

Evaluación del recurso hídrico superficial con fines de ordenamiento ambiental territorial municipal

Ing. Liliana Chaparro Cifuentes* e Ing. Jairo Alberto Romero Rojas**

* Ingeniera civil, especialista en ingeniería ambiental.

** Ingeniero civil, MEEE, profesor asociado de la Universidad Nacional de Colombia. Director del Centro de Estudios Ambientales y de la especialización en saneamiento ambiental y profesor de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

RESUMEN

En el artículo se describe una metodología para evaluar el recurso hídrico superficial, en un estudio de ordenamiento ambiental del territorio municipal, mediante la aplicación de la ecuación básica del balance hídrico, de un índice de calidad del agua cruda para consumo humano y de un índice de calidad de agua para riego.

La aplicación de esta metodología, a un estudio de caso en un municipio, puede consultarse en la fuente origen de este artículo¹.

1. INTRODUCCIÓN

Como eje del desarrollo nacional y célula de planificación, el municipio se convierte en el ente territorial a partir del cual se deben orientar los esfuerzos para lograr un desarrollo que, además de asegurar un crecimiento económico y un mejoramiento de la calidad de vida, también garantice la conservación del ambiente.

El agua, como recurso estratégico para el desarrollo, representa uno de los elementos del medio que necesariamente deben evaluarse en toda

investigación que tenga como fin la planificación para el desarrollo de cualquier ámbito territorial (nación, región, departamento, municipio). De un acertado manejo de este recurso depende asegurar la existencia de agua para el futuro en una cantidad y calidad tales que garanticen el abastecimiento para el consumo humano, las actividades industriales y la conservación de ecosistemas frágiles.

2. EL PROBLEMA

El manejo y disponibilidad de información, sobre agua y saneamiento, es de gran importancia para la planeación y la toma de decisiones a nivel nacional, departamental o municipal. El proceso de planeación permite tener actualizados los datos, fomentar tecnologías óptimas, realizar una mejor gestión, asignar apropiadamente los recursos, facilitar

el control y la vigilancia, y aplicar una política pública eficaz sobre el sector.

Para lograr un planeamiento óptimo se deben equilibrar los recursos existentes con la demanda que establecen las comunidades. La posibilidad de asegurar el establecimiento de un modelo de desarrollo sostenible depende de la confrontación analítica que se realice de los problemas existentes con la información y recursos disponibles para resolverlos; es decir, de la adecuada combinación entre los

recursos y potencialidades disponibles.

Factores como el transporte marítimo y fluvial, la explotación de los recursos marinos, las actividades de recreación y turismo, el uso excesivo de agroquímicos, de fertilizantes y pesticidas en la agricultura, los derrames de hidrocarburos, así como el desplazamiento en gran escala de la población, desde el medio rural hasta los centros urbanos

y el grado de desarrollo alcanzado por muchas comunidades en Colombia, unido a la explosión demográfica, han determinado inminentes muestras de

El agua, como recurso estratégico para el desarrollo, representa uno de los elementos del medio que necesariamente deben evaluarse en toda investigación que tenga como fin la planificación para el desarrollo de cualquier ámbito territorial.

la progresiva degradación en la calidad de algunos recursos hídricos.

Estos factores han constituido las más fuertes presiones antropogénicas sobre el recurso, hasta el punto de que las mismas comunidades hacen esfuerzos por restaurar las buenas características del agua, especialmente al observar cómo los cuerpos receptores (ríos, lagos, estuarios, corrientes subterráneas, bahías, ciénagas y aun el mar) son incapaces de autodepurar o absorber y neutralizar las excesivas y crecientes cargas contaminantes.

La expansión urbana es un fenómeno general, con un aumento rápido y creciente; por tanto, en el futuro se esperan graves problemas de salubridad generados por el enorme consumo que se acentúa más con la explosión demográfica, la distribución desigual de la población y la consecuente generación de aguas residuales. En resumen, los principales problemas que genera la concentración urbana son:

- Deterioro del equilibrio natural en las cuencas abastecedoras.
- Generación de aguas servidas y deterioro consecuente de la calidad del ecosistema.
- Degradación de los ecosistemas acuáticos por detergentes sintéticos, hidrocarburos, productos agropecuarios, térmicos y radiactivos.

3. EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL

El ordenamiento territorial se define como la técnica, disciplina o método para orientar y regular los procesos de uso y ocupación del territorio. Por estar en permanente construcción, por ser relativamente nuevo en el país y, sobre todo, por la diversidad de enfoques e interpretaciones, ha originado dificultades en su conceptualización y en la determinación de sus objetivos.

En Colombia el proceso de ordenamiento territorial ha tenido una trayectoria relativamente corta, marcada por la divergencia de enfoques e interpretaciones. En el ordenamiento se ha trabajado en el país desde hace más de 20 años, pero casi siempre circunscrito al manejo de los recursos naturales (ordenamiento de cuencas hidrográficas, planes de ordenamiento forestal, planes de ordenamiento de los recursos hídricos).

A partir de la Constitución Política de 1991, el ordenamiento territorial ha tomado vigencia de manera paralela al proceso de descentralización del país. La distribución de competencias y recursos de nivel nacional a los municipios y departamentos ha abierto perspectivas en función de una nueva división político-administrativa, a través de la conformación de nuevas entidades territoriales, administrativas y de planificación. En concreto, la Carta Magna contiene los fundamentos que permiten definir el ordenamiento territorial como el proceso mediante el cual se debe establecer una adecuada asignación de competencias normativas de las entidades

territoriales, la distribución de competencias entre éstas y la nación, los requisitos para la formación de nuevos departamentos y para la conversión de la región en entidad territorial, como la conformación de entidades territoriales indígenas.

Complementariamente, la Constitución traza el derrotero para desarrollar el ordenamiento territorial como instrumento de planificación, que propenda al reconocimiento y protección de la diversidad étnica y cultural de la nación, al manejo y aprovechamiento racional de los recursos naturales, a la puesta en marcha de formas de participación democrática y a la intervención del Estado en la racionalización de la economía con fines de desarrollo armónico equitativo, de tal manera que garantice oportunidades, bienes, servicios y el desarrollo de estrategias y orientaciones de política económica, social y ambiental, que aseguren el adecuado funcionamiento de las entidades territoriales.

El ordenamiento ambiental

El ordenamiento ambiental es un componente fundamental del ordenamiento territorial municipal, ya que uno de sus objetivos es generar una estrategia para la localización y la distribución de las actividades en el territorio, con los principios del desarrollo sostenible, es decir, de una manera armónica con el ambiente y garantizando un adecuado aprovechamiento de los recursos naturales.

La orientación de los usos y la formulación de alternativas de ocupación, así como los programas y proyectos resultantes de una propuesta de ordenamiento territorial, deben evaluarse a la luz de los principios del desarrollo sostenible, pero considerando de manera integral los ecosistemas estratégicos, las áreas de biodiversidad alta, las políticas sociales, económicas y territoriales, para propiciar una adecuada gestión ambiental de las entidades territoriales, tanto en el plano funcional como en el técnico y político. Esta gestión deberá velar porque la administración local introduzca, dentro de su actuación, criterios y elementos ambientales en el proceso de planeación y de ordenamiento.

El propósito principal del ordenamiento ambiental es propender a una ocupación y utilización adecuada del territorio desde el enfoque del aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y del ambiente, a partir de la determinación de las restricciones de uso y dentro del marco de los principios promulgados por la constitución nacional: derecho a un ambiente sano, protección de la biodiversidad y del patrimonio cultural, conservación de los recursos naturales y del medio ambiente, protección de los ecosistemas, prevención y control de factores de deterioro ambiental.

La importancia del ordenamiento ambiental radica en que procura prever los efectos que puedan generar las actividades productivas y extractivas sobre los recursos

naturales y el ambiente. También evalúa las restricciones de uso por amenaza natural, fragilidad del ecosistema y dispone de algunas categorías de manejo previstas en la legislación ambiental.

El ordenamiento ambiental es un insumo básico para el ordenamiento de los municipios, para la formulación de los planes de gestión ambiental de las corporaciones (Decreto 1895 de 1994), para los planes ambientales de las entidades territoriales (Ley 99 de 1993, art. 31, numeral 4) y para los planes locales de emergencias y prevención de desastres (Decreto 919 de 1989).

En un contexto más amplio las estrategias de ordenamiento territorial municipal, además de los objetivos ambientales, involucran dimensiones relacionadas con la organización administrativa apropiada del territorio y con el mejoramiento de la calidad de vida de la población, a través de la distribución eficiente y equitativa de los servicios básicos, del desarrollo de áreas del municipio atrasadas social y económicamente y de la distribución armónica y funcional de las actividades. En síntesis, uno de los objetivos del ordenamiento territorial es conciliar los intereses y políticas de desarrollo socioeconómico, cultural y ambiental, con los procesos de uso y ocupación del territorio.

Objetivos del Plan de Ordenamiento Territorial Municipal

- Formular una política municipal de uso y ocupación del territorio de conformidad con los objetivos estratégicos y las metas del plan de desarrollo y los planes sectoriales.

- Elaborar una propuesta concertada para la regulación de los usos del suelo y la localización funcional de las actividades e infraestructuras, de tal manera que se garantice el aprovechamiento óptimo de los recursos y se mitiguen los conflictos e impactos ambientales.

- Proponer e implementar las medidas necesarias para la solución de los conflictos relativos al uso del territorio municipal, urbano y rural.

- Establecer un marco normativo para el control y regulación de las acciones y usos previstos en el plan, así como para la determinación de mecanismos de gestión que le permitan a la administración ajustar periódicamente las metas y actuaciones programadas.

- Prever el desarrollo futuro del municipio mediante el diseño de escenarios alternativos de desarrollo, que fortalezcan las ventajas del modelo existente y eliminen sus deficiencias.

- Determinar la asignación de usos de la tierra bajo los principios de equidad, sostenimiento y competitividad.

- Distribuir equilibrada y equitativamente la inversión pública, según los requerimientos actuales y futuros en espacio público, infraestructura física, red vial, equipamiento, cobertura de servicios públicos y sociales básicos.

Alcances y vigencia

El Plan de Ordenamiento Territorial se aplica en todo el municipio. No obstante, se debe realizar una diferenciación práctica para identificar los énfasis y contenidos del plan en cuanto a la articulación de las áreas urbana, suburbana y rural. Estos niveles deberán ser compatibles entre sí y, a la vez, con los planes de ordenamiento de otros niveles territoriales o de entidades administrativas con alcance territorial (áreas metropolitanas, regiones, provincias).

El plan deberá prever acciones de corto, mediano y largo plazos. En el primer caso se actuará sobre la solución de los problemas más agudos que requieren atención inmediata, en el mediano plazo se deberá prever la obtención de beneficios provenientes del aprovechamiento de oportunidades no inmediatas y a largo

plazo se diseñará una imagen objetivo de desarrollo basada en prospección de escenarios alternativos.

El enfoque prospectivo, la gobernabilidad y la concertación entre los actores locales y regionales son factores que definirán el alcance temporal; sin embargo, para que el plan garantice la materialización de una imagen objetivo de largo plazo la vigencia no puede ser inferior a nueve años. Es posible que el plan tenga modificaciones (no estructurales) cada tres años, básicamente para ajustar las metas y los programas de desarrollo.

4. FORMULACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL

El ordenamiento territorial ha de ser flexible, lo que significa que debe permitir ajustes periódicos, según las eventualidades que puedan presentarse; sin embargo, es indispensable garantizar la vigencia del plan y la continuidad del proceso. A este respecto, además de los requisitos normativos, la participación y el control social legitiman y hacen viable el proceso de formulación y gestión del mismo.

El Plan de Ordenamiento Territorial consta de dos grandes fases que, a su vez, se componen de diversas etapas. Estas dos grandes fases son la formulación y la implementación, las cuales se desarrollan en forma iterativa. La formulación tiene el propósito de obtener el conjunto de mapas y documentos que representan las alternativas y escenarios para el mejoramiento integral de la calidad de vida de la población y para la adecuada orientación y transformación de los procesos y ocupación del territorio. La formulación está compuesta por la etapas de diagnóstico, evaluación y prospección territorial. La otra fase es la implementación, cuya finalidad consiste en expresar los escenarios y alternativas de la fase anterior en un conjunto realizable de programas, proyectos y actuaciones en el territorio.

Cuadro 1. ETAPAS, FASES Y OBJETIVOS DEL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Fases	Etapas	Subetapas	Objetivo
Formulación	Diagnóstico territorial	1. Decisión política 2. Subetapa preparatoria 3. Subetapa de análisis 4. Subetapa de síntesis	Identificar y evaluar los conflictos y potencialidades de los componentes y dimensiones del territorio e identificación de fortalezas, potencialidades, debilidades y amenazas para el desarrollo territorial.
	Prospectiva territorial	Evaluación aptitud-impacto Construcción de escenarios a) Tendenciales b) Alternativos c) Deseables	Observación del comportamiento futuro de las alternativas identificadas, creación de una imagen objetivo compatible de desarrollo territorial.
Implementación	1. Instrumentación del plan 2. Aprobación y adopción normativa 3. Ejecución 4. Control y seguimiento		Expresar en términos ejecutables la imagen objetivo mediante estrategias, programas y proyectos. Etapa que requiere fortalecer capacidad de gestión y alto liderazgo político

para alcanzar los objetivos del ordenamiento. Esta fase la integran las etapas de instrumentación, aprobación, ejecución, seguimiento y control. En el cuadro 1 se muestran las etapas, fases y objetivos del Plan de Ordenamiento Territorial.

Legislación referente a ordenamiento territorial

El ordenamiento territorial en Colombia está regulado por una serie de leyes, decretos y códigos que se originan en 1986 y que se resumen en el cuadro 2.

Aunque desde el punto de vista normativo se ha avanzado en la definición de instrumentos para abordar el ordenamiento territorial, no se puede decir lo mismo sobre la formulación de metodologías. La manera o forma de enfocar el análisis y evaluación del recurso hídrico, dentro de un proceso de ordenamiento territorial y ambiental, no existe; por tanto, es importante realizar un estudio tendiente a evaluar los lineamientos generales para efectuar dicha evaluación.

Legislación referente al uso del recurso hídrico

En el cuadro 3 se presenta la normatividad pertinente al recurso hídrico superficial, la cual se considera la base principal para seleccionar las normas que hay que tener en cuenta para la evaluación del recurso hídrico superficial con fines de ordenamiento ambiental territorial.

5. VALORACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL CON FINES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL

La importancia del agua, como ingrediente vital básico y como constituyente esencial de nuestro entorno, es indudable. Interviene de una manera o de otra en la mayor

parte de las actividades humanas, tanto de explotación como de utilización de los recursos, convirtiéndose en un factor determinante para la organización del territorio.

Al estar en movimiento permanente, debido a la acción de la gravedad y de la energía solar, el agua aparece en la tierra en las distintas fases o estados que conforman el ciclo hidrológico, cuya unidad e indivisibilidad conducen a que todas las manifestaciones del agua se consideren parte integrante de un recurso único.

Las acciones humanas sobre el agua tienen una repercusión muy dilatada e influyen física y socialmente en lugares muy alejados. Unas veces alterando el régimen hidrológico, al desviar o extraer el agua para los distintos usos, y otras veces al modificar los cauces para almacenarla o regular su movimiento, actuando en la superficie de la cuenca y dando lugar a cambios climáticos, a escala regional, al facilitar la evaporación.

Las consecuencias de lo anterior son, en general, un aumento generalizado de la vulnerabilidad del recurso y del posible deterioro de la calidad del agua, con eventuales repercusiones ecológicas en la flora y la fauna, así como en la capacidad del recurso para satisfacer necesidades futuras.

Para determinar el modo en que se debe abordar el estudio del recurso hídrico superficial, con fines de ordenamiento ambiental territorial, es indispensable identificar los usos posibles potenciales de este recurso en el territorio analizado. En este sentido, para efectos de la localización de las actividades humanas, el agua ha de considerarse desde tres puntos de vista: como fuente, como medio receptor de residuos y como ecosistema.

Como fuente debe evaluarse según el uso a que se destine en términos de su cantidad, calidad, distribución, localización, régimen y tasas de renovación anual e interanual. Esta evaluación se debe realizar tanto para las aguas superficiales, entre ellas los cursos de agua, fuentes

INGENIERÍA AMBIENTAL

Cuadro 2. PRINCIPALES NORMAS RELACIONADAS CON EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Norma	Tema
Ley 388 de 1997 de desarrollo territorial	Define los procedimientos y contenidos para la formulación del Plan de Ordenamiento Territorial Municipal, señala los principales instrumentos de gestión y acción urbanística y define responsabilidades generales a diversas instituciones municipales, departamentales y nacionales.
Proyecto de ley orgánica de ordenamiento territorial	<p>a) Disposiciones generales: contenido de la ley, objetivos del ordenamiento territorial, autonomía de las entidades territoriales, determinación de entidades territoriales y administrativas y de planificación.</p> <p>b) Los principios rectores para el ejercicio de las competencias, las competencias normativas, administrativas, en materia de prestación de servicios y de ordenamiento espacial.</p> <p>c) Los mecanismos para dirimir conflictos por competencias.</p> <p>d) La naturaleza, definición, constitución, objeto, funciones, órganos de administración y relaciones de las entidades territoriales (omitiendo aquellas materias ya reglamentadas en el caso de municipios y departamentos y desarrollando ampliamente las competencias de nuevas entidades territoriales, administrativas o de planificación).</p>
Planes de desarrollo de entidades territoriales (Ley 152/94).	Establecimiento de los procedimientos y mecanismos para la elaboración, aprobación, ejecución, seguimiento, evaluación y control de los planes de desarrollo de las entidades territoriales. Establece la necesidad de que los municipios elaboren sus respectivos planes de ordenamiento territorial.
Nuevo régimen municipal (Ley 136/94); Decreto 1678/94	Establece principios generales sobre organización y funcionamiento de los municipios, y señala la función de ordenar el desarrollo de su territorio.
Organización y funcionamiento de los municipios (Ley 136/94)	Organización del territorio municipal en comunas y corregimientos.
Ley orgánica de las áreas metropolitanas (Ley 128/94)	Fija sus objetivos, la naturaleza y las funciones; establece el régimen para su constitución y las relaciones entre los municipios integrantes; el régimen administrativo; los recursos.
Mecanismos de participación ciudadana (Ley 134/94)	Regula la iniciativa popular legislativa y normativa; el referendo; la consulta popular, del orden nacional, departamental, distrital, municipal y local; la revocatoria del mandato; el plebiscito; el cabildo abierto.
Fondo Nacional de Regalías, Comisión Nacional de Regalías y otras disposiciones (Ley 141/94); sentencia T-141/94	Distribución de regalías provenientes de la explotación de los recursos naturales, para las entidades territoriales.
Régimen de servicios públicos domiciliarios (Ley 142/94); decretos 1524, 1639, 1640, 1641, 1642, 1643, 1738/94; Resolución 005/94	Organización, funcionamiento y competencias, control y vigilancia en la prestación de servicios domiciliarios.
Sistema nacional de reforma agraria, desarrollo rural campesino y reforma del Incora (Ley 160/94); Decreto 1866/94.	Crea el sistema nacional de la reforma agraria y desarrollo rural campesino; sobre reforma agraria; reforma el INCORA, establece normas de subsidio y crédito, negociación y adquisición de tierras y expropiación. Sobre unidades agrícolas familiares; sobre clarificación de las propiedades, deslinde y recuperación de baldíos, extinción de dominio sobre tierras incultas. Baldíos nacionales; colonización, zonas de reserva campesina y desarrollo empresarial.
Decreto 1865/94.	Ordena la formulación de los planes de gestión ambiental regional.
Ley general de la educación (Ley 115/94); decretos 2676/93; 921, 1742, 1743, 1857, 1860, 1900, 1902/94.	Estructura y organización del sector educativo. Funciones y competencias territoriales.
Ley básica del transporte (Ley 105/93). decretos 2663/93; 248, 676, 922, 1112, 1916/94.	Establece competencias sobre transporte y vías a la nación, departamentos y municipios, entre otros aspectos.
Ley 99/93.	Corresponde al Ministerio del Medio Ambiente formular la política nacional en relación con el ambiente y los recursos naturales renovables y establecer las reglas y criterios de ordenamiento ambiental del uso del territorio.
Ley general de desarrollo agropecuario y pesquero (Ley 101/93).	Establece normas sobre protección y desarrollo del sector agropecuario y pesquero, previsión de crédito para estos sectores, incentivos a la capacitación rural, comercialización, tecnología, asistencia técnica, desarrollo social rural y participación ciudadana.

Norma	Tema
Normas fiscales relativas a los territorios indígenas (Decreto 1809/93).	Participación fiscal de los territorios indígenas.
Identidad cultural, propiedad y derechos de las comunidades negras (Ley 70/93).	Reconocimiento de titularidad colectiva de las tierras de las comunidades negras.
Normas orgánicas sobre distribución de competencias y recursos (Ley 60/93), decretos 2676 y 2704, 2680/93, 367, 369/94.	Definen las competencias de la nación y las entidades territoriales. Las competencias de los municipios en educación, salud, en el sector de agua potable, en materia de vivienda, subsidios, participación social y ciudadana.
Decreto 2113/92. Reestructuración del IGAC.	Es el instituto responsable de realizar las metodologías de ordenamiento territorial y planificación aplicables a las entidades territoriales.
Ley de reforma urbana (Ley 9/89).	Señala los criterios para la localización de actividades en áreas urbanas, tratamientos y prioridades para la ocupación y usos de las mismas, aporta los mecanismos para la elaboración de los planes y reglamentos de usos del suelo a nivel municipal.
Decreto 918 de 1989.	Constituye el Sistema Nacional para la Prevención de Desastres y fija competencias y funciones en la materia.
Código de régimen departamental (Decreto 1222 de 1986).	Establece las normas para que dos o más municipios, de un mismo departamento o departamentos distintos, puedan asociarse para prestar servicios públicos, ejecutar obras o realizar funciones administrativas.

y manantiales, lagos, lagunas, embalses y zonas pantanosas, así como para las aguas subterráneas, teniendo en cuenta la profundidad y variaciones estacionales del nivel freático o piezométrico, capacidad y calidad de acuífero, áreas y tipos de recarga y protección natural ante la introducción de agentes extraños.

Como medio receptor, el agua ha de interpretarse en términos de capacidad de flujo y de autopurificación, de sus características físicas y biológicas, así como de la estructura del cauce y de su uso futuro.

Como ecosistema, el agua es un componente estructural y funcional importante en la medida en que puede ser un limitante en su evolución; por tal razón interesan su valor o méritos de conservación en cuanto a sus características físicas y bióticas.

De lo anterior se puede concluir que en la caracterización y evaluación del recurso hídrico para planificar el desarrollo se deben considerar los siguientes aspectos: su valor cuando alimenta una cuenca estratégica, su valor cuando desempeña una función de conservación de recursos naturales, su valor en términos de un posible potencial paisajístico y recreativo,

y su valor cuando puede utilizarse para alimentar zonas agrícolas e industriales.

Para evaluar el recurso agua con fines de ordenamiento territorial es necesario seleccionar los usos que estratégicamente influyen más en el desarrollo del municipio, y a su vez es indispensable identificar las variables e indicadores más importantes que pueden influir en la determinación del potencial.

En comunidades rurales —objeto del presente estudio— es necesario evaluar el recurso hídrico superficial en función de su potencial para abastecer de agua potable a la población y para el riego de cultivos. Con la evaluación de estos potenciales se pretende integrar los aspectos más relevantes para solucionar la problemática ambiental relacionada con el aprovechamiento de este recurso y que, básicamente, se enfocan a satisfacer la demanda de agua para consumo humano y para las actividades agrícolas.

Para determinar el potencial para consumo humano y agrícola se propone la utilización de indicadores de cantidad y calidad. Con estos dos indicadores se pretende establecer las

zonas o áreas del territorio que ofrecen una mayor cantidad del recurso y aquellas que presentan una mejor calidad para el consumo humano o para actividades agropecuarias.

La evaluación del potencial del recurso agua, como parte esencial de los ecosistemas, es mucho más difícil y compleja; sin embargo, es importante resaltar que según las investigaciones sobre el tema se deben establecer los porcentajes de los caudales mínimos de las corrientes de agua, con un período de retorno de cinco años, necesarios para mantener y garantizar el cumplimiento de su función dentro de los ecosistemas.

Valoración de la cantidad

Para la valoración de la cantidad de agua se debe realizar un balance hídrico, el cual ha de calcularse a partir de la aplicación de diferentes métodos hidrológicos. La selección del método más apropiado depende del tipo, la calidad y la confiabilidad de la información existente en las diferentes entidades encargadas de su recolección, procesamiento y manejo.

INGENIERÍA AMBIENTAL

Cuadro 3. LEGISLACIÓN PERTINENTE AL USO DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL

Norma	Comentarios
Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables, Decreto 2811 de 1974, artículos 9, 155, 156, 157, 158, 159, 314, 316, 317, 318, 319, 320 y 321.	Este código define el uso de los elementos ambientales y de los recursos naturales renovables, así como las funciones del gobierno y de la administración pública en cuanto al manejo del recurso hídrico; además reglamenta los cobros que hay que realizar por el uso del recurso y el destino de estos dineros. Igualmente, fija los criterios para la realización de la ordenación de las cuencas hidrográficas.
Decreto 1541 de 1978, artículos 3, 36, 41, 42, 43, 277-285.	Delega al Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables (INDERENA) la administración y el manejo del recurso hídrico; además determina los fines para los cuales se requiere concesión para el aprovechamiento del recurso y el orden de prioridad de los mismos.
Decreto 2857 de 1981.	Dicta las disposiciones para la realización de los planes de ordenación de cuencas hidrográficas así como su implementación, teniendo en cuenta lo dispuesto anteriormente en el Decreto-Ley 2811 de 1974.
Decreto 2105 de 1983, artículos 4, 6 y 9.	Establece por primera vez los criterios de calidad física, química y bacteriológica para agua potable; además en él se dictan las disposiciones generales con respecto a los sistemas de abastecimiento de agua potable.
Decreto 1594 de 1984, artículos 22 y 29.	Determina los criterios de calidad del recurso hídrico para los diferentes usos a que se destine, los cuales deben usarse como guía para utilizarse como base de decisión en el ordenamiento y asignación de usos del recurso.
Constitución Política de 1991, artículos 80, 289, 365 y 366.	Define las funciones del Estado en cuanto a la planificación y manejo de los recursos naturales.
Ley 99 de 1993, artículos 1, 5 y 64.	Ley por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente.
Ley 136 de 1994, artículos 1 y 3.	Moderniza la organización y funcionamiento de los municipios.
Decreto 901 de 1997, artículo 5.	Reglamenta las tasas retributivas por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales y establecen las tarifas de éstas.
Decreto 478 de 1998, artículo 3.	Deroga el Decreto 2105 de 1983; en éste se fijan los criterios de calidad para agua potable, es decir, las normas organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas que debe cumplir. Además reglamenta las responsabilidades de las personas que prestan el servicio público de acueducto.

El profesional encargado de la realización del balance hídrico decidirá, de acuerdo con la necesidad y con la escala del trabajo, la manera de abordar el análisis, es decir, regional o por cuenca, de tal modo que finalmente se pueda obtener la distribución espacial del recurso hídrico y así permita visualizar la disponibilidad del mismo.

El balance hídrico es una ecuación de balance de masas, en la que la diferencia entre las entradas y las salidas de agua es igual al cambio del almacenamiento en el suelo. La forma general de la ecuación de balance hídrico es:

$$\frac{dS}{dt} = I - Q$$

Donde I = Entradas
 Q = Salidas
 $\frac{dS}{dt}$ = Cambio en el almacenamiento

Si se define un volumen de control completo, en donde se incluya tanto el flujo superficial como el flujo subterráneo, la ecuación de balance de masa total obtenida es:

$$P - Q - G - ET = \Delta S$$

Donde P = Precipitación en el período de interés
 Q = Flujo superficial en el volumen de control
 G = Flujo de aguas subterráneas
 ET = Evapotranspiración
 ΔS = Cambio en el almacenamiento de agua en el período de interés.

Valoración de la calidad

Se entiende por calidad natural del agua el conjunto de características físicas, químicas y bacteriológicas que presenta el agua en su estado natural en los ríos, lagos, manantiales, en el subsuelo, o en el mar.

Es importante tener en cuenta que la calidad del agua no es un término absoluto y que, por tanto, su evaluación debe realizarse en función del uso o actividad a que se destina: consumo humano, riego, actividades industriales o recreativas, uso estético, navegación, transporte o recepción de vertimientos. Por consiguiente, un agua que puede resultar contaminada para un uso puede ser perfectamente aplicable a otro; de ahí que es indispensable que se fijen criterios de calidad del agua según los usos.

El agua, en su estado natural, contiene cierto número y cantidad de sustancias provenientes de diversas fuentes como la precipitación, su propia acción erosiva, el viento, su contacto con la atmósfera y el subsuelo. La presencia de estas sustancias trae como consecuencia que las aguas, en su estado natural, es decir, cuando no han recibido vertidos artificiales, contengan sólidos y coloides en suspensión que afectan su transparencia; sólidos disueltos que se reflejan en su alcalinidad, acidez, pH, dureza y conductividad; oxígeno disuelto, que influye en la vida acuática; así como otros constituyentes que hacen parte de su composición natural.

Para la evaluación de la calidad de agua, con fines de ordenamiento ambiental territorial, se propone realizar la valoración considerando los usos potenciales del recurso; es decir, según la calidad del agua se definen los usos posibles que se le puedan dar al recurso en las diferentes zonas del municipio.

Estos usos se definen de acuerdo con las normas legales vigentes contenidas en los decretos 1594 de 1984 y 475 de 1998, los cuales regulan las exigencias de calidad para los diferentes usos del recurso agua. Esta reglamentación se complementa con algunas normas emitidas por las corporaciones autónomas regionales, que regulan el uso del recurso en su jurisdicción.

Se propone enfocar el análisis de la calidad del recurso agua considerando como alternativas de aprovechamiento estratégico el agua que se destina para el consumo humano y para el riego de cultivos. Con ello se pretende desarrollar una metodología que permita abordar la evaluación de este recurso en municipios con un comportamiento eminentemente rural.

La evaluación de la calidad del agua se realiza a partir de la consideración de normas físico-químicas que la afectan directamente. A pesar de que son múltiples, se han seleccionado aquellas que tienen una mayor influencia en la caracterización del estado de la calidad del agua para aprovecharla en el consumo humano y en riego.

La determinación de la calidad se realiza comparando los valores obtenidos para cada uno de los parámetros analizados, con los valores exigidos por las normas vigentes. Esta comparación se puede realizar cotejando individualmente cada uno de los parámetros o a través de la aplicación de índices que permiten, mediante la ponderación

de la influencia de cada parámetro en la calidad y del valor obtenido para cada uno de ellos, determinar integralmente la calidad del agua según su uso potencial. Es así como para este propósito se ha optado por aplicar índices que determinan la calidad del agua cruda para consumo humano y para riego.

Índice de calidad de agua cruda para consumo humano

Para realizar el análisis de la calidad del agua cruda para consumo humano se aplica un índice de calidad en el cual se tienen en cuenta aquellos parámetros físico-químicos que más influyen en los posibles tratamientos que se hacen al agua.

Con base en los decretos 1594/94 y 475/98 se establece un índice global de calidad del agua (IGC), según los criterios y límites adoptados para los diferentes parámetros, con valores entre cero y cien. El valor cero corresponde a las condiciones de máxima contaminación, mínima calidad; el valor cien a las condiciones de un agua excelente, máxima calidad, y los valores intermedios a otros grados de polución. El índice global de calidad del agua se obtiene al ponderar los índices individuales de calidad de cada parámetro de calificación, por medio de la expresión siguiente²:

$$IGC = \frac{\sum P_j C_j}{\sum P_j}$$

Donde	IGC	=	Índice global de calidad
	P_j	=	Factor de importancia relativa del parámetro j
	C_j	=	Índice de calidad del agua para el parámetro j
	j	=	Parámetros de 1 hasta n
	n	=	Número de parámetros de calidad del agua.

En la ecuación del índice global de calidad se observa que para determinar la calidad del recurso agua cruda para consumo humano se deben tener en cuenta los parámetros seleccionados para el análisis, así como el factor de importancia o peso de cada uno de los factores y el índice de calidad de cada uno de los parámetros. Los parámetros de calidad seleccionados para la determinación del índice global de calidad son: coliformes totales, CO; cobre, Cu; turbiedad, T; color, color; dureza, D; alcalinidad, A; conductividad, COND; sulfatos, SO₄; fosfatos, PO₄ y acidez, Ac. Para cada parámetro seleccionado se adopta un factor o un peso que refleja su incidencia en la determinación del índice global de calidad. El factor de importancia relativa de cada uno de estos parámetros se encuentra en el cuadro 4.

INGENIERÍA AMBIENTAL

Cuadro 4. Parámetros seleccionados para evaluar el IGC con su factor de importancia

Pj	Parámetro
20	Coliformes
10	Cobre
10	Turbiedad
10	Color
8	Dureza
7	Alcalinidad
10	Conductividad
10	Sulfatos
8	Fosfatos
7	Acidez

Para determinar el índice global de calidad es necesario definir el índice de calidad de cada uno de los parámetros seleccionados. Estos índices se obtienen aplicando ecuaciones deducidas a partir de los valores de concentración exigidos por las normas vigentes. Las ecuaciones

están diseñadas de tal modo que los índices tienen valores de cero a uno, siendo cero el valor mínimo de calidad y uno el óptimo. En el cuadro 5 se presentan, para cada parámetro, los intervalos de concentración y su respectiva ecuación.

Con base en estas ecuaciones se puede determinar el índice global de calidad, el cual permite obtener una visión de la aptitud del agua para consumo humano, luego de desarrollar un muestreo en un municipio.

Una vez calculados los índices de calidad de cada uno de los parámetros, se procede a aplicar la ecuación del índice global de calidad para determinar la clasificación del agua según sus requerimientos para hacerla potable. Se definen cinco clases de fuentes de agua cruda, en términos de

los valores del IGC y de los tratamientos mínimos requeridos para hacerla potable. En el cuadro 6 se incluye la clasificación propuesta.

Se entiende por tratamiento convencional aquel que se lleva a cabo mediante las operaciones y procesos de coagulación y mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Los tratamientos avanzados pueden ser aireación, precloración, presedimentación, filtración por membranas, intercambio iónico, ósmosis inversa, y adsorción, entre otros.

Una vez clasificadas las fuentes de agua, se puede zonificar el territorio en áreas en las que el agua tiene una calidad similar y así hacer evidente la conveniencia de un determinado ordenamiento territorial.

Cuadro 5. Ecuaciones para determinar los índices de calidad para cada parámetro

Parámetro	Símbolo	Unidad	Ecuación	Intervalo
Coliformes totales	CO	nmp/100ml	$C = 1 - 0,00002CO$ $C = 0$	$0 \leq CO \leq 50.000$ $CO > 50.000$
Cobre	Cu	mg Cu/L	$C = 1$ $C = 1,031 - 0,103 Cu$ $C = 0$	$Cu < 0,3$ $0,3 \leq Cu \leq 10$ $Cu > 10$
Turbiedad	T	UNT	$C = 1$ $C = 1,026 - 0,0051 T$ $C = 0$	$T < 5$ $5 \leq T \leq 200$ $T > 200$
Color	Color	U.Pt-Co	$C = 1$ $C = 1,1 - 0,0074Color$ $C = 0$	$Color < 15$ $15 \leq Color \leq 150$ $Color > 150$
Dureza	D	mg CaCo ₃ /L	$C = 1$ $C = 1,25 - 0,0016D$ $C = 0$	$D < 160$ $160 \leq D \leq 800$ $D > 800$
Alcalinidad	A	mg CaCo ₃ /L	$C = 1$ $C = 1,25 - 0,0125A$ $C = 0$	$A < 20$ $20 \leq A \leq 100$ $A > 100$
Conductividad	COND	μmhos/cm	$C = 1$ $C = 1,053 - 0,00105COND$ $C = 0$	$COND < 50$ $50 \leq COND \leq 1.000$ $COND > 1.000$
Sulfatos	SO ₄	mg SO ₄ /L	$C = 1$ $C = 2,67 - 0,0067SO_4$ $C = 0$	$SO_4 < 250$ $250 \leq SO_4 \leq 400$ $SO_4 > 400$
Fosfatos	PO ₄	mg PO ₄ /L	$C = 1$ $C = 1,02 - 0,102PO_4$ $C = 0$	$PO_4 < 0,2$ $0,2 \leq PO_4 \leq 10$ $PO_4 > 10$
Acidez	Ac	mg CaCo ₃ /L	$C = 1$ $C = 2 - 0,02 Ac$ $C = 0$	$Ac < 50$ $50 \leq Ac \leq 100$ $Ac > 100$

Cuadro 6.

Clasificación del agua cruda para consumo humano de acuerdo con el índice global de calidad (IGC)

Clasificación	IGC	Características
Excelente	$95 \leq \text{IGC} \leq 100$	Tratamiento de filtración y desinfección
Buena	$80 \leq \text{IGC} < 95$	Tratamiento convencional
Regular	$60 \leq \text{IGC} < 80$	Tratamiento convencional y tratamiento avanzado
Mala	$40 \leq \text{IGC} < 60$	Tratamiento avanzado
Muy Mala	$\text{IGC} \leq 40$	No recomendable

Índice de calidad de agua para riego

La calidad del agua para riego está determinada, principalmente, por la concentración y composición de los constituyentes disueltos que contenga y que puedan afectar la fertilidad del suelo y el crecimiento y calidad del cultivo. Para determinar el potencial de uso del agua para riego, se adopta la clasificación suministrada por el Manual N° 60 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Esta clasificación considera la evaluación de las condiciones de salinidad y el contenido de sodio intercambiable como las variables básicas para cuantificar la calidad de las aguas para el riego de cultivos. Como indicadores para valorar dichas variables se utilizan la conductividad eléctrica y la relación de adsorción de sodio (RAS).

Al clasificar las aguas para riego, se supone que éstas van a usarse en condiciones medias con respecto a variables como la textura del suelo, la velocidad de infiltración, el drenaje, la cantidad de agua utilizada, el clima y la tolerancia del cultivo a las sales. Desviaciones considerables del valor medio de cualquiera de estas variables pueden hacer inseguro el uso de un agua que en condiciones medias sería de muy buena calidad o, al contrario, pueden inducir a considerar un agua como buena cuando en condiciones medias sería de dudosa calidad. Esto debe tenerse en cuenta cuando se trata de clasificar las aguas para riego.

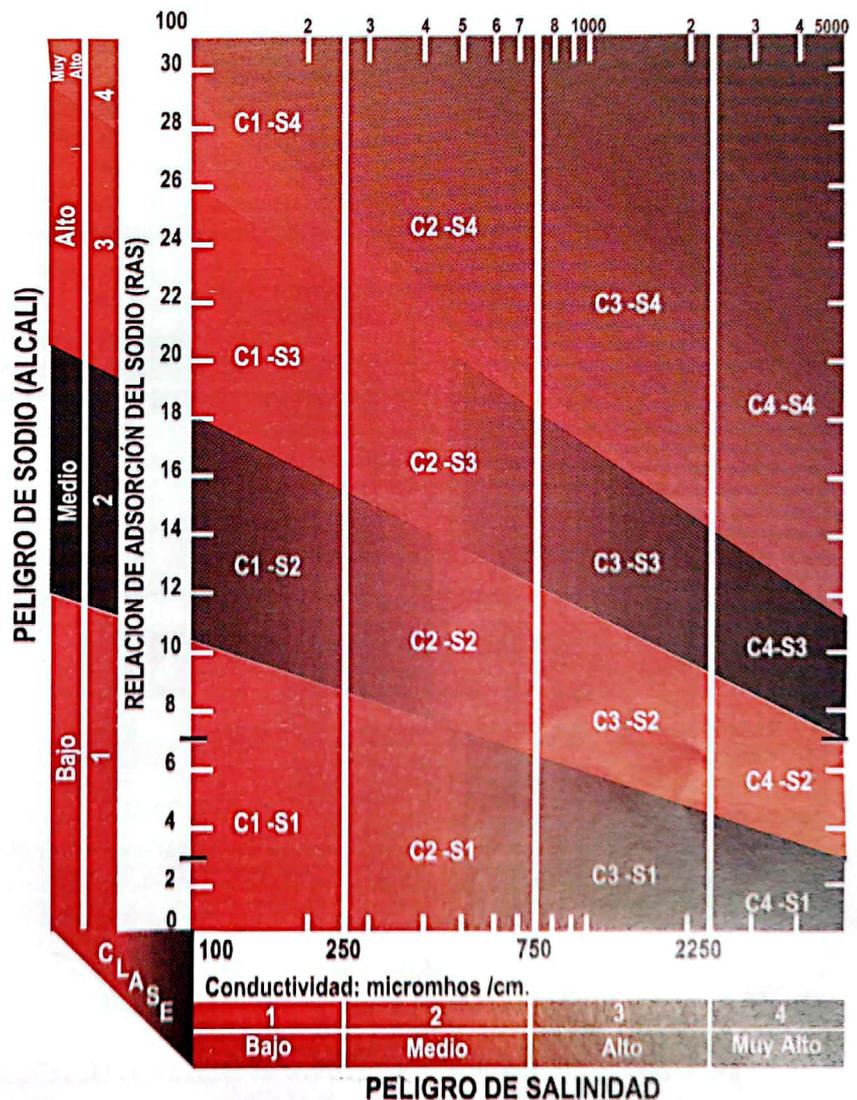


Figura 1. Diagrama para la clasificación de las aguas para riego.

Cuadro 7. Clasificación de agua para riego

Conductividad		RAS	
Clase	Índice	Clase	Índice
C1	Excelente	S1	Excelente
C2	Buena	S2	Buena
C3	Inapropiada	S3	Inapropiada
C4	Inaceptable	S4	Inaceptable

Para la determinación del índice de calidad de agua para riego se emplea un índice cualitativo basado en el diagrama de la figura 1. Este diagrama relaciona la conductividad eléctrica, en micromho por centímetro, con la relación de adsorción de sodio, RAS; dando origen a 16 clases de agua en términos de su conductividad y RAS.

En el cuadro 7 se presenta la síntesis de la clasificación para determinar el índice de calidad de agua para riego.

La aplicación conjunta de los índices de calidad del agua para consumo humano y para riego permite determinar aquellas zonas del territorio con mejores, iguales o peores características de calidad de agua para utilizarla en consumo humano o en riego de cultivos. Esto permite identificar las zonas del

territorio municipal que pueden, o no, utilizar el agua con ningún tipo de restricción o sin él y deducir, de una manera más realista y razonable, el ordenamiento territorial municipal más conveniente.

En la figura 2 se presenta una síntesis de las diferentes etapas que hay que seguir en la evaluación del recurso hídrico superficial, para la realización de planes de ordenamiento ambiental territorial municipal, según los criterios expuestos previamente.

6. REFERENCIAS

1. Chaparro, C. L., "Evaluación del recurso hídrico superficial con fines de ordenamiento ambiental territorial municipal", Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, trabajo final para optar al título de especialista en ingeniería ambiental con énfasis en sanitaria, Santafé de Bogotá, 1998.
2. Romero, R. J., "La clasificación sa-próbica del ENA", *Revista ECI*, Año 1, N° 1, junio de 1990.

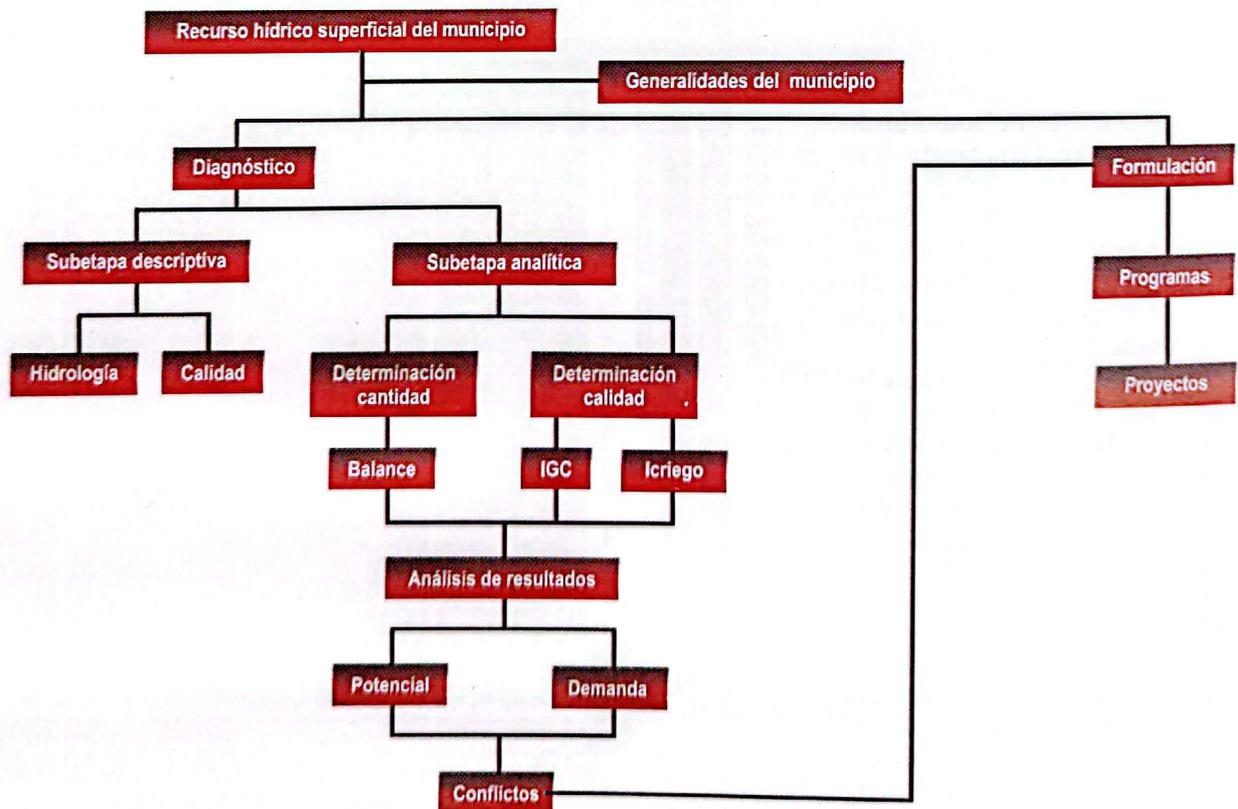


Figura 2. Esquema metodológico para la aplicación de la evaluación del recurso hídrico superficial con fines de ordenamiento ambiental territorial municipal.