

# ESTRATEGIA DE PROTECCION PARA LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN LA SUBCUENCA ORIENTAL DEL ACUIFERO DE MANAGUA

Choza López Arcadio

Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA)  
Km. 12 ½ Carretera Norte-Apdo No.5123-Managua, Nicaragua

## RESUMEN

Managua, capital de Nicaragua, tiene como principal fuente de abastecimiento las aguas subterráneas del acuífero de Managua sobre el cual se encuentra localizados. Por su condición de capital enfrenta una serie de amenazas capaces de originar en cualquier momento un deterioro de la calidad de éstas aguas en forma irreversible. La sub-cuenca Oriental del acuífero (570 Km<sup>2</sup>), además de considerarse estratégica para enfrentar futuras demandas, presenta condiciones favorables para ensayar, validar y adoptar un método para el análisis del Riesgo de Contaminación de Aguas Subterráneas, por cuanto en ella se ha utilizado durante 30 años agroquímicos para el cultivo de algodón, existen centros poblados con descargas de aguas negras sin alcantarillado sanitario, basureros municipales inapropiados y descargas de efluentes industriales sin tratamiento. La estimación de la vulnerabilidad del acuífero en base a sus características hidrogeológicas, la estimación de la carga contaminante que existe sobre el acuífero, el valor relativo del agua, y el análisis de inter-relación entre estos elementos, permitieron definir áreas de protección y proponer un plan de protección para las aguas subterráneas. En la actualidad se revisan las medidas de protección propuestas y la participación de las Instituciones en la aplicación del Plan.

**Palabra clave:** Uso Sostenible de los Recursos Hídricos

## VULNERABILIDAD HIDROGEOLOGICA DEL ACUIFERO

La Vulnerabilidad Hidrogeológica de la Sub-Cuenca Oriental del Acuífero de Managua, se estimó aplicando el Método DRASTIC, Este método ha sido utilizado por la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU para estimar la vulnerabilidad de los acuíferos en diez condados de los Estados Unidos. El método, es un sistema estandarizado que estima la sensibilidad natural de un acuífero a ser contaminado ante la presencia de una carga contaminante impuesta. El método se basa en el análisis de siete características hidrogeológica que definen escenarios hidrogeológicos con características comunes y con una vulnerabilidad común a la contaminación. Su aplicación conduce al producto de un “mapa de áreas vulnerables” que sirve como instrumento de planificación para orientar la ubicación de una instalación ó actividades generadoras de contaminación, así como, permite orientar la necesidad de investigaciones detalladas para la formulación de planes de protección, optimizando de ésta manera los recursos humanos, técnicos y económicos.

**Sistema Numérico.** Cada uno de los siete parámetros tiene un peso numérico que permite ponderar la intervención que tiene cada parámetro en el proceso de contaminación de las aguas subterráneas. Los parámetros y pesos son:

(D)	Profundidad de agua	Peso	5
(R)	Recarga Neta	Peso	4
(A)	Medio del Acuífero	Peso	3
(S)	Medio de Suelo	Peso	2
(T)	Topografía	Peso	1
(I)	Impacto de la Zona Vadosa	Peso	5
(C)	Conductividad Hidráulica	Peso	3

Cada parámetro a su vez esta subdividido en una escala numérica que permite calificar la capacidad de atenuación que tiene cada uno de ellos en base a las condiciones físico-naturales que lo caracterizan , teniendo en cuenta que entre mas alto es el valor asignado, menor es su capacidad de atenuación. El ejemplo mas simple lo constituye la profundidad del agua.

(D) Profundidad del Agua (m)		Peso 5
Para profundidades entre		Valor asignado
0.0	1.5	10
1.5	9.0	9
9.0	15.0	7
15	23	5
23	30	3
>30		1

El Valor asignado, multiplicado por el peso, proporciona el Valor Numérico Drastic (VND) que constituye el primer indicador del papel atenuador que juega el parámetro en cuestión. Este procedimiento fue utilizado para el resto de los parámetros analizados hasta llegar a producir los siete mapas temáticos que establece el Método.

A través de la sobreposición de los siete mapas temáticos obtenidos, se fueron delimitando las áreas de coincidencia hasta llegar a obtener una área única en donde se reúnen los correspondientes “valores numéricos” que forman el escenario hidrogeológico, y que sumados establecen el índice drastic”, que califica la sensibilidad a la contaminación del escenario.

Una nota importante de la aplicación realizada, es que, en el caso de (A) Medio del Acuífero e ( I ) Impacto de la Zona Vadosa, el “valor asignado” se adaptó a través de un análisis comparativo, de las condiciones geológicas encontradas en el acuífero de Managua. Los pesos establecidos por el método no pueden ser cambiados.

**Resultados obtenidos:** Como resultados de la aplicación del Método se obtuvieron 23 escenarios identificados cada uno por su índice Drastic. Aquellos escenarios con índices Drastic muy cercanos entre si, se agruparon para formar escenarios mayores con características hidrogeológicas muy similares. Esta agrupación permitió realizar la descripción de las características hidrogeológica que determinan la vulnerabilidad del escenario.

Otra nota importante del trabajo, que no forma parte del Método publicado por EPA, es que se definió una escala que permitiera tener un apreciación cualitativa de las áreas de vulnerabilidad del acuífero y poder calificarlas en ALTA , MODERADA Y BAJA. Las escalas definidas por el Proyecto fueron:

Apreciación Cualitativa	Indice DRASTIC	Color
Baja Vulnerabilidad	<99	Verde
Moderada Vulnerabilidad	100 a 139	Amarillo
Alta Vulnerabilidad	>140	Rojo

Esta escala de apreciación cualitativa es la que permitió comparar los resultados de la vulnerabilidad con la carga contaminante y el valor relativo del agua y poder proponer una estrategia de protección.

El área de Alta Vulnerabilidad la constituye la parte central de la Sub-Cuenca, con una superficie de 203.3 Km2 y caracterizada, en forma general, por materiales porosos, permeables, pequeño espesor de suelo, somera profundidad del agua y alto grado de fracturamiento. El material poroso los constituyen materiales aluvionales y sedimentos transportados ( arena, grava, lapillis, escoria y basalto fracturado ) y pendientes que oscilan de 0 - 2 % y de 2 - 6 %

que favorecen mucho la infiltración. Dentro del Area se encuentra la Laguna de Masaya que forma parte importante en el sistema de recarga del acuífero. La presencia de las fallas Cofradía, Veracruz y Aeropuerto jugaron un papel importante en la clasificación de alta vulnerabilidad.

La zona de Moderada Vulnerabilidad comprende una superficie de 263.9 Km<sup>2</sup> y los materiales geológicos presentes son piroclasticos sueltos de moderado fracturamiento, espesor de suelo mas gruesos y mediana cementación. Las pendientes son del orden del 12 al 18% que no son muy favorables a la infiltración.

El área de baja vulnerabilidad se caracterizo por la presencia de lentes limo-arcillosos y por una lengua de lava andesitico-basaltico que funcionan como barreras de atenuación. Estos materiales se encuentran en la zona no saturada, por lo que la zona vadosa tiene gran influencia atenuadora. Contribuye notoriamente la alta profundidad del agua, la baja conductividad hidráulica, fuertes pendientes topográficas y gruesos espesores de suelo . El área cubierta es de 98.6 Km<sup>2</sup>. Totalizan los 574.16 Km<sup>2</sup> el espejo de la Laguna de Masaya, con 8.36 Km<sup>2</sup>.

### CARGA CONTAMINANTE

El propósito de este trabajo fue evaluar el peligro potencial de contaminación que representa cada fuente contaminante. El Método utilizado se ajustó al procedimiento desarrollado por el Dr. Stephen Foster y el Dr. Ricardo Hirata en su Documento “Determinación del Riesgo Potencial de Contaminación para las Aguas Subterráneas “. publicados por OPS -CEPIS.

El procedimiento siguió tres pasos principales; (I) Priorizar las Fuentes Contaminantes (ii) Caracterizar las Fuentes Contaminantes (iii) Estimar el Valor Relativo de la Carga Contaminante.

La “Priorizacion de Fuentes Contaminantes “ se realizo a partir de: (a) Reconocimiento del Area a través de Foto-Interpretacion de Imágenes de Satélite y verificación de campo, (b) Inventario de Fuentes Contaminantes para ampliar, detallar y ordenar la información relacionada con las fuentes contaminantes, (c ) Una priorizacion de las fuentes contaminantes inventariadas de acuerdo al peligro potencial de la carga contaminante que genera cada fuente.

En la prioridad 1, se clasificaron las actividades que disponen o utilizan compuestos peligrosos, actividades con grandes usos de agroquimicos, almacenamiento de sustancias peligrosas tóxicas, efluentes de origen domésticos lanzados directamente en el subsuelo.

En la prioridad 2, se clasifican las actividades que disponen o utilizan sustancias de moderadas solubilidad que pueden afectar las aguas subterráneas.

En la prioridad 3, se clasifican las actividades que disponen o utilizan sólidos inertes de baja solubilidad y rápida degradación, pero que pueden incidir en la contaminación de aguas subterráneas.

En la prioridad 4, se clasificaron aquellas que disponen o utilizan compuestos que afectan muy poco o no afectan la calidad de las aguas subterráneas.

La “Caracterizaron de Fuentes Contaminantes “, se realizo a partir del análisis de cinco (5) características semi-independientes. Estas características son: ( i ) Clase de contaminante involucrado, (ii) Intensidad del Contaminante, (iii) Clase de Contaminante, (iv) Duración de la Carga Contaminante, (v) Posible Remediacion del Contaminante.

Cada una de estas características se analizan a través de la relación de dos factores que intervienen en cada de ellas y que proporcionan un valor relativo en una escala de 0 - 1. A manera de ejemplo, señalamos que la “Clase de Contaminante” se avalúa por sus propiedades de “degradación” y “movilidad ( o retardacion )”.

El “Valor Relativo de la Carga”, estimado para cada fuente, se logra a partir del promedio de los valores obtenidos para cada una de las características evaluadas. Estos valores permiten establecer niveles de peligro BAJO, MODERADO, ALTO de acuerdo a una escala de clasificación propuesta por el Proyecto para actividades agrícolas, industrial, municipal y otros.

**Resultados Obtenidos:** Como resultado del inventario y de la priorización se obtuvieron 220 fuentes priorizadas de las cuales 87 resultaron de alta prioridad siendo la actividad agrícola, con 31, la que presenta el mayor número de fuentes de alta prioridad, ocupando el segundo lugar con 15 la actividad industrial y la actividad urbana-rural..

Como resultado de la caracterización, se pudo obtener un total de 218 fuentes caracterizadas. Dos de ellas no se pudieron caracterizar por falta de información. De este total, 76 resultaron de alto peligro potencial, de las cuales 31 son fuentes de actividad agrícola y 13 de actividad industriales.

En resumen se obtuvo un total de 60 fuentes de BAJO peligro potencial de contaminación, 82 de MODERADO peligro potencial y 76 de ALTO peligro potencial de contaminación al agua subterránea.

## RIESGO DE CONTAMINACION

La sobreposición del Mapa de Carga Contaminante sobre el mapa de Vulnerabilidad Hidrogeológica permitió establecer las condiciones de Riesgo Potencial de Contaminación.

La situación extrema de ALTO RIESGO la reúnen las fuentes de ALTA CARGA ubicadas en un área de ALTA VULNERABILIDAD. Sin embargo no hay que perder de vista que la sobreposición de los tres grados de vulnerabilidad con tres los niveles de peligro de las cargas contaminantes, generan una matriz de 9 posibilidades, aunque no necesariamente tienen que presentarse todos los casos.

Los resultados que se obtienen, permiten establecer una base técnica de conocimientos para formular un Plan de Protección para el acuífero, cuya rigidez puede graduarse (flexibilizarse o endurecerse) de acuerdo al nivel de riesgo encontrado.

**Resultado Obtenido:** En la Sub-Cuenca Oriental del Acuífero de Managua se identificaron bajo la situación extrema de ALTO RIESGO de Contaminación un total de 45 fuentes identificadas: áreas urbanas sin alcantarillado (7), área de disposición de desecho sólidos (2), laguna de efluentes líquido (1), industrias (6), aeródromo (5), gasolineras (4), áreas de cultivo agrícola (20).

## PLAN DE PROTECCION

Con el propósito de establecer un criterio de priorización para atender los problemas encontrados en el área tomando en cuenta la importancia del agua, se introdujo el concepto de “Área de Protección”. Para esto fue necesario estimar el “Valor Relativo del Agua” en base a la cantidad y uso manteniendo las escalas de ALTO VALOR, MODERADO VALOR Y BAJO VALOR.

Combinando los resultados del Mapa de Vulnerabilidad con los Resultados del Valor del Agua se identificaron 5 áreas de protección. Obviamente, el Área de Protección 1, es aquella donde se presenta el mayor valor de agua con la mayor vulnerabilidad. Combinando los tres elementos (Vulnerabilidad, Carga y Valor del Agua) se identificaron los problemas de contaminación dominantes y se propusieron medidas de protección, para cargas puntuales y difusas, con diferentes niveles de rigidez.

Actualmente, se estudia la formación de un Comité Inter-institucional de carácter local para analizar la viabilidad de las medidas de protección. La fig. 1, muestra los distintos mapas obtenidos.





1

1