

Modelo Agua Segura: exploración de la fábrica de agua

Safe Water Model: exploring water factory

Óscar Efrén Ospina Zúñiga¹
Hildebrando Ramírez Arcila²

Resumen

Las enfermedades de origen hídrico y el uso inapropiado del suelo por actividades antrópicas llevan, por medio de la escorrentía superficial y subterránea, sustancias tóxicas a las fuentes abastecedoras de los sistemas de acueducto, generando así serias complicaciones para la salud humana. Analizando todos los problemas que se suscitan alrededor del agua para consumo (ambientales, de uso del suelo, legislativos, técnicos, de pruebas de laboratorio y de salubridad, etcétera), se propone una técnica para diagnosticar el riesgo de contaminación en los cuerpos de agua, análisis de contaminantes e incidencia en la salud humana, un modelo cuantitativo-cualitativo de la calidad del agua (calificación $NOFH$) y una serie de medidas donde se examina la potabilización del líquido, como un sistema integral del tratamiento de agua para consumo humano (SITACH).

Analizando esta problemática, se propone una plataforma técnica con el fin de evaluar y diagnosticar la calidad del agua para consumo, con especial énfasis en la fábrica de agua: la cuenca del cuerpo de agua, mediante un mapa real sobre la situación actual y futura de las cuencas de los cuerpos de agua evaluados. Se aplicó la metodología en mención a algunas cuencas del Departamento del Tolima, donde se pudo comprobar la vulnerabilidad de la calidad y cantidad del agua producida, aun a pesar de ser uno de los departamentos con mayor riqueza hídrica. La investigación se inició en el año 2005. Con este trabajo de investigación se participó en el Congreso Virtual Internacional organizado por la Universidad de Málaga, España, en el año 2006; en el 50. Congreso Nacional de ACODAL y 12. Bolivariano de AIDIS, en Santa Marta, Colombia, en 2007; en el I Congreso Internacional de Ingenierías de la Corporación Universitaria de la Costa, de Barranquilla, Colombia, en 2007; en el 51. Congreso Nacional de ACODAL y 3. Encuentro

Abstract

The diseases of hydric origin, and the unsuitable use of the ground by antrópicas activities, take by means of the surface run-off and subterránea toxic substances to the supplying sources of the aqueduct systems, generating serious complications for the human health. Analyzing all the problems that are provoked around the water for consumption (environmental, of use of the ground, legislative, technicals, laboratory tests, salubrity, etc.) one sets out technical to diagnose the risk to the contamination in the water bodies, analysis of polluting agents and incidence in the human health, a quantitative model-qualitative of the quality of the water (Qualification $NOFH$) and a series of measures where the purification is examined of I eliminate like an Integral System of the Water Treatment for Consume Humane (SITACH).

Analyzing this problematical, a platform sets out technical to evaluate and to diagnose the quality of the water for consumption, being done special emphasis in the fabric of the water: The River basin, by means of a real map on the present and future situation of the river basins of the evaluated water bodies. The methodology was applied to some river basins of the Department of the Tolima, where it was possible to be verified the vulnerability of the quality and amount of the produced water, still in spite of being one of the departments with greater hydric wealth. The investigation began in 2005. With this work of investigation the International organized by the U was participated in the Virtual Congress. of Malaga, Spain, year 2006; in 50° National Congress of ACODAL and 12° Bolivariano of AIDIS, Santa Marta, Colombia, year 2007; in the I Congress the International of Engineerings, University Corporation of the Coast, Barranquilla, Colombia, year 2007; in 51° National Congress of ACODAL and 3° Encounter de Gubernators, Santa Marta, Colombia, year 2008; in Encounter National Investigation, Cooperative University

¹ Docente y coordinador de investigaciones del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Ibagué.
Correo electrónico: osefos@yahoo.com

² Docente y director de proyección social del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Ibagué.
Correo electrónico: hildebrandoramirez13@yahoo.es

Recibido 27 de mayo de 2009 Aceptado 3 de septiembre de 2009

de Gobernadores, en Santa Marta, Colombia, en 2008; en el Encuentro Nacional de Investigación de la Universidad Cooperativa de Colombia, en Medellín, Colombia, en 2008; y en el XXXI Congreso Interamericano de AIDIS, Santiago de Chile, Chile, en octubre de 2008. Este proyecto de investigación está actualmente auspiciado y financiado por Conadi.

Palabras clave: cuenca, Agua Segura, vulnerabilidad.

of Colombia, Medellín, Colombia, 2008; and in XXXI the Inter-American Congress of AIDIS, Santiago of Chile, Chile, October of 2008.

Keywords: river basin, Safe Water, vulnerability.

Introducción

La afectación de las cuencas de los cuerpos de agua por contaminantes, entre ellos, los químicos, se ha convertido en uno de los problemas ambientales más graves del siglo XXI, y el principal detonante de las altas tasas de morbimortalidad que se presentan en la población colombiana como reflejo de muchas regiones latinoamericanas, amén de una irresponsable actitud estatal y de particulares, que por ausencia de controles de calidad, legislación y tratamiento indiscriminado de cultivos con plaguicidas y agroquímicos están causando un severo efecto ambiental en el agua, que perjudica sus componentes y la torna en un compuesto mortal para la salud humana.

Adicionalmente, en el desarrollo de proyectos de ingeniería (civil y sanitaria) para el tratamiento del agua para consumo, en Colombia se desestima la cuenca del cuerpo de agua como componente integral de este tratamiento y fundamental para el control de calidad. En la mayoría de los casos no se explora, ni menos aún se la incluye en el proceso de tratamiento. Sin importar el tipo de agua que la cuenca del cuerpo de agua fabrique, se utilizan plantas de tratamiento con componentes convencionales, que en muchos casos y ante las condiciones sanitarias inadecuadas del agua, son ineficientes.

Marco teórico

Las definiciones básicas (Encarta, 2005) de la presente investigación se dan a partir de los elementos constitutivos de la metodología propuesta como Modelo Agua Segura.

El agua

El agua es uno de los recursos naturales fundamentales, y es uno de los cuatro recursos básicos en los cuales se apoya el desarrollo, junto con el aire, la tierra y la energía. Se sabe que el origen de la vida estuvo en el agua, donde se desarrollaron los primeros organismos, que, al evolucionar, pudieron colonizar la Tierra. El agua cubre las tres cuartas partes de la superficie del planeta (mares, ríos, lagos, etcétera) y constituye del 50% al 90% por peso de todas las plantas y animales.

Estado natural del agua

El agua es la única sustancia que existe a temperaturas ordinarias en los tres estados de la materia: sólido, líquido y gas. Como sólido o hielo se encuentra en los glaciares y los casquetes polares, así como en las superficies de los cuerpos de agua en invierno; también en forma de nieve, granizo y escarcha, y en las nubes formadas por cristales de hielo. Existe en estado líquido en las nubes de lluvia formadas por gotas de agua, y en forma de rocío en la vegetación. Además, cubre las tres cuartas partes de la superficie terrestre en forma de pantanos, lagos, ríos, mares y océanos. Como gas, o vapor de agua, existe en forma de niebla, vapor y nubes.

Las funciones biológicas del agua

El agua es el componente principal de la materia viva. Constituye del 50 al 90% de la masa de los organismos vivos. Es esencial para todos los tipos de vida; incluso para aquellos organismos que la evolución condujo a tierra firme, el agua

resulta indispensable, de modo que una buena parte de sus estrategias de adaptación tiende al mantenimiento de un cierto grado de humedad en su interior.

Contaminación del agua

La contaminación del agua es el grado de impurificación de ésta, que puede originar efectos adversos para la salud de un número representativo de personas durante períodos previsible. Se considera que el agua está contaminada cuando ya no puede utilizarse para el uso que se le iba a dar en su estado natural, o cuando se ven alteradas sus propiedades químicas, físicas y biológicas o su composición. En líneas generales, el agua está contaminada cuando pierde su potabilidad para consumo diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas.

Contaminación microbiológica del agua

Las afecciones que se propagan por el agua se conocen como enfermedades transmitidas por el agua. Sus agentes patógenos son biológicos, más que químicos, y los males que provocan casi siempre son contagiosos. Por lo general, los agentes patógenos pertenecen al grupo de los microorganismos, que se transmiten en las heces excretadas por individuos infectados, o por ciertos animales, de tal forma que estas enfermedades se suelen contraer al ingerir dichos agentes en forma de agua o de alimentos, contaminados por heces (vía fecal-oral).

Purificación del agua

Las impurezas suspendidas y disueltas en el agua natural impiden que ésta sea adecuada para numerosos fines. Los materiales indeseables, orgánicos e inorgánicos, se extraen por métodos de criba y sedimentación, que eliminan los materiales suspendidos. Otro método es el tratamiento con ciertos compuestos, como el carbón activado, que eliminan los sabores y olores desagradables. También se puede purificar el agua por filtración, o por cloración o irradiación, que matan los microorganismos infecciosos.

Cuenca hidrográfica

Entiéndase por cuenca u hoya hidrográfica el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar (Decreto 1729 del 6 de agosto de 2002).

Objetivo

Diseñar una plataforma técnica con el fin de evaluar y diagnosticar la calidad del agua para consumo, con especial énfasis en la fábrica del agua la cuenca del cuerpo de agua, mediante un modelo inédito cuantitativo-cualitativo denominado Agua Segura, que resuelva la ausencia en Colombia de metodologías que permitan evaluar integralmente el agua para consumo, cuya base fundamental es la cuenca del cuerpo de agua.

Metodología

La metodología propuesta se resume en el siguiente mapa conceptual, conformado por tres pilares:

Primer pilar

Este pilar diagnostica el riesgo a la contaminación de los cuerpos de agua (ríos, quebradas, arroyos, lagunas, etcétera), mediante la determinación de la amenaza como detección de potenciales contaminantes que alcanzarán el cuerpo de agua, sumada a la vulnerabilidad que estima las condiciones naturales que posee la cuenca del cuerpo de agua para soportar esta amenaza, para así identificar el riesgo a la contaminación. Dicha contaminación es generada, básicamente, por las actividades socioeconómicas y culturales de la población a las que se expone una cuenca. Para dimensionar la amenaza, se exploran la información puntual de los focos de contaminación, y el tipo y la magnitud de estos, ante la contaminación antrópica que tiene la región.

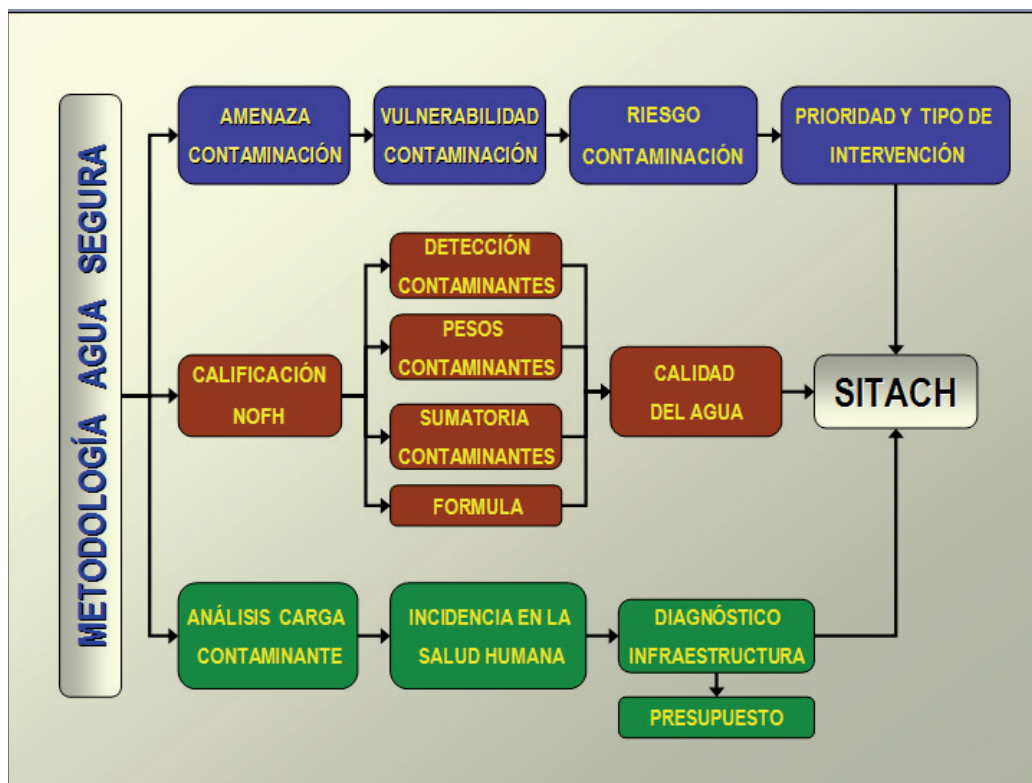


Figura 1. Mapa conceptual: modelo Agua Segura

Fuente: Elaboración propia

La vulnerabilidad se expresa mediante un índice inédito denominado índice de vulnerabilidad antrópica y natural (IVAN), para el cual se toman en cuenta siete grandes parámetros que contribuyen a la protección o fragilidad natural del área donde se detectó la amenaza, si se considera que la vulnerabilidad es la sensibilidad (o susceptibilidad) que tiene un determinado medio, incluido en un territorio específico, frente a los impactos de origen natural o antrópico. Puede ser intrínseca (condicionada por las características hidrogeológicas del terreno) o específica (cuando se considera a los factores externos como el propio contaminante). Se analizaron los siguientes parámetros:

- Vegetación (V): las cubiertas vegetales reducen la dispersión de contaminantes en disolución, pues disminuyen el flujo total de escorrentía y reducen la velocidad de infiltración. Este parámetro se considera de gran importancia, ya que contribuye a la

protección del suelo contra la erosión, se utiliza como barrera natural y unidad protectora de los cuerpos de agua. Se clasificó en bosques, rastrojos, pastos y cultivos. Se le asignó un índice de ponderación de la cobertura vegetal (iV) de 5.

- Población (P): a mayor presencia de asentamientos humanos y número de individuos, mayor será la contaminación antrópica. Se analizaron los siguientes rangos: menor a 100 habitantes; entre 101-1.000; entre 1.001-2.000; entre 2.001-3.000; y mayor a 3.000 habitantes. Se le asignó un índice de ponderación de la cobertura vegetal (iP) de 4.
- Topografía (T): a mayores pendientes, mayores velocidades del escurrimiento, que crean surcos y contribuyen a la erosión y fenómenos de inestabilidad, con remoción de mantos del suelo, y la posterior pérdida de cobertura vegetal. Por medio del escurrimiento superficial y por efecto de la gravedad y ayuda de

las lluvias, se transportan los contaminantes hasta producirse su descarga en los acuíferos. Se clasificó en: terreno plano, ondulado y montañoso. Se le asignó un índice de ponderación (iT) de 3.

- Precipitación media (LL): por acción de las lluvias, el escurrimiento superficial y el subterráneo conducen los químicos aplicados en la zona, heces fecales y orina a los ríos y arroyos, además de procesos erosivos. Los rangos corresponden a los promedios anuales de 0 a 50 mm; de 51 a 180 mm; de 181 a 208 mm; de 209 a 380 mm; y mayor a 381 mm anuales. Se le asignó un índice de ponderación (iLL) de 3.
- Caudal (C): si el caudal de un río es menor que el biológico mínimo, se paran completamente todos los procesos naturales (se acaba con la vida de los seres vivos, el flujo continuo desaparece, los procesos de autodepuración se suprimen). El volumen de agua contribuye a la disolución y asentamiento de contaminantes dentro de su lecho. Los siguientes son los rangos de caudales: en menos de 50 LPS; de 51 a 250 LPS; de 251 a 350; de 351 a 800 LPS; y mayor a 800 LPS. Se le asignó un índice de ponderación de caudales (iC) de 4.
- Tipo de suelo (S): se considera la porción alterada del suelo que soporta la actividad biológica. Algunos suelos tienen la capacidad de autodepurarse, y sirven como un elemento de mitigación de los contaminantes, de acuerdo con estudios de sus características, como absorción y composición química, entre otras. Se clasificó como: arcilla no expansiva y agregada; suelo orgánico; marga arcillosa; marga limosa; marga; marga arenosa; arcilla expansiva o agregada; turba; arena; grava delgada o ausente. Se le asignó un índice de ponderación de la cobertura vegetal (iS) de 3.
- Manifestaciones naturales de minerales y metales (M): al existir este tipo de manifestaciones naturales, es muy factible que contaminen el medio por infiltración, y que por corriente superficial se produzca su descarga en los ríos. Se clasificó en: metales pesados, minerales y ausencia. Se le asignó un índice

de ponderación de la cobertura vegetal (iM) de 2.

Se propone una caracterización hidrogeológica, donde los parámetros propuestos poseen condiciones innatas clasificadas con un valor de 1 a 10, y que depende de las características naturales del entorno y de los cuerpos de agua, donde el menor puntaje será una condición favorable para contener la contaminación o servir como defensa natural, y los puntajes mayores serán condiciones muy vulnerables del entorno o muy sensibles a ser afectados negativamente por un contaminante externo. Además, al valor de cada parámetro se le aplica un índice de ponderación entre 1-5, que cuantifica la importancia relativa entre ellos y que puede modificarse en función del contaminante.

El índice de vulnerabilidad obtenido es el resultado de sumar los productos de los diferentes parámetros por su índice de ponderación:

$$IVAN = (iVxV) + (iPxP) + (iTxT) + (LLxL) + (iCxC) + (iSxS) + (iMxM)$$

Obtenido el índice de vulnerabilidad, se clasifica en: <100 (vulnerabilidad insignificante); 101-119 (vulnerabilidad muy baja); 120-139 (vulnerabilidad baja); 140-159 (vulnerabilidad moderada); 160-179 (vulnerabilidad alta); 180-199 (vulnerabilidad muy alta); >200 (vulnerabilidad extrema).

Segundo pilar

Este pilar es la calificación $NOFH$, como una valoración que permite calcular cuantitativa y cualitativamente, según un modelo matemático, la calidad del agua que consume cualquier población del país. Es una evaluación inédita, al igual que todo el modelo, que califica de manera individual a cada uno de los elementos que inciden en la salud humana a través del agua, determinados en la normatividad vigente de calidad del agua para consumo humano, y otros químicos no determinados dentro de ésta (plata, litio, coagulantes, residuales y material de la tubería).

Estos elementos fueron analizados incluyendo sus diferentes características, y organizados según la siguiente metodología:

- Microbiológicas: coliformes totales y *Escherichia Coli*.
- Organolépticas y físicas: pH, turbiedad, color verdadero, conductividad, sustancias flotantes, olor y sabor.
- Químicas con efectos adversos en la salud humana: arsénico, grasas y aceites, aluminio, antimonio, bario, cadmio, cianuros totales, cobre, cromo hexavalente, mercurio, níquel, nitratos, nitritos, plomo, selenio, sustancias activas al azul de metileno, plata y litio.
- Plaguicidas y otras sustancias: tóxicos tipo I, tóxico tipo II y III, Baja toxicidad, trihalometanos totales.
- Químicas con efecto indirecto sobre la salud humana: alcalinidad, acidez, dureza total, calcio, magnesio, cloruros, sulfatos, hierro total, manganeso, fosfatos, zinc y fluoruros.
- Residuales y coagulantes: polímeros, sales de hierro, cloro residual y sulfato de aluminio.
- Material de la tubería: asbesto, cemento, hierro galvanizado, PVC y manguera de alta densidad.

Cada uno de estos 50 elementos fue evaluado cuantitativamente con un valor que se encuentra entre el rango de 0 a 10, donde los valores cercanos a 10 son muy incidentes y letales en la salud humana, y los valores cercanos a 0, lo contrario.

Dichos valores se establecieron apoyados en el cuadro de contaminantes, que comprende un análisis completo de todos los contaminantes mencionados, de la siguiente forma: nombre del elemento contaminante; unidades en que se expresa su concentración; nivel máximo de concentración (NMC); efectos sobre la salud humana por exposición que supere el NMC; fuente de contaminación; y método de desinfección. Como complemento al nivel de peligrosidad para la salud, se les agregó un color característico a los elementos, dependiendo del nivel de daño que ocasionaría cada uno en la salud humana: extremadamente peligroso; muy peligroso; peligroso; moderadamente peligroso y poco peligroso.

La calificación $NOFH$ se calcula mediante la siguiente ecuación, diseñada en función a TC:

$$C.NOFH = f(TC) = \sqrt{\frac{1}{1+TC}} \times 10$$

El resultado arroja valores en el rango de >0 a <10 , así: <2 es pésima; 2-4 es mala; 4-6 es regular; 6-7 es aceptable; 7-8 es buena; y >8 es excelente. La calificación $NOFH$ se aplica en diferentes puntos estratégicos del cuerpo de agua en la cuenca de éste, para generar el Mapa de Agua, que permite puntualizar los focos de contaminación y, por ende, su posterior tratamiento.

Tercer pilar

Este pilar permite calcular la carga contaminante generada en la cuenca del cuerpo de agua, mediante datos de población, viviendas, áreas cultivadas, inducción de contaminantes, porcentaje de concentración, volúmenes y tipos de agroquímicos, época de aplicación, etcétera.

Sistema integral de tratamiento de agua para consumo humano (SITACH).

Esta propuesta plantea que el tratamiento de agua para consumo humano se desarrolle como un sistema, y no como una unidad, que se implemente en toda la cuenca del cuerpo del agua y más allá de la estructura donde se efectúan los procesos (plantas). El SITACH involucra dos tipos de tratamientos:

1. Tratamiento interceptor: se realiza en la cuenca de la fuente de abastecimiento, con el fin de ejercer un control ambiental eficiente y seguro, que evite la contaminación, como producto de la actividad humana, de los cuerpos de agua abastecedores. Comprende la implementación estratégica de tratamientos en descoles de aguas residuales, gallineros, porquerizas, caballerizas, cultivos, fábricas, etcétera. Estas unidades se definen dependiendo del tipo de tratamiento que se requiera, y pueden ser: trampas de grasas, tanques sépticos, campos de infiltración, filtros

percoladores, filtros interceptores, barreras protectoras con vegetación y forestación, obras mecánico-vegetativas, etcétera. Integralmente se aplican y enseñan técnicas de control del tipo y aplicación de agroquímicos, control de fronteras forestales, protección de riberas y rondas de cuerpos de agua, y la proliferación de la cultura agrícola con fertilizantes orgánicos.

2. Tratamiento básico: consiste en el diseño ingenieril de las unidades capaces de remover elementos incidentes en la salud humana presentes en el agua para consumo, para así garantizar un tratamiento físico-organoléptico, químico y de desinfección, que se realiza en la planta.

Resultados

El modelo se aplicó a algunas cuencas del Departamento del Tolima, Colombia, y permitió establecer un mapa real sobre la situación actual y futura de las cuencas de los cuerpos de agua evaluados. Se rompió el paradigma sobre la invulnerabilidad de la calidad y cantidad del agua producida en las cuencas colombianas, ante la falacia de que por ser uno de los países con mayor riqueza hídrica el recurso es inagotable.

El modelo arrojó resultados preocupantes, si se considera que el departamento del Tolima, al estar localizado en un sector del Eje Cafetero y poseer uno de los mayores porcentajes de agua

por población, afronta severos problemas de calidad y, en muchos casos, pérdida de cuerpos de agua antaño considerados inagotables. La investigación se viene desarrollando desde el año 2004, y su aplicación ha servido como base para la elaboración de planes de desarrollo regionales en agua potable, saneamiento básico y ambiente.

Capítulo aparte merece la detección durante la investigación del uso de plaguicidas Tipo I (Endosulfán) para el control de la broca en cultivos de café, que son plaguicidas prohibidos por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, desde el año 1998, por sus efectos nocivos en el ambiente, la fauna y, por ende, la población humana.

Aplicada la calificación en la cuenca del río Luisa, que abastece el acueducto urbano del municipio de Rovira (Tolima), localizado en la zona centro-occidental del departamento, colindante con el municipio de Ibagué y distante 30 kilómetros por vía carretable de la capital, Ibagué, en diferentes puntos se obtuvieron los siguientes valores: en la fuente de abastecimiento, $NOFH=2,12$; en la bocatoma, $NOFH= 1,25$; en la planta de tratamiento y al inicio del casco urbano, $NOFH=1,53$; y en las viviendas de Rovira, $NOFH=1,15$, todo lo cual permite determinar que la calidad del cuerpo de agua es deficiente y su valoración va en descenso, por la incorporación de más carga contaminante, incluso dentro de la misma red de distribución y las redes domiciliarias.

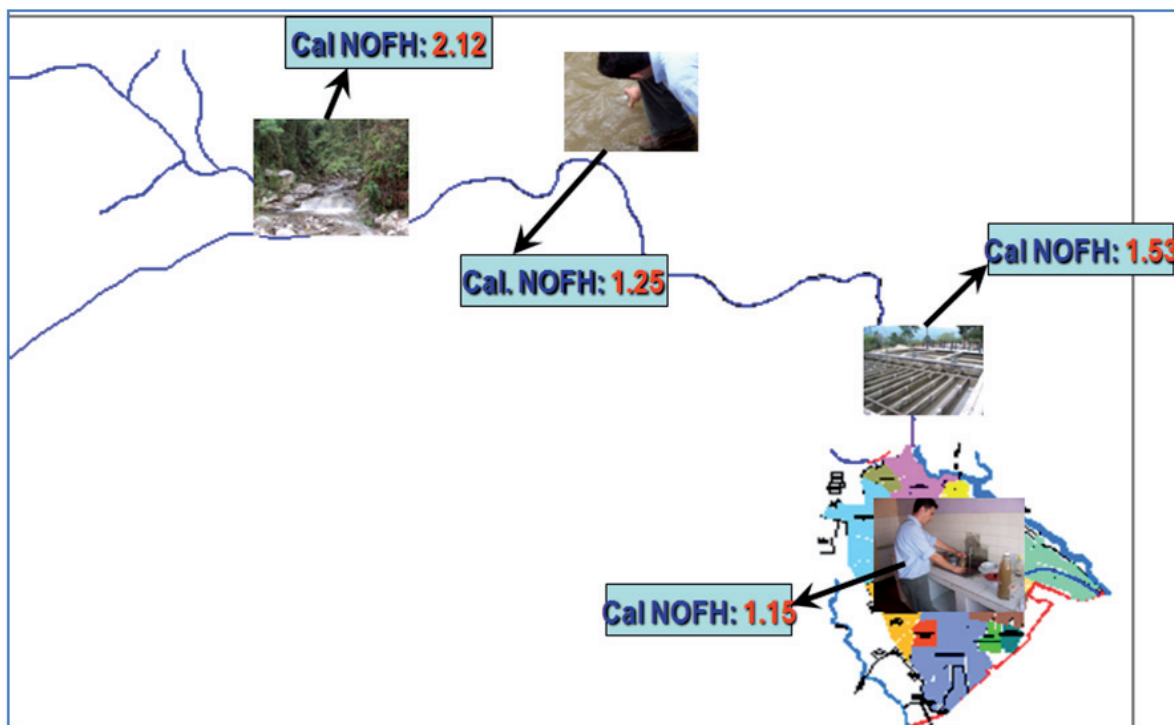


Figura 2. Calificación NOFH de la cuenca del río Luisa

Fuente: Elaboración propia

Los tres pilares de la metodología Agua Segura pueden ser aplicados a cualquier sistema de tratamiento de agua para consumo humano, y permitirán determinar la calidad de agua que se está suministrando en cualquier comunidad. Actualmente el tratamiento de agua se realiza en un único punto que funciona como una unidad: la planta de tratamiento; pero la investigación propone implementar un sistema integral de tratamiento de agua para consumo humano (SITACH) que funcione en las diferentes subsistemas donde se detecten focos de contaminación, incluida la cuenca del cuerpo de agua, o fuente de abastecimiento.

Conclusiones

En la elaboración de proyectos de ingeniería para tratamiento de agua no se ha considerado la cuenca del cuerpo de agua como parte

integral éstos. La aplicación del modelo propone un despertar regional en este sentido, demostrar que el adecuado tratamiento de la fábrica de agua es la base para obtener la calidad del agua requerida para consumo.

La planta de tratamiento sólo debe extraer el residual de contaminación que no sea factible remover directamente en la cuenca. Toda la problemática ambiental que afecta la vida humana se origina, en gran parte, en las fábricas de agua, desde donde se replica a otras regiones, y se completa así la decadente cadena de deterioro.

Generar prácticas, metodologías, modelos y políticas de protección e intervención para mitigar el impacto ambiental en las fábricas de agua implica, por inercia, la réplica que se debe tener en todo el entorno ambiental humano.

Referencias bibliográficas

- Arturo M., L. H. (1977). *Diseño básico de acueductos y alcantarillados*, Bogotá, s. e.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (cepis), División de la Salud Ambiental, Serie técnica [en línea], disponible en: <http://www.cepis.opsoms.org/bvsacg/fulltext/desinfecion/capitulo2.pdf>
- Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres en América Central (Cepredenac) (2009) [en línea], disponible en: http://www.cepredenac.org/05_nove/a_prensa/2004/mar_04/mar_04d.htm
- Colombia, Ministerio de Desarrollo Económico (2000). "Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico-Norma R.A.S.", Bogotá, Ministerio de Desarrollo Económico.
- Ministerio de la Protección Social. "Resolución No. 2115 de 2007", Bogotá, Ministerio de la Protección Social.
- Decreto 1729 del 6 de agosto de 2002, "por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto Ley 2811 de 1974, sobre cuencas hidrográficas".
- Cuervo Fuentes, (s. f.). Metodologías de estudios de impacto ambiental. Medellín, Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería.
- Discovery Communications Inc. (2005, 13 de febrero), "La contaminación del agua" [en línea], disponible en: <http://www.tudiscovery.com/water/>
- Ecoportal (2005, 12 de febrero). "Crisis mundial del agua" [en línea], disponible en: <http://www.ecoportal.net/noti02/n922.htm>
- Empagua (2001). Agua para vivir. Guatemala, Tercero & Asociados Comunicaciones.
- Excel Water Technologies (2005, 9 de abril). "Desinfección por ultravioleta" [en línea], disponible en: <http://www.excelwater.com/spa/b2c/uvprocess.php>
- Gómez Orea, D. Evaluación del impacto ambiental: un instrumento preventivo para la gestión ambiental (s. d.).
- Gómez, A. (2004, 19 de noviembre). "Contaminación del agua" [en línea], disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos/contamagua/contamagua.shtml>
- Infoagua (2005, 12 de febrero). "El agua" [en línea], disponible en <http://www.infoagua.org>
- McGhee, J. (s. f.). Abstecimiento de agua y alcantarillado, Ingeniería ambiental, 6ª ed., México, McGrawHill.
- Microsoft (2005). Biblioteca de Consulta Encarta, México, Microsoft Corporation.
- Morea, L. (2005, 12 de febrero). "Contaminación del agua" (s. d.). Oxford Scientific Films/Ben Osborne (s.d).
- Ramírez, A. (2004, 4 de marzo). "Recursos naturales en grave deterioro".
- Urbieta López, J. (2009). "Contaminación y purificación del agua" [en línea], disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos12/conpurif/conpurif.shtml>