | Transiluminador UV tras prueba de coliformes positiva | En laboratorio |

Tabla 3. Variables e instrumentos utilizados para evaluar la potabilidad del agua.*

* TDS = Sólidos Disueltos Totales.

^b Previa refrigeración (3-5°C aproximadamente) para continuar con la evaluación en Bogotá.

^c P-A: pruebas de presencia-ausencia.

MANEJO DE DATOS

Datos fisicoquímicos. Los datos obtenidos para las variables fisicoquímicas se compararon con los establecidos en la legislación colombiana, Decreto 475 de 1998, por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable. Entre sí, las muestras de agua dulce fueron comparadas para evidenciar diferencias fisicoquímicas en su calidad, aplicando la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Steel y Torrie 1988, Elorza 2000) con dos grados de libertad y un μ de 0,05. Dichas muestras se categorizaron en tres grupos, cada uno con dos unidades, así: pequeños consumidores (Hogar 1 y 2), grandes consumidores (Hotel y Colegio) y proveedores de agua dulce (Proveedor 1 y 2); las variables utilizadas para esta prueba fueron: el contenido de sólidos disueltos totales (TDS), la alcalinidad en términos del contenido de CaCO_3 y la conductividad. La muestra Bendeck® no se tuvo en cuenta para este análisis pues viene sellada y al ser manipulada por la gente sus características fisicoquímicas y microbiológicas no se alteran; de la misma forma, la muestra hielo no se analizó porque constituye un único grupo, caracterizado como pequeño proveedor.

Datos microbiológicos. Los resultados obtenidos mediante la aplicación de pruebas de presencia-ausencia (P-A), fueron contrastados de forma cualitativa con los valores establecidos en la legislación colombiana (Decreto 475 de 1998) y no se sometieron a un análisis estadístico formal. El objetivo de la aplicación de estas pruebas fue describir la condición de potabilidad del agua, la presencia de coliformes hace que el agua no sea segura para el consumo humano.

Análisis de sistemas. A partir de la información obtenida en las encuestas se identificaron las entradas, salidas, controladores y procesos relacionados con la dinámica de uso y manejo del recurso hídrico en Barú. Estos elementos fueron utilizados para crear un modelo estático del sistema en el que se incluyen las condiciones para la época seca y la época de lluvias. Para la elaboración del modelo se utilizó el programa STELLA (r) versión 7.0.3 (High Performance Systems Inc., 2002). Los datos numéricos obtenidos a partir de las respuestas obtenidas por la población encuestada se em-

plearon para realizar cálculos tales como el costo del agua, de su transporte al interior del corregimiento y la cantidad de agua utilizada por persona, valor a partir del cual se hicieron inferencias sobre el total de la población del área urbana de Barú.

RESULTADOS

USO DEL AGUA

Los tipos de uso encontrados fueron: aseo personal (Ducha), ingestión directa o por cocción de alimentos (Consumo), lavado de ropa (Ropa), riego de plantas (Plantas), mantenimiento de animales (Animales), limpieza general de las habitaciones (Aseo), descarga de los baños y letrinas (Baño) y lavado de pies (Pies). En la figura 1 se ilustra el porcentaje de la población encuestada que hace uso de los diferentes tipos de agua para las actividades reportadas.

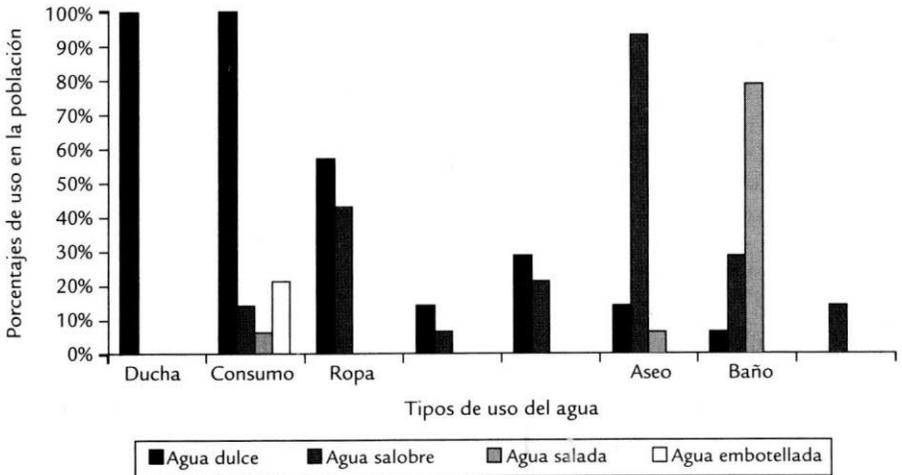


Figura 1. Histograma de uso del agua en el corregimiento de Barú.

Se puede observar que el agua embotellada solo es usada para consumo por el 21% de la población; el agua salada es usada por el 79% para la descarga del baño, lo cual constituye su principal uso; el agua dulce (la proveniente de Cartagena y el agua lluvia) y el agua salobre son empleadas en casi todos los oficios, aunque en diferentes proporciones. Por ejemplo, para el aseo el 93% de la población usa agua salobre, el 14% dulce y el 7% salada; para el lavado de ropa el 57% usa agua dulce y el 43% agua salobre, cabe resaltar que en el enjuague final de esta práctica, puede utilizarse agua dulce. Se puede observar que la actividad en la que se emplean más tipos de agua es el consumo, seguido por el aseo y descarga del baño, aunque en cada una de ellas el tipo de agua preponderante es diferente (dulce, salobre y salada, respectivamente). Algunos de los usos (entre ellos ducha, ropa y aseo) generan aguas grises, según la población encuestada, ésta puede ser reutilizada en actividades que no demandan alta calidad de agua como el aseo general de habitaciones y el riego de plantas. Las demás actividades generan aguas servidas, que son desechadas por medio de pozos sépticos y letrinas, éstas últi-

mas pueden estar ubicadas a la orilla de la ciénaga o lejos de ella. En la muestra encuestada, 93,75% tiene pozo séptico en su hogar y el restante 6,25%, letrinas. En época de lluvias, mientras las albercas de almacenamiento de agua se encuentran llenas, la demanda de agua traída de Cartagena disminuye o es casi nula y el agua lluvia pasa a cumplir las funciones del agua de Cartagena.

MANEJO Y PERCEPCIÓN DEL RECURSO HÍDRICO

La percepción del recurso hídrico varía entre la población humana de Barú de acuerdo con la edad, el oficio y el sexo. Así, los niños asocian el agua con sus juegos; los jóvenes, debido a la situación socioeconómica de la localidad, la asocian con posibles formas de sustento (pesca, turismo y transporte a otros lugares). Para los pescadores y transportadores, es su fuente de trabajo; para las mujeres es la despensa de alimento y para los adultos mayores hace parte de su historia de vida. En general, los habitantes consideran que la calidad del agua se mantiene una vez tratada en Cartagena. En cuanto al agua dulce usada para consumo, el 45% de la muestra emplea algún tipo de tratamiento (como hervir el agua o agregarle carbón activado), mientras que el agua lluvia es tratada por un 56% de la muestra con sustancias potabilizantes, cloro, carbón activado y cocción. El agua salobre es tratada por un 12,5% de la de población muestreada.

VARIABLES FISICOQUÍMICAS

La tabla 4 muestra que los valores de las variables evaluadas se encuentran entre los rangos aceptados para aguas potables, según la legislación colombiana, con excepción de Proveedor 3 y ciénaga Cruz de Mayo, las cuales se encuentran fuera de los rangos para agua segura, exceptuando el valor registrado para el pH. Al aplicar la prueba de Kruskal-Wallis (con 2 grados de libertad y un μ de 0,05), encontramos que los tres grupos definidos (grandes consumidores, pequeños consumidores y proveedores de agua dulce) no difieren entre sí, al evaluar la similitud de las variables TDS, conductividad y alcalinidad.

| MUESTRA (%) | SALINIDAD (mg/L) | TDS (-S)* | CONDUCTIVIDAD | PH | DUREZA | | ALCALINIDAD (CaCO ₃ mg/L) |
|--|------------------|-----------|---------------|---------|--------------------------|-------|--------------------------------------|
| | | | | | (CaCO ₃ mg/L) | KH | |
| Hotel | 0,1 | 78 | 153,6 | 6,68 | 60,1 | 3,36 | 51 |
| Hogar 1 | 0,1 | 92 | 176,5 | 6,65 | 60,1 | 3,36 | 51 |
| Bendeck® | 0,1 | 81 | 212,0 | 6,59 | 50,1 | 2,80 | 51 |
| Colegio | 0,1 | 81 | 156,9 | 6,58 | 60,1 | 3,36 | 51 |
| Proveedor 1 | 0,1 | 83 | 160,0 | 6,57 | 60,1 | 3,36 | 51 |
| Proveedor 2 | 0,1 | 84 | 162,8 | 6,57 | 100,2 | 5,60 | 51 |
| Proveedor 3 | 2,7 | 2630 | 4810,0 | 6,82 | 50,1 | 2,80 | 272 |
| Hielo ciénaga | 0,0 | 35 | 71,7 | 6,83 | 150,4 | 8,40 | 51 |
| Cruz de Mayo | 19,4 | 17600 | 3220,0 | 6,96 | 60,1 | 3,36 | 85 |
| Hogar 2 | 0,1 | 87 | 192,4 | 7,00 | 100,2 | 5,60 | 68 |
| Valores establecidos en el decreto 475 de 1998 | | | | | | | |
| Agua potable | No explícitos | <500 | 500-1000 | 6,5-9,0 | 160 | 8,93 | --- |
| Agua segura | No explícitos | <1000 | <1500 | 6,5-9,0 | 180 | 10,05 | --- |

Tabla 4. Datos obtenidos en la evaluación fisicoquímica de los tipos de agua de Barú.

*Tomada a 17° C, excepto la muestra Colegio que fue tomada a 13,3° C.

VARIABLES MICROBIOLÓGICAS

La tabla 5 muestra el resumen de las pruebas P-A realizadas en laboratorio. Aunque la mayoría de las muestras de agua dulce registró presencia de coliformes, aquellas que fueron tomadas en los reservorios que permanecen cubiertos no presentaron *E. coli*. La muestra ciénaga Cruz de Mayo, principal vertedero de agua servidas de Barú, tampoco presenta *E. coli*.

| MUESTRA | COLIFORMES | <i>E. coli</i> | MUESTRA | COLIFORMES | <i>E. coli</i> |
|-------------|------------|----------------|----------------------|------------|----------------|
| Hotel | + | + | Proveedor 2 | + | - |
| Hogar 1 | + | + | Proveedor 3 | + | + |
| Bendeck® | - | - | Hielo | + | - |
| Colegio | + | - | Ciénaga Cruz de Mayo | + | - |
| Proveedor 1 | + | + | Hogar 2 | - | - |

Tabla 5. Datos de pruebas P-A en la evaluación microbiológica del agua en Barú.

MODELO

Se presenta un modelo del flujo de aguas que tiene lugar en el corregimiento de Barú (Fig. 2). Se identificaron aportes de agua alóctonos, que corresponden a agua potabilizada y envasada, fuentes autóctonas de agua dulce, correspondientes a las lluvias y fuentes autóctonas de agua salada y salobre provenientes de las ciénagas Cruz de Mayo y El Pelao y los pozos de agua salobre.

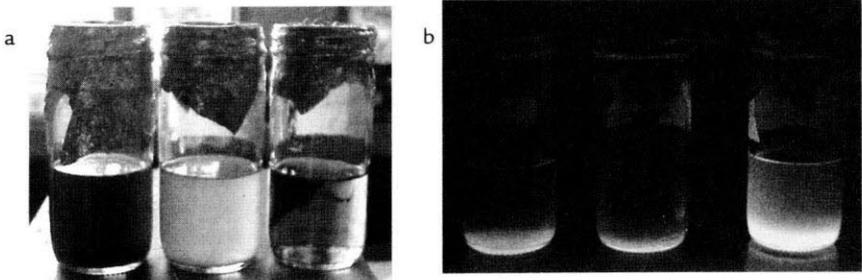


Figura 2. Fotografías de las pruebas P-A. a.) Lectura bajo luz día, de las muestras ciénaga Cruz de Mayo: verde (+), (en la fotografía gris), Bendeck y Hogar 2: ambas amarillo (-), (en la fotografía blanco y transparente). b.) Lectura en la cámara de fluorescencia de las muestras Colegio, Hielo: ambas sin fluorescencia (-) y Hotel: fluorescencia (+).

En el modelo no se tuvo en cuenta el uso que se le da a cada uno de los tipos de agua. La dinámica de uso del agua dulce varía a lo largo del año, de acuerdo con el régimen de lluvias para la zona, lo cual se refleja en el modelo dependiendo de los valores de entrada alóctonos y autóctonos de este tipo de agua. Después que el agua ha entrado a Barú y cumple su ciclo sale del sistema para, al menos en parte, reintegrarse al mismo, por medio del ciclo natural del agua a través de las precipitaciones. El agua lluvia, por infiltración, puede llegar a pozos naturales, ciénagas y playas. El agua utilizada por los baruleros recibe solutos orgánicos e inorgánicos y puede ser desechada a los pozos sépticos desde donde se infiltra, o llega directamente a las ciénagas y al suelo. Una parte

de todos los tipos de agua se incorporan al ciclo natural por evaporación. El sistema cuenta con varios reservorios de acuerdo con el tipo de agua. Las ciénagas y los pozos de agua salobre son reservorios naturales. Las albercas de grandes proveedores, establecimientos comerciales, albercas, tambucos (recipiente plástico de 6 galones) y tanques, funcionan como reservorios artificiales en donde se almacena por más tiempo y en mayor cantidad agua dulce. Es importante mencionar que el recambio de agua en los reservorios se da por diferentes fenómenos. En las ciénagas por efecto de las mareas, en los pozos salobres por la oscilación en el nivel freático y en los reservorios artificiales depende de la acción antrópica. Los flujos de agua son llevados a cabo mediante procesos intermedios, que la conducen desde su origen hasta un reservorio, entre reservorios o de cualquier punto a las salidas. La acción de estos procesos está determinada por diferentes factores, que en la modelación se conocen como controladores (Fig. 3), los cuales afectan el flujo total y los flujos parciales de agua en el sistema.

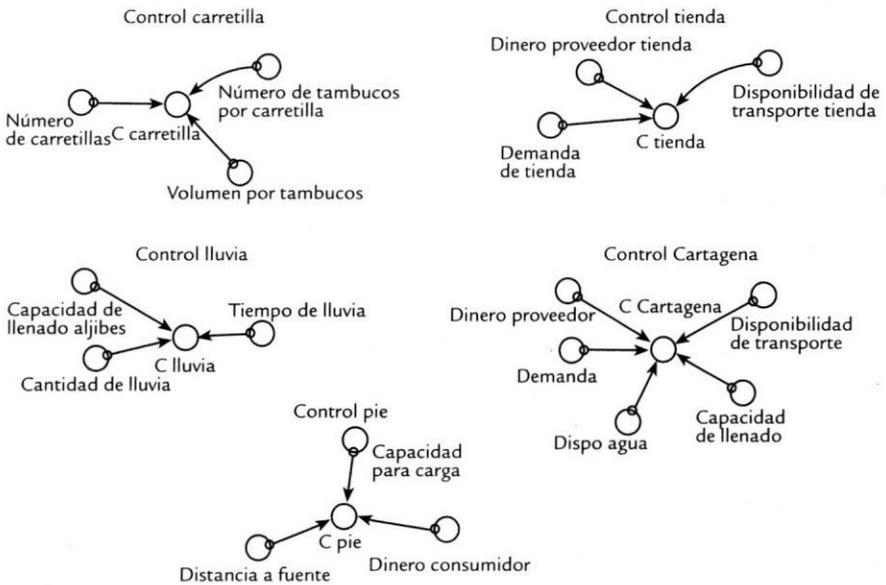


Figura 3. Algunos de los controladores identificados en los flujos de materia del agua en Barú.

Para este caso, los controladores incluyen: decisiones, capacidades (de almacenamiento, de carga, adquisitiva, de trabajo), facilidades de transporte, distancias, tamaño poblacional y características climáticas (régimen de lluvia, mareas) y del terreno (capacidad de filtración y nivel freático). Los flujos de agua que entran al sistema para la modelación, se obtuvieron a partir de las encuestas y se presentan en la tabla 5. Se observa que el mayor aporte es de agua salobre y el menor es de agua envasada. Los procesos energéticos involucrados en el sistema comprenden: el trabajo humano relacionado con el transporte, sea en carretilla o a pie y la extracción del recurso desde los reservorios; factores ambientales como la marea y la evaporación; y la energía invertida en el transporte del agua dulce desde el exterior del sistema.

DISCUSIÓN

En Latinoamérica el consumo diario promedio de agua dulce por persona en sectores rurales es de 130 L y para Colombia se estima un consumo de 140 L en climas cálidos (Marín, 1992). El consumo estimado en el presente estudio para la isla de Barú ($38,5 \text{ L} \times \text{día}^{-1} \times \text{persona}^{-1}$), es cercano a una cuarta parte de los valores mencionados, quedando en evidencia las limitaciones hídricas de la localidad. Sin embargo, este consumo es superior al reportado para Manaure por Pardo (2002), que corresponde a $13 \text{ L} \times \text{día}^{-1} \times \text{persona}^{-1}$. Esta localidad, pese a tener acueducto y facilidades de acceso se encuentra en una zona de condiciones climáticas más secas que el corregimiento de Barú.

USO DEL AGUA

El uso que se le da a cada tipo de agua se relaciona con la calidad requerida para cada tarea, lo que se ve reflejado en el establecimiento de prioridades para el uso. A partir de los datos obtenidos, se puede definir un orden preferencial para la utilización de agua dulce de mayor a menor importancia: consumo directo, aseo personal, lavado de ropa, consumo animal, riego de plantas, limpieza general y baños. Sin embargo, este patrón de uso se ve afectado por la capacidad adquisitiva de cada usuario, algunos aspectos culturales y la época del año. En el primer caso, en niveles socioeconómicos bajos un tipo de agua de baja calidad (como salada o salobre) sustituye al agua dulce en actividades que requieren buena calidad del recurso; por ejemplo, cuando los ingresos son insuficientes, algunos pobladores utilizan el agua salobre para el baño personal, mientras que las personas solventes utilizan el agua dulce para actividades como baño personal, limpieza general y la envasada para lavado de utensilios. En el segundo caso, eventos como cocinar mariscos utilizando el agua salada proveniente de la ciénaga por considerar que adquiere mejor sabor. Por último, durante los meses de lluvia el consumo de agua dulce abarca más tipos de uso, debido a que su adquisición demanda menor cantidad de energía y dinero. Con respecto a las aguas de desecho, el porcentaje real del uso de letrina por la población puede ser mayor, debido a que las personas que pueblan el borde de la ciénaga usan este método de evacuación.

VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS

Como se presentó en la tabla 4, los valores de salinidad de las muestras de agua dulce son evidentemente inferiores (0,1‰) a los encontrados en las muestras de agua salobre y salada; la diferencia entre estas últimas es también considerable, lo que se puede explicar por el efecto filtrador del suelo que retiene una gran cantidad de sales, haciendo del agua salobre un tipo de agua con mayor rango de usos que el agua salada. Sin embargo, durante el proceso de filtración, el suelo aporta carbonatos de calcio (CaCO_3), de magnesio (MgCO_3), bicarbonato (HCO_3) e hidróxido (OH) (Pardo 2002), como lo evidencia el valor de la alcalinidad para el agua salobre ($272 \text{ mg de CaCO}_3 \times \text{l}^{-1}$). Aunque el hogar 2 presenta un valor superior ($68 \text{ mg de CaCO}_3 \times \text{l}^{-1}$) a la moda ($51 \text{ mg de CaCO}_3 \times \text{l}^{-1}$), no se encuentra fuera de los valores establecidos por el Decreto 475 de 1998. Los valores para TDS en las muestras de agua dulce varían desde 35 mg/L en la muestra hielo hasta 92 mg/L en el hogar 1, encontrándose todas dentro del rango establecido para agua potable; sin embargo, el valor determinado para la

muestra de agua salobre (Proveedor 3), que ocasionalmente es usada para consumo, se encuentra por encima del valor permisible para agua segura, establecido en el Decreto 475 de 1998. Este hecho puede representar un riesgo para la salud de la población, de acuerdo con la naturaleza de los sólidos presentes. En la escala de grados de dureza, las muestras de agua dulce de este estudio corresponden a aguas muy blandas (menos de 4 grados de dureza alemanes) o blandas (entre 5-9 grados) y entran en la categoría de agua potable. Se podría esperar que las muestras de agua salobre y ciénaga Cruz de Mayo fueran más duras que las muestras de agua dulce, pero tienen valores muy bajos; esto puede deberse a que la presencia de altas concentraciones de iones Na^+ y K^+ hacen negativa la dureza de no carbonatos y sus sales pueden aportar a la alcalinidad, pero no a la dureza (Tebbutt, 1997). Por otro lado, teniendo en cuenta sólo las variables fisicoquímicas (conductividad, TDS y alcalinidad), el resultado de la prueba de Kruskal-Wallis sugiere que la calidad del aguadulce de Cartagena, no decrece una vez llega a Barú y mientras es transportada y depositada en los contenedores de los tres grupos estudiados (proveedores, grandes y pequeños consumidores). Esto permite decir que las variables fisicoquímicas mencionadas no se ven afectadas por el manejo de agua realizado por varias personas, el depósito del agua, ni el tiempo de exposición de la misma.

VARIABLES MICROBIOLÓGICAS

La calidad del agua se ve afectada por la fuente, la efectividad del tratamiento al que se la someta y el buen funcionamiento y operación del sistema de distribución. Como sucede en muchas localidades rurales e incluso en ciudades de los países en vías de desarrollo, en el departamento de Bolívar sólo entre el 4,5 y 7% de la población rural tiene acueducto (Marín, 1992). En el corregimiento de Barú la inexistencia de una infraestructura adecuada, el elevado tiempo de exposición del agua al aire libre, la manipulación constante realizada por varias personas sobre los distintos tipos de agua, facilitan la contaminación, con el respectivo crecimiento de microorganismos en el agua para consumo.

Debido a lo anterior, la mayoría de muestras presentan coliformes totales. Las muestras negativas fueron Bendeck, que es sometida a tratamientos de potabilización y de control de calidad, y Hogar 2, donde sólo viven dos personas, los reservorios permanecen cubiertos y el tiempo de almacenamiento es corto. La presencia de *E. coli* (en muestras Hotel, Hogar 1, Proveedor 1 y Proveedor 3) se da en sitios en que la asepsia asociada a los lugares de almacenamiento del agua es mínima, los reservorios permanecen parcial o totalmente expuestos a la intemperie y al contacto con animales domésticos y son manipuladas, en la extracción o en el uso, por una cantidad apreciable de personas. Como los parámetros microbiológicos son los más importantes para determinar la calidad del agua para uso potable y las normas de calidad microbiológica se basan esencialmente en la necesidad de asegurar la ausencia de bacterias indicadoras de contaminación por desechos humanos o animales; se puede concluir que la mayor parte de las muestras de agua analizadas en este estudio no cumple con los requisitos mínimos para ser consumida.

MODELO

En época seca, el sistema modelado es dependiente de factores externos como el transporte (condiciones de las vías de acceso, disponibilidad de vehículo, combustible y personal) y la oferta de la fuente de agua dulce (Cartagena). Si alguno de los elementos involucrados con estos factores extrínsecos se ve limitado, puede afectar el flujo de entrada de agua hasta un punto crítico en que disminuya drásticamente o sea nulo. Lo anterior, ocasiona que el sistema tenga una baja sostenibilidad; por esto, algunas personas racionalizan el recurso al máximo o utilizan el agua dulce reservada durante la época de lluvia a lo largo de todo el año, lo que implica una disminución en la calidad del agua por contaminación microbiológica. En el modelo se evidencia la importancia del trabajo humano para que el recurso sea aprovechado internamente en el corregimiento de Barú, debido a las condiciones precarias de infraestructura y a la ausencia de tecnificación para la distribución del recurso. Por otro lado, el gasto energético que implica el transporte dentro del corregimiento es muy elevado para el resultado obtenido y no asegura la permanencia en la calidad del agua, por las condiciones poco higiénicas que caracterizan esta forma de transporte. Estos factores internos y la dependencia de flujos de materia a partir de fuentes externas, van en detrimento de la eficiencia energética del sistema. La solución ideal frente a la problemática expuesta a lo largo de este documento para mejorar la situación hídrica actual de la población de Barú, sería construir un sistema de acueducto y alcantarillado que permita la distribución adecuada, eficiente y limpia del recurso. Sin embargo, es más viable y apropiado proponer una inversión enfocada en maximizar el aprovechamiento de la fuente interna de agua lluvia; la cual, como se ilustra en el modelo, es la única fuente autóctona de agua dulce. Así mismo, sugerimos optimizar la calidad de almacenamiento del agua, por un lado construyendo grandes reservorios comunales, con condiciones de asepsia adecuada para su conservación a lo largo del extenso período de sequía anual y por otro, mediante campañas de apoyo y educación a la comunidad, para que ésta tome conciencia de la importancia del mantenimiento de la calidad del agua dulce, sus implicaciones en la salud de la población y la promoción del turismo.

CONCLUSIONES

- El consumo per capita por cada tipo de agua por día en el corregimiento de Barú es de 38,5 L de agua dulce, 0,01 L de agua envasada, 29,9 de salobre y 22,9 de salada, para un consumo total de 91,4 L por día.
- La comunidad hace uso diferencial de los tipos de agua a que tiene acceso, de acuerdo con la calidad de la misma.
- De acuerdo con las variables fisicoquímicas y según la legislación nacional, el agua dulce disponible en Barú es adecuada para consumo. Sin embargo, al incluir los parámetros microbiológicos, sólo el agua envasada y la proveniente de un hogar son potables, las demás no entran en la categoría de segura.
- La calidad del agua en Barú se ve afectada por las condiciones de almacenamiento, transporte y manipulación de la misma.
- El análisis del sistema mostró su dependencia a flujos alóctonos de materia y ener-

gía y al régimen de lluvias, el poco rendimiento de la energía invertida (trabajo humano) en el funcionamiento interno del sistema y la baja sostenibilidad del mismo. –Es necesario un sistema adecuado e higiénico para el almacenamiento del agua lluvia en Barú para incrementar la sostenibilidad del sistema.

AGRADECIMIENTOS

A la comunidad barulera por su colaboración, a la Unidad de Microbiología del Departamento de Biología, especialmente al profesor Hernando Valencia, al profesor Gabriel Guillot por su guía a lo largo de toda la investigación, y a las auxiliares de laboratorio del Departamento de Biología Dora, Claudia y Lilia por su ayuda y por el préstamo de material.

BIBLIOGRAFÍA

- CARO, C. I. 1985. Contribución al conocimiento de los foraminíferos bentónicos recientes de lagunas costeras: ciénaga Barú, Pelado y caño del Ahorro, isla Barú. Trabajo de Grado, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.
- ELORZA, H. 2000. Estadística para las ciencias sociales y del comportamiento. Oxford University Press. México.
- IDEAM. 1999. Hoja de datos de precipitación, estación isla Grande. Bogotá.
- MARÍN, R. 1992. Estadísticas sobre el recurso agua en Colombia. Ministerio de Agricultura. Bogotá.
- MINISTERIO DE SALUD. 1998. Decreto No. 0475 por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable. Presidencia de la República de Colombia. Bogotá.
- PARDO, M. P. 2002. Análisis sistémico del flujo de materia y energía asociado con el recurso hídrico dentro de un ecosistema urbano: caso Manaure, Guajira. Trabajo de Grado, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.
- POUND, C., R. CRITIES, D. GRIFFES. 1974. Land Treatment of Municipal Wastewater Effluents. Environmental Protection Agency. Palo Alto.
- PRESCOTT, L., J. HARLEY, D. KLEIN. 1999. Microbiología. Cuarta edición. McGraw-Hill Interamericana. Bogotá.
- STEEL R., J. TORRIE. 1988. Bioestadística. Principios y procedimientos. McGraw-Hill. México.
- TEBBUTT, T. 1997. Fundamentos de control de la calidad del agua. Limusa Editores. México.
- TUCKER, D., N. VIVADO. 1980. Desing of an Overland Flow System. Journal Water Pollution Control Federation. Washington D.C.