



ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN  
DEL ACUÍFERO DEL ARROYO ALAMAR Y ACTITUD  
SOCIAL HACIA SU PROTECCIÓN

Tesis presentada por

**Arizbé Alexandra Gutiérrez Anima**

Para obtener el grado de

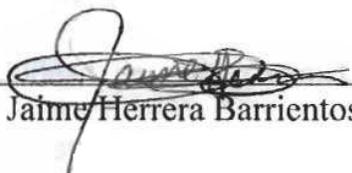
**MAESTRO EN ADMINISTRACIÓN  
INTEGRAL DEL AMBIENTE**

**Tijuana, B. C.,**

**2006**

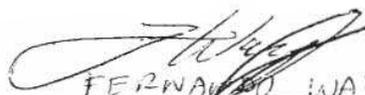
# CONSTANCIA DE APROBACION

Director de Tesis:

  
Dr. Jaime Herrera Barrientos

Aprobada por el Jurado Examinador:

1.-

  
FERNANDO WAKIDA

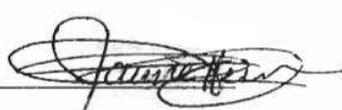
Nombre y firma

2.-

  
Vicente Rodríguez M.

Nombre y firma

3.-

  
Nombre y firma

Jaime Herrera Barrientos

## RESUMEN

Se determinó la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero del Arroyo Alamar, ubicado en el lado este de la ciudad de Tijuana, Baja California, empleando el método DRASTIC. Con el uso del Sistema de Información Geográfica Arc View se generaron siete mapas temáticos correspondientes a la contribución al índice de vulnerabilidad de cada parámetro DRASTIC y un mapa de vulnerabilidad del acuífero en el que se muestran las zonas más sensibles a la contaminación. La distribución espacial del índice de vulnerabilidad en el área de estudio es heterogénea, la zona más sensible se ubica en la porción noreste del acuífero. Se aplicó también una encuesta a los habitantes de las proximidades del Arroyo Alamar, a través de una escala Likert, así como entrevistas a funcionarios públicos, con el objetivo de conocer su actitud hacia la protección del acuífero. Los resultados indican una actitud favorable de los vecinos del Arroyo Alamar hacia la protección del acuífero, y dejan ver que la atención de las autoridades al tema de protección del agua subterránea es insuficiente. Los resultados obtenidos son un insumo para el planteamiento de políticas tendientes a la restauración del Arroyo Alamar, así como para la protección del acuífero a la contaminación.

**Palabras clave:** DRASTIC, vulnerabilidad, agua subterránea, Arroyo Alamar, Tijuana.

# ÍNDICE

	Página
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO – METODOLÓGICO</b>	6
1.1 Agua subterránea	6
1.2 Protección de acuíferos	7
1.3 Concepto de vulnerabilidad	8
1.4 Marco normativo para la protección de acuíferos en México	10
1.4.1 Ámbito Federal	10
1.4.2 Ámbito Estatal	12
1.4.3 Ámbito Municipal	12
1.5 La evaluación de actitudes	14
<b>CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	16
2.1 Medio Físico	16
2.1.1 Localización	16
2.1.2 Clima	19
2.1.3 Flora	20
2.1.4 Geología	21
2.1.5 Edafología	21
2.1.6 Usos del suelo	22
2.1.7 Contaminación	24
2.2 Aspectos Socioeconómicos	25
2.2.1 Población	25

2.2.2 Evolución de los asentamientos irregulares	25
2.2.3 Ocupación de la población económicamente activa	26
2.3 Estudios previos en la zona	26
<b>CAPÍTULO 3 ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO</b>	<b>28</b>
3.1 Método DRASTIC	28
3.2 Descripción de los parámetros DRASTIC	30
3.2.1 Profundidad del agua subterránea	30
3.2.2 Tasa de recarga	32
3.2.3 Litología del acuífero	33
3.2.4 Tipo de suelo	36
3.2.5 Topografía	38
3.2.6 Impacto de la zona vadosa	39
3.2.7 Conductividad hidráulica del acuífero	42
3.3 Elaboración del mapa de vulnerabilidad	43
3.3.1 Zonificación del área de estudio	43
3.3.2 Valoración de los parámetros DRASTIC	43
<b>CAPÍTULO 4 EVALUACIÓN DE LA ACTITUD HACIA LA PROTECCIÓN DEL ACUÍFERO</b>	<b>54</b>
4.1 Construcción de la escala Likert	54
4.2 Selección de la muestra	56
4.3 Validez y confiabilidad de la escala	57
4.4 Entrevistas a funcionarios	61
<b>CAPÍTULO 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>66</b>
5.1 Vulnerabilidad del acuífero	66
5.2 Actitud hacia la protección del acuífero	70

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES** 74

**REFERENCIAS** 78

**ANEXOS**

Anexo A Parámetros DRASTIC

Anexo B Escala de actitud hacia la protección del acuífero del Arroyo Alamar

Anexo C Matriz de correlación entre las afirmaciones de la escala de actitud

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
2.1	Temperatura media mensual	19
2.2	Precipitación total mensual	20
3.1	Asignación de pesos para los parámetros DRASTIC	30
3.2	Rangos y valores para la profundidad del agua	32
3.3	Rangos y valores para la tasa de recarga	33
3.4	Rangos y valores para la litología del acuífero	35
3.4a	Rangos y valores modificados para la litología del acuífero	35
3.5	Rangos y valores para el tipo de suelo	37
3.6	Rangos y valores para la topografía	38
3.7	Rangos y valores para el impacto de la zona vadosa	41
3.7a	Rangos y valores modificados para el impacto de la zona vadosa	42
3.8	Rangos y valores para conductividad hidráulica	43
4.1	Distribución de las afirmaciones dentro de la escala	55
4.2	Coefficientes de correlación de las afirmaciones con su categoría y con la escala total	58

# ÍNDICE DE FIGURAS Y MAPAS

	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
<b>Figuras</b>		
1.1	Esquema de un acuífero libre	7
2.1	Cuenca de captación del Río Tijuana	16
2.2	Área de estudio	18
2.3	Usos del suelo en el área de estudio	22
3.1	Descripción esquemática del método DRASTIC	31
5.1	Porcentaje del área de estudio dentro de cada intervalo del índice DRASTIC	67
5.2	Actitud hacia la protección del acuífero	70
5.3	Distribución de frecuencias para cada afirmación	73
<b>Mapas</b>		
3.1	Zonificación del área de estudio	44
3.2	Vulnerabilidad del parámetro “D”, Profundidad del agua subterránea	45
3.3	Vulnerabilidad del parámetro “R”, Tasa de recarga	46
3.4	Vulnerabilidad del parámetro “A”, Litología del acuífero	48
3.5	Vulnerabilidad del parámetro “S”, Tipo de suelo	49
3.6	Vulnerabilidad del parámetro “T”, Topografía	50
3.7	Vulnerabilidad del parámetro “I”, Impacto de la zona vadosa	51

3.8	Vulnerabilidad del parámetro “C”, Conductividad hidráulica	52
3.9	Índice de vulnerabilidad DRASTIC	53
4.1	Distribución espacial de los cuestionarios aplicados en la encuesta	57
5.1	Localización de actividades en el acuífero del Arroyo Alamar	69

# INTRODUCCIÓN

La escasez del agua es un fenómeno mundial, la demanda de este recurso aumenta constantemente conforme aumenta el crecimiento de la población y el desarrollo de actividades económicas. Es indiscutible que la calidad del agua es un factor determinante en el crecimiento y desarrollo económico de cualquier región y que este último está concatenado con la calidad de vida de la población. El agua subterránea es una parte vital de nuestro sistema de agua dulce, sin embargo, a pesar de su importancia, no se cuenta con programas que garanticen la protección de los acuíferos contra la contaminación, lo cual es grave si consideramos que una vez contaminado resulta prácticamente imposible restaurar un acuífero a su condición original (Hirata, 2001).

El acuífero del Arroyo Alamar es una de las dos fuentes de abastecimiento de agua subterránea con que cuenta la ciudad de Tijuana. Del sub-suelo del Río Tijuana y el Arroyo Alamar se obtiene, dentro del perímetro urbano, una producción promedio mensual de  $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$  (CESPT, 2006). Para asegurar la disponibilidad del agua subterránea del acuífero del Arroyo Alamar es necesaria su protección contra la contaminación. Por lo que, el conocer la distribución de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea permitirá establecer políticas sobre el uso del suelo, así como programas específicos de inspección y monitoreo de posibles fuentes de contaminación (Agüero y Pujol, 2002); coadyuvando esto a lograr un desarrollo armónico del Arroyo Alamar y disminuir posibles tensiones en la relación México-Estados Unidos por cuestiones de descarga en territorio estadounidense de aguas contaminadas en México.

El Arroyo Alamar está expuesto a la contaminación por diversas actividades humanas como: agricultura, ganadería, porcicultura, extracción de arena, fabricación de ladrillos, asentamientos irregulares, depósito ilegal de basura y residuos industriales siendo algunos de estos últimos clasificados como residuos peligrosos. A pesar de ello, el arroyo conserva una alta diversidad de plantas nativas y una gran cantidad de plantas introducidas (Delgadillo, 2003); además de que funciona como zona de recarga del acuífero (IMPLAN, 2002). En la actualidad, el Alamar es aún fuente de abastecimiento de agua subterránea para la ciudad de Tijuana; sin embargo, si el problema de contaminación continúa, el acuífero seguirá recibiendo las infiltraciones de elementos contaminantes dispuestos en la superficie.

Desde el punto de vista hidrológico, el Arroyo Alamar forma parte de la cuenca del Río Tijuana, el cual desemboca al Océano Pacífico en Imperial Beach, en el condado de San Diego, California. La cuenca del Arroyo Alamar es parte del sistema hidrográfico Cottonwood Creek – Arroyo Alamar – Río Tijuana. Un aspecto peculiar de este sistema fluvial es que cruza la frontera entre los Estados Unidos y México tres veces antes de llegar finalmente al Océano Pacífico (Ponce, 2001). La cuenca del Arroyo Alamar recibe las descargas de las plantas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Tecate y la cervecería Tecate, así como otras descargas no controladas que contaminan los escurrimientos naturales del arroyo. Además de la carga antes indicada, la mayor carga contaminante superficial la recibe a su paso por la ciudad de Tijuana, esto debido a diversos focos contaminantes asociados con asentamientos irregulares, descargas industriales pluviales, entre otros (CNA, 1997; IMPLAN, 2002).

Ante este escenario, es importante determinar la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero, ya que, la contaminación de este arroyo es motivo de controversia en la relación México – Estados Unidos. Al conocer la vulnerabilidad de la zona, se tienen elementos para que los tomadores de

decisiones instrumenten las medidas necesarias para la protección del acuífero; máxime cuando se trata de un punto trascendental que puede deteriorar la relación México – Estados Unidos. Otro aspecto relevante en la gestión de la protección del acuífero es conocer aspectos sociales como la actitud hacia la protección del acuífero de los habitantes de las márgenes del cauce del Arroyo Alamar. Esto servirá como insumo para el planteamiento de políticas tendientes a la restauración del Arroyo Alamar, así como para evitar el avance de la contaminación del agua subterránea.

El objetivo general de este trabajo es proponer elementos de gestión para la protección del acuífero del Arroyo Alamar a partir del análisis de vulnerabilidad a la contaminación. Como objetivos específicos se plantean: 1) valorar los parámetros hidrogeológicos que determinan la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero del Arroyo Alamar; 2) determinar la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero del Arroyo Alamar mediante el índice DRASTIC; 3) elaborar un mapa de vulnerabilidad del acuífero; 4) evaluar la actitud hacia la protección del acuífero de los actores relacionados; y, 5) proponer acciones orientadas a la protección del acuífero.

La pregunta que motivó la presente investigación es la siguiente: ¿Cuál es el grado de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero del Arroyo Alamar y la actitud de los actores sociales hacia la protección del mismo? Para dar respuesta a la pregunta anterior se plantea como hipótesis de trabajo que el conocimiento de la vulnerabilidad a la contaminación, del acuífero del Arroyo Alamar, la cual está determinada por la magnitud y relación de los parámetros hidrogeológicos, permitirá tomar medidas para la protección del agua subterránea frente a la contaminación.

La metodología utilizada para la estimación de la vulnerabilidad del acuífero fue el método DRASTIC (Aller *et al*, 1987) y la técnica de Likert (1932), para abordar lo referente a la actitud hacia la protección del acuífero de los pobladores cercanos al Arroyo Alamar.

Entre los hallazgos realizados destaca el comportamiento disperso de los índices de vulnerabilidad en el acuífero del Arroyo Alamar, en donde los valores más altos se ubicaron en la parte noreste del acuífero, es decir, en las proximidades con los Estados Unidos y los valores más bajos en la zona comprendida entre el Blvd. Clouthier y la central camionera, aún en esta última se observan variaciones. Referente a la actitud de los vecinos del Arroyo Alamar con respecto a la protección del acuífero, esta resultó ser favorable, los encuestados consideran al agua subterránea como un recurso importante, están concientes del problema ambiental y reconocen las fuentes potenciales de contaminación; por otra parte tienen una opinión negativa sobre el trabajo de las autoridades en materia de protección del acuífero.

Este documento consta de 5 capítulos. El capítulo 1 corresponde al marco teórico-metodológico en el que se basa la investigación, allí mismo se hace un breve recuento de los trabajos que otros autores han realizado referentes al área de estudio y que pudieran relacionarse con esta tesis; en el capítulo 2, se presenta una descripción detallada del área de estudio en la que se contemplan el medio físico y aspectos socioeconómicos; los capítulos 3 y 4 desarrollan la metodología para la determinación de la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación y, la evaluación de la actitud hacia la protección del acuífero; en el capítulo 5 se presenta una discusión de los resultados obtenidos. Finalmente se presentan las conclusiones de la tesis y una serie de recomendaciones orientadas a proteger el acuífero.

Se integran al trabajo tres anexos en los cuales se presentan: los datos utilizados para la estimación de los parámetros DRASTIC (Anexo A); la escala construida para evaluar la actitud hacia la protección del acuífero (Anexo B); y la matriz de correlación entre las afirmaciones de la escala (Anexo C).

# CAPÍTULO 1

## MARCO TEÓRICO - METODOLÓGICO

### 1.1 AGUA SUBTERRÁNEA

El agua subterránea es un recurso natural importante para el desarrollo económico y social, debido a que es una fuente de suministro de agua para uso urbano y rural. Además, tiene un papel esencial, aunque poco apreciado, en la conservación de ecosistemas (Foster *et al.*, 2002).

El ciclo hidrológico es el encargado de la distribución y de la renovación del agua. En resumen, el ciclo hidrológico inicia con el movimiento del agua en sus diversos estados físicos, se evapora en los océanos y se mueve a través de la atmósfera. Posteriormente el agua se condensa y cae en forma de lluvia. La lluvia puede caer en el océano, evaporarse, o caer en la superficie continental, de ésta última, una parte se congela y forma los glaciares, otra se precipita en forma de nieve y el resto escurre en tierra formando un canal de drenaje que, a su vez, forma ríos, lagos, etc. Estas trayectorias de agua pueden llegar hasta el mar para reiniciar el ciclo o evaporarse y volver a la atmósfera. Si la superficie del suelo es porosa, el agua se infiltra y puede volver a la atmósfera por la transpiración de las plantas o alcanzar la zona saturada en donde podrá moverse hasta llegar al área de descarga, por lo general el océano, y reiniciar el ciclo (Yoshinaga y Albuquerque, 2002).

Por definición un acuífero es una formación geológica capaz de almacenar y transmitir agua que puede ser extraída para su explotación, uso o aprovechamiento. El agua almacenada en los acuíferos puede tener diversos orígenes tales como la precipitación o el océano, entre otros (Auge, 2004). Los acuíferos más sensibles a la recarga son los acuíferos libres, compuestos de materiales no

consolidados, formados de grano grueso, medio y fino. En el estado de Baja California la única fuente de recarga de los acuíferos es la precipitación (CONAGUA, 2006).

Figura 1.1 Esquema de un acuífero libre (Tomado de CARSUCRE, 2005).



## 1.2 PROTECCIÓN DE ACUÍFEROS

La protección de acuíferos se basa en prevenir la contaminación, eliminar sus consecuencias y preservar la calidad del agua subterránea. Debido a que la contaminación de un acuífero se relaciona en gran medida con el estado del agua superficial, la atmósfera, la precipitación y el suelo, su protección debe atenderse simultáneamente y sobre la base de pautas dirigidas a la preservación del ambiente en general (Auge, 2004).

Las estrategias de protección de las aguas subterráneas se han centrado básicamente en dos líneas de acción: el establecimiento de perímetros de protección de pozos y los mapas de vulnerabilidad a la contaminación. La primera, tiene como objetivo principal el establecimiento de una zona de protección alrededor del pozo de abastecimiento. La segunda, define la susceptibilidad del acuífero a la contaminación, con base en sus características hidrogeológicas y geoquímicas (Hirata y Reboucas, 2001). Los acuíferos se recargan con el agua de lluvia, cuando esta se infiltra a través de la superficie del terreno. Por ende algunas de las actividades que se llevan a cabo sobre la superficie del terreno pueden amenazar la calidad y disponibilidad del agua subterránea. La estimación de la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación permite aprovechar la capacidad natural de atenuación de contaminantes que tiene el suelo, en lugar de aplicar restricciones universales al uso del suelo y controles de la descarga de efluentes sobre el mismo (Pérez, 2003).

La protección de los acuíferos contra la contaminación requiere un manejo consciente y la cooperación por parte de los ciudadanos y de varias instancias gubernamentales. En muchos casos la planificación del uso del suelo es la mejor alternativa. Si se planifica la localización de fuentes potenciales y se ubican lejos de las áreas críticas de recarga, el riesgo de contaminación se reducirá notablemente (Hornsby, 2000).

### **1.3 CONCEPTO DE VULNERABILIDAD**

La vulnerabilidad es un concepto cualitativo, puede entenderse como la sensibilidad de la calidad del agua subterránea ante una carga contaminante impuesta, la cual es determinada por las características intrínsecas del acuífero (Agüero y Pujol, 2002).

El término «vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación» fue introducido en 1968 por el hidrogeólogo francés J. Margat, sin embargo, fue hasta finales de la década de 1980 cuando Foster sugirió que la definición más lógica y consistente sería considerar la vulnerabilidad de los acuíferos como las características intrínsecas que determinan la susceptibilidad de un acuífero a ser afectado adversamente a causa de una carga contaminante aplicada en la superficie. La vulnerabilidad es entonces una función de:

- a) La inaccesibilidad hidráulica de la zona saturada a la penetración de contaminantes
- b) La capacidad de atenuación de los estratos que están por encima de la zona saturada, como resultado de una retención física, acción biológica o reacción química con los contaminantes (Pérez, 2003).

Existen dos tipos de vulnerabilidad de las aguas subterráneas:

- a) Vulnerabilidad intrínseca o natural, que está función de las condiciones naturales del acuífero y no considera ni los atributos ni el comportamiento de contaminantes específicos.
- b) Vulnerabilidad específica, la que hace referencia a un contaminante o un grupo de contaminantes de propiedades similares.

La vulnerabilidad intrínseca de las aguas subterráneas esta en función de parámetros principales como la recarga, el suelo, la zona no saturada y el propio acuífero, y de parámetros secundarios como la topografía, la litología del acuífero y el contacto con aguas superficiales o de mar (Fornéz y Llamas, 1998).

En el caso de los acuíferos libres, la vulnerabilidad es una función inversa de la profundidad del nivel freático y directa de la permeabilidad vertical de la zona no saturada (Auge, 2004).

En este trabajo se obtiene la vulnerabilidad intrínseca o natural del acuífero del Arroyo Alamar, el cual es un acuífero libre.

## **1.4 MARCO NORMATIVO PARA LA PROTECCIÓN DE ACUÍFEROS EN MÉXICO**

La protección de acuíferos en nuestro país está contemplada en una diversidad de ordenamientos jurídicos de varios niveles jerárquicos que se resumen a continuación.

### **1.4.1 Ámbito Federal**

El artículo 27 constitucional establece, en su párrafo quinto que:

*«...las aguas del subsuelo pueden ser libremente alumbradas mediante obras artificiales y apropiarse por el dueño del terreno; pero, cuando lo exija el interés público o se afecten otros aprovechamientos, el Ejecutivo Federal podrá reglamentar su extracción y utilización y aun establecer zonas vedadas al igual que para las demás aguas de propiedad nacional...»*

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) establece en su artículo 86 fracción III que:

*«...la “Autoridad del Agua”<sup>1</sup> tiene a su cargo formular programas integrales de protección de los recursos hídricos en cuencas hidrológicas y acuíferos considerando las relaciones existentes entre los usos del suelo y la cantidad y calidad del agua».*

---

<sup>1</sup> Se refiere al Organismo de Cuenca y/o a la Comisión Nacional del Agua, cada uno en su ámbito de competencia.

A su vez el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales dispone diversos mecanismos para la protección del agua subterránea en los artículos 134, 150, 151 y 156.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) dispone, en el Título cuarto, capítulo III, denominado Prevención y control de la contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos, varios ordenamientos referentes al tema que nos ocupa, entre los que destaca el artículo 117:

*«Para la prevención y control de la contaminación del agua se consideran los siguientes criterios:*

- I. La prevención y control de la contaminación del agua, es fundamental para evitar que se reduzca su disponibilidad y para proteger los ecosistemas del país;*
- II. Corresponde al Estado y la sociedad prevenir la contaminación de ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos y corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo;*
- III. El aprovechamiento del agua en actividades productivas susceptibles de producir su contaminación, conlleva la responsabilidad del tratamiento de las descargas, para reintegrarla en condiciones adecuadas para su utilización en otras actividades y para mantener el equilibrio de los ecosistemas;*
- IV. Las aguas residuales de origen urbano deben recibir tratamiento previo a su descarga en ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo, y*
- V. La participación y corresponsabilidad de la sociedad es condición indispensable para evitar la contaminación del agua.».*

### **1.4.2 Ámbito Estatal**

El Programa de Ordenamiento Ecológico de Baja California constituye una propuesta de ordenamiento ecológico que considera las dimensiones sociales, naturales, económicas y políticas del territorio, con la finalidad de mejorar la calidad de vida y las condiciones de existencia de la población. Dentro de los lineamientos ambientales generales del Programa, los cuales son aplicables para toda el área de ordenamiento (el estado) y para cualquier tipo de obra y actividad que se desarrolle en el territorio sujeto de ordenamiento, están:

#### Recurso Agua

- *No se permiten edificaciones ni el establecimiento de asentamientos humanos en áreas de recarga de acuíferos.*
- *Se prohíbe alterar áreas esenciales para los procesos de recarga de acuíferos.*
- *En el desarrollo de obras y actividades en cauces, se evitará la afectación al lecho de ríos, arroyos y a los procesos de recarga de acuíferos.*

#### Manejo y conservación de recursos naturales

- *No se permitirá la expansión de las áreas urbanas [...] hacia las zonas de recarga de acuíferos.*

### **1.4.3 Ámbito Municipal**

El Reglamento de Protección al Ambiente para el Municipio de Tijuana establece, en el artículo 88, los principios que deben considerarse para impulsar el aprovechamiento racional y uso adecuado del agua que se utilice en el municipio, entre los que se encuentra:

*«Para el incremento de la calidad y cantidad del agua se requiere donde sea posible, la mitigación de los fenómenos de erosión del suelo y evaporación, la protección de los suelos en general, y de las zonas de recarga de los acuíferos, y la captación y aprovechamiento de las aguas pluviales. »*

El Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Tijuana (PDUCPT) 2002-2025, propone como objetivos particulares referentes al medio ambiente:

- *Proteger las zonas de recarga acuífera principalmente en los arroyos Alamar, Florido, Matanuco, Valle de las Palmas, San Antonio y desarrollarlos como corredores ecológicos.*
- *Crear un sistema de áreas verdes que integre todos los ríos y arroyos como corredores ecológicos conectados con avenidas reforestadas que a su vez ligen las áreas verdes de la ciudad.*

En su Programa de Medio Ambiente, el PDUCPT 2002-2025 contempla impulsar el programa de protección de cuencas, subcuencas, arroyos y zonas federales.

## 1.5 LA EVALUACIÓN DE ACTITUDES

Las actitudes están relacionadas con el comportamiento que mantienen los individuos en torno a los objetos a que hacen referencia. Aunque las actitudes son solo un indicador de la conducta, y no la conducta en si, son un buen indicio del modo de actuar de los individuos. Es decir, la actitud favorable de un grupo de personas hacia la protección de un acuífero, no significa que estas personas están adoptando acciones para proteger el acuífero, pero si es un indicador de que pueden ir las adoptando paulatinamente (Hernández *et al.*, 1991).

La teoría psicológica define a las actitudes como las predisposiciones a responder de una determinada manera con reacciones favorables o desfavorables hacia algo. Se pueden diferenciar tres dimensiones que organizan la actitud: cognitiva, afectiva y conductual. El componente cognitivo incluye las creencias que se tienen acerca de un objeto; el componente afectivo tiene que ver con la sensación de agrado o desagrado del objeto; y, el componente conductual «controla» el comportamiento del individuo hacia el objeto (Elejabarrieta, 1984).

Debido a que no es posible observar las actitudes directamente, su existencia e intensidad se deben inferir de lo que puede ser observado. Es decir, se deben elegir conductas que sean aceptables como base de inferencia de las actitudes, comúnmente se utiliza la información que el individuo proporciona sobre sus creencias, sentimientos y conductas hacia un objeto de actitud, por medio de las escalas de actitud (Eisenberg, 2000). De los tres componentes de la actitud, las escalas únicamente miden la dimensión afectiva. Por tanto, medir una actitud es ordenar un grupo de individuos según sean más o menos favorables a cierto objeto (Elejabarrieta, 1984).

Una escala de actitud consiste en una serie de frases o afirmaciones cuidadosamente seleccionadas, de forma que constituyan un criterio válido, fiable y preciso para medir la actitud objeto de estudio, en este caso, la actitud hacia la protección del acuífero del Arroyo Alamar. El propósito de una escala de actitudes es asignar a un individuo un valor numérico en algún punto entre los dos extremos de la escala (Eisenberg, 2000).

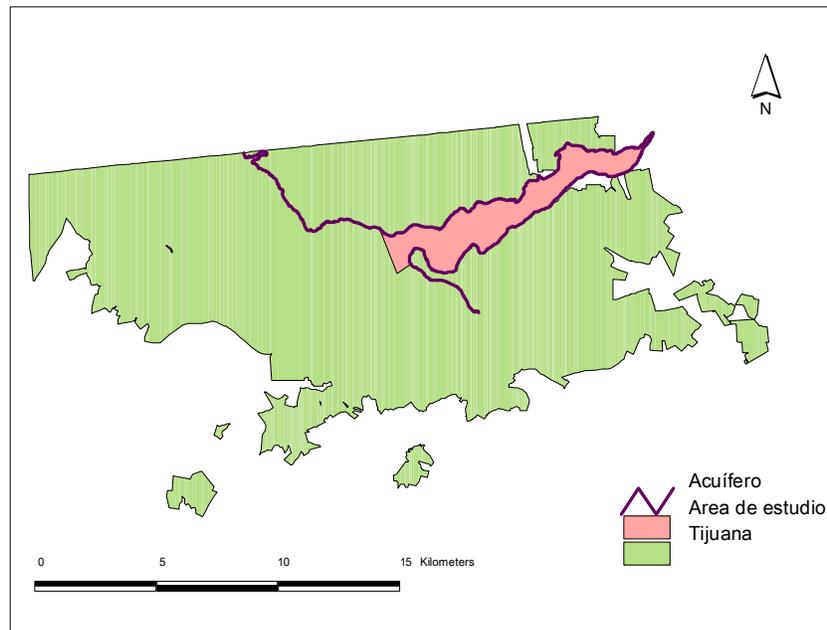


El Arroyo Alamar tiene su origen en los Estados Unidos, en donde se denomina Arroyo Cottonwood, éste recibe las aguas del Río Tecate dentro de territorio estadounidense y cambia de nombre a Río Tijuana antes de cruzar la frontera con México. Una vez en territorio Mexicano, recibe el nombre de Arroyo Alamar y fluye en dirección oeste, recorre la ciudad de Tijuana en un tramo de aproximadamente 10 km, desde el puente Cañón del Padre hasta el tramo revestido de concreto ubicado a la altura de la central camionera de Tijuana. Un poco más adelante se une con el Río Las Palmas para formar el Río Tijuana y finalmente desembocar al océano Pacífico en Imperial Beach, en el Condado de San Diego (Ponce, 2001).

El Arroyo Alamar cuenta con 9.8 km de longitud, está encauzado en un tramo de 2.5 km, con una capacidad de conducción de 1720 m<sup>3</sup>/s. Está dividido físicamente en tres zonas por los Bulevares Manuel J. Clouthier y Terán Terán (Espinoza *et al.*, 2004). Bajo el Arroyo Alamar yace un acuífero de tipo libre que forma parte del Acuífero Tijuana el cual se encuentra en equilibrio con una recarga media anual de 19 Mm<sup>3</sup> y una extracción de 17 Mm<sup>3</sup> lo que da como resultado 2 Mm<sup>3</sup> disponibles (CEA, 2003). En el área de estudio existían, hasta 1990, 167 obras de aprovechamiento de agua subterránea correspondientes a 29 pozos y 138 norias, de estos, 7 pozos fueron concesión de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT) y el resto de particulares. Del total de obras de aprovechamiento únicamente 8 están activas (CNA, 1999). Actualmente la CESPT mantiene en operación solamente un pozo, identificado como «Pozo No.3», cuyo volumen autorizado de explotación anual es de 630,700 m<sup>3</sup>, los 6 pozos restantes que fueron operados por CESPT, en la zona del Alamar, se dieron de baja en el año de 1991 debido a que la calidad del agua extraída no era adecuada para uso y consumo humano. Según informes de la CESPT, en el año 2005 el volumen de agua extraído del pozo No. 3 fue de 383,258 m<sup>3</sup> y hasta el mes de julio del 2006 se habían extraído 122,737 m<sup>3</sup>, sin embargo, debido a que la calidad del agua subterránea no

cumple con los límites máximos permitidos en la NOM-127-SSA1-1994 se hace necesario enviarla a la planta potabilizadora «Monte de Los Olivos» para su tratamiento (CESPT, 2006).

Figura 2.2 Área de estudio



De acuerdo con el Programa de Ordenamiento Ecológico de Baja California, la zona de estudio pertenece a la Unidad de Gestión Ambiental UGA-2 que comprende la mancha urbana de Ensenada y la conurbación formada por las ciudades de Tijuana, Tecate y Playas de Rosarito. Para esta unidad de gestión aplica la política de aprovechamiento con consolidación. Dentro de la UGA-2, el área urbana de Tijuana pertenece al subsistema 1.2.Ti.3.2.a-5 cuya política particular es el aprovechamiento con consolidación urbano. La política de aprovechamiento con consolidación se aplica en áreas donde existe concentración de la población. Son zonas muy dinámicas que han alcanzado un desarrollo económico aceptable y donde existe concentración del desarrollo urbano y de las actividades productivas, por lo que se requiere aplicar medidas tendientes a fortalecer y

asegurar el uso adecuado del territorio en función de criterios económicos, urbanos, ecológicos y sus correspondientes ordenamientos y normas, para minimizar los efectos nocivos en el medio ambiente.

### 2.1.2 Clima

El clima de Tijuana es seco templado, de tipo mediterráneo, con una temperatura promedio de 18.1 °C (INEGI, 2005). La temperatura máxima es de 23 °C y la mínima de 10 °C (Tabla 2.1). El período de lluvias es invernal, durante los meses de noviembre a abril se registra el 91% del total de la precipitación anual que en promedio es de 270.2 mm (INEGI, 2005). En la Tabla 2.2 se muestra la precipitación total mensual para el período 1983 - 2004. En el verano se registra una insolación que va de 250 a 575 cal/cm<sup>2</sup>/día. Esta radiación solar eleva las temperaturas al mediodía por arriba de los 26 °C, mientras que en invierno las masas de aire polar marítimo favorecen los días nublados que atemperan el clima de la región. La tasa de evaporación anual es alta, la media es de 161 cm por año. El promedio de evaporación mensual máximo ocurre en julio con 19 cm y el mínimo se da en diciembre con 7 cm (IMPLAN, 2002).

Tabla 2.1 Temperatura media mensual (grados centígrados)

Estación/Concepto	Período	MES											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Presa Rodríguez	2004	13.3	13.4	17.0	17.7	20.5	20.2	23.2	22.9	23.3	18.3	14.4	13.7
Promedio	1983-2004	14.0	14.3	15.1	16.7	18.7	20.5	22.2	23.6	22.6	19.7	16.2	13.6
Año más frío	1998	13.6	13.0	14.6	14.8	16.7	19.1	28.2	25.1	22.2	19.3	15.5	12.3
Año más caluroso	1996	18.6	20.5	15.9	19.0	20.8	21.9	23.4	24.9	22.6	19.1	16.7	15.4

Fuente: INEGI, 2005.

Estos patrones de comportamiento meteorológico se interrumpen cuando soplan los vientos provenientes del norte, secos y calientes, conocidos como «condición Santa Ana». Este fenómeno se caracteriza por vientos fuertes provenientes del noreste, pasando por las montañas con dirección al mar, lo que ocasiona movimientos de masas de aire de tierra. Esta condición puede ocurrir por períodos que van desde algunos días a semanas al año (IMPLAN, 2002).

Tabla 2.2 Precipitación total mensual (milímetros)

Estación/Concepto	Período	MES											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Presa Rodríguez	2004	8.6	97.0	10.6	18.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	207.9	10.5	77.6
Promedio	1983-2004	48.5	63.4	49.8	18.7	3.2	0.9	0.9	1.9	4.9	20.6	19.3	38.1
Año más seco	1989	8.4	12.2	28.3	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	2.9	0.0	6.0
Año más lluvioso	1998	47.7	244.1	80.5	38.0	25.1	0.6	0.0	18.6	1.2	0.8	17.4	21.6

Fuente: INEGI, 2005.

### 2.1.3 Flora

El municipio de Tijuana pertenece a la región fitogeográfica californiana o mediterránea. Las comunidades vegetales más representativas en esta región son matorral costero, chaparral y vegetación riparia (IMPLAN, 2002).

La flora del Arroyo Alamar presenta una alta diversidad de plantas nativas y gran cantidad de plantas introducidas. No se encuentran plantas endémicas, raras y/o en peligro listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2001. La vegetación climática del Arroyo Alamar es de tipo riparia. La vegetación nativa está formada por especies de árboles como «sauces» (*Salix* spp.), «álamos»

(*Populus fremontii*) y «alisos» (*Platanus racemosa*) que, con excepción de los sauces, han desaparecido casi completamente. En la actualidad, la vegetación del Arroyo Alamar está integrada por tres estratos, arbóreo (*Salix goodingii* y *Salix lasiolepis*), arbustivo (*Bacharis glutinosa* y *Bacharis sarothroides*) y herbáceo, existen además algunas plantas acuáticas y semiacuáticas (Delgadillo, 2003).

#### **2.1.4 Geología**

Los materiales geológicos predominantes en Tijuana son de tipo sedimentario, jóvenes, y, muy poco consolidados. En las márgenes del Arroyo Alamar se encuentran rocas sedimentarias tipo arenisca-conglomerado, poco consolidado, de baja plasticidad y permeable; se le relaciona con los movimientos de laderas. La edad probable estimada de estos es del plioceno tardío. Se encuentran también conglomerados medianamente consolidados, permeables y de baja plasticidad, cuya edad estimada es del plioceno y del mioceno (IMPLAN, 2002).

En el cauce del Arroyo Alamar se pueden encontrar aluviones y areniscas. El aluvión consiste en depósitos limosos, arenosos y de guijarros permeables pobremente consolidados del cuaternario. Las areniscas son poco consolidadas, susceptibles a la erosión y de naturaleza permeable, con edad probable entre el Mioceno y el Cuaternario (IMPLAN, 2002).

#### **2.1.5 Edafología**

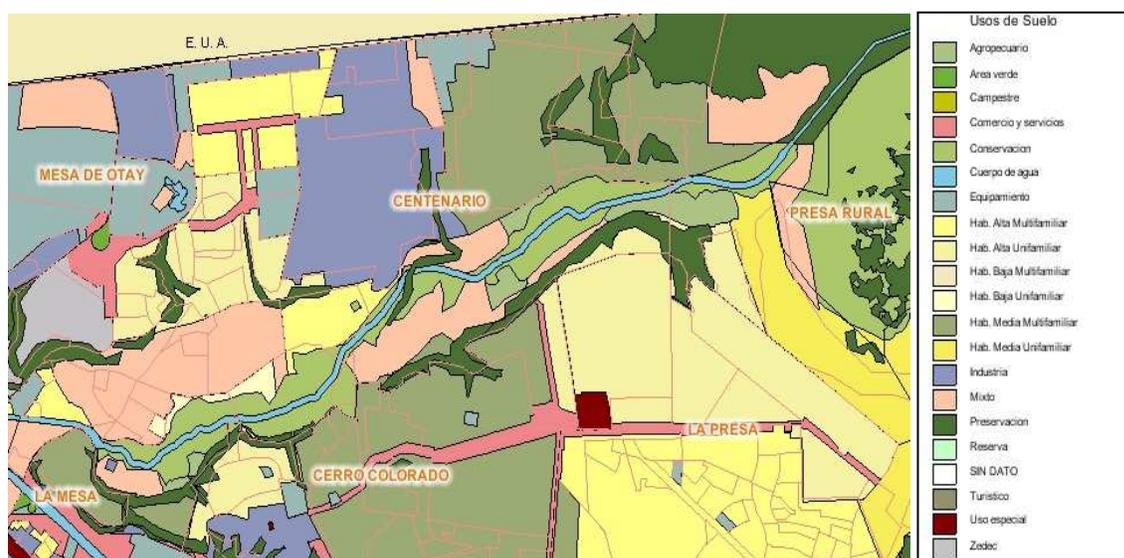
El municipio de Tijuana cuenta con suelos producto de la erosión de rocas graníticas, típicas de las sierras colindantes, que en general son de tipo arenoso, grueso y medio. En el Arroyo Alamar se pueden encontrar suelos aluviales licuables (tipo inorgánico), que consisten en la acumulación de

material proveniente de áreas de erosión, principalmente arenas de grano medio a fino, limos de baja compacidad, con capas delgadas de limos plásticos y arcillas. Así mismo, en la margen del arroyo se encuentran suelos de origen fluvial, que son una mezcla de arenas finas y limos arcillosos en proporciones variables. Hay también conglomerados de boleos y grava de grano grueso y consistencia pegajosa, altamente erosionable a causa del agua; con tendencia al desprendimiento y resistencia media (IMPLAN, 2002).

### 2.1.6 Uso del suelo

De acuerdo con la carta urbana 2002-2025, en la zona de estudio coexisten los usos, mixto, habitacional, conservación y preservación (Figura 2.3). Estos últimos corresponden a las márgenes del arroyo. Sin embargo, el área destinada a conservación se encuentra, en su mayoría, ocupada por asentamientos irregulares, se pueden encontrar también varias parcelas con siembra de hortalizas, algunos establos, una granja porcícola y una ladrillera.

Figura 2.3. Usos del suelo en el área de estudio



Algunas de las categorías de clasificación de los usos del suelo contempladas en la carta urbana son:

Habitacional.- está destinado a la construcción de viviendas unifamiliares o conjuntos habitacionales, que cuentan con los servicios necesarios para cumplir con su función.

Mixto.- son la mezcla de los diferentes usos y actividades que pueden coexistir desarrollando funciones complementarias o compatibles y se generan a través de corredores urbanos y en parte o en la totalidad de las unidades territoriales. Los usos mixtos se clasifican en:

- Habitacional y como complementario y/o compatible el uso comercial y de servicios.
- Habitacional y como complementario y/o compatible el uso industrial.
- Industrial y como complementario el uso comercial.

Industrial.- son aquellos dedicados a alojar instalaciones para actividades de manufactura y transformación de productos y bienes de consumo, en actividades propias del sector secundario (extracción y transformación).

Conservación.- se refiere a zonas del centro de población cuya fisonomía y valores, tanto naturales como culturales, forman parte de un legado natural, histórico o artístico y que por tanto requieren la aplicación de condicionantes para asegurar su conservación y mantenimiento.

Preservación.- se refiere a zonas que contienen elementos naturales y fisiográficos que en si mismos se constituyen en un patrimonio natural por su escasez, valor o importancia para mantener las funciones ambientales, ciclos ecológicos e hidrológicos de gran valor para la región, que

deberán preservarse con la finalidad de evitar el avance de la desertificación y el deterioro ambiental. En estas zonas no es factible el desarrollo urbano, y solo se admiten actividades ligadas con la educación ambiental, la investigación científica o el ecoturismo de observación de bajo impacto, bajo la adopción de modalidades y limitaciones que se determinen en los Planes de manejo y el Programa de Ordenamiento Ecológico local. Las áreas que se consideran en este rubro son: la zona de playa, los acantilados rocosos, las sierras y montañas, los cauces y riveras de ríos y arroyos, los vasos de las presas y cuerpos de agua, las zonas con vegetación endémica, rara o en peligro de extinción, las zonas de recarga acuífera, las zonas declaradas de alto riesgo, o que representen peligros permanentes o eventuales para los asentamientos humanos.

### **2.1.7 Contaminación**

Las fuentes principales de contaminación del Arroyo Alamar entre otras son: los escurrimientos superficiales de aguas residuales generadas por los asentamientos humanos irregulares *insitu* que carecen de drenaje sanitario; las descargas del Río Tecate provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Tecate y de la cervecería Tecate (IMPLAN, 2002; CNA, 1997); los residuos sólidos domésticos e industriales que, debido a la falta de vigilancia son depositados en el cauce del arroyo dando origen a tiraderos clandestinos. La disposición inadecuada de dichos residuos favorece la contaminación del suelo y del manto freático. El impacto negativo sobre la calidad del agua subterránea da como resultado un agua no apta para uso y consumo humano (Wakida *et al*, 2005).

## **2.2 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS**

### **2.2.1 Población**

El área de estudio comprende, en forma total o parcial, 18 colonias, ubicadas en las delegaciones de La Mesa, Centenario y Cerro Colorado. De acuerdo con los resultados del XII Censo General de Población y Vivienda (INEGI, 2000), estas colonias cuentan con una población total de 44,898 habitantes, de los cuales el 49.73% son mujeres y el 50.27% hombres. El 60.62% de esta población es mayor de 15 años y el 41.92% corresponde a la población ocupada. En el área existen un total de 10,824 viviendas habitadas.

### **2.2.2 Evolución de los asentamientos irregulares**

El Arroyo Alamar se ha caracterizado por la presencia de asentamientos irregulares sobre la zona federal. Sin duda, este fenómeno es proporcional al fenómeno de migración que se presenta en la ciudad de Tijuana. El Arroyo Alamar ha sido históricamente, uno de los espacios de la ciudad más susceptibles a los asentamientos irregulares, debido a la ausencia de control y vigilancia de la zona federal dentro del ámbito municipal. Los primeros asentamientos ocurrieron en la década de 1930, sin embargo, es a finales de los años 1950 cuando la inmigración se vuelve permanente y a partir de 1980 el aumento de población es notable hasta alcanzar un máximo a mediados de la década de 1990. Posterior a esta fecha el número de asentamientos disminuye, probablemente a causa de la reducción de predios disponibles (Espinoza *et al*, 2004).

### **2.2.3 Ocupación de la población económicamente activa**

De acuerdo con el censo del 2000, el 76.28% de la población ocupada que habita en el área de estudio trabaja como empleado u obrero. Un amplio porcentaje de la población económicamente activa que habita en la zona del Alamar se emplea en el sector secundario y terciario de la economía, en su mayoría la industria maquiladora cercana a los asentamientos irregulares (Espinoza *et al*, 2004). También se observa en esta zona gran número de pequeñas tiendas de abarrotes.

## **2.3 ESTUDIOS PREVIOS EN LA ZONA**

La Comisión Nacional del Agua (1993) realizó un estudio hidrológico de la cuenca del Arroyo Alamar en el que concentra datos estadísticos y generalidades físicas de la hidrología superficial. A su vez, diversos autores han trabajado sobre este tema en varios sentidos, Ponce (2001) calculó las descargas de avenida para los períodos de retorno de 2 a 1000 años. El objetivo principal de su investigación fue modelar el proceso de precipitación-escorrentía para el Arroyo Alamar. Un objetivo secundario fue estimar, mediante modelación hidrológica, el volumen de recarga del acuífero que se perdería si el canal se revistiera con concreto. En 2004 el mismo autor, realizó un análisis granulométrico de muestras de suelo del Arroyo Alamar, encontrando predominantemente arenas pobremente graduadas con grava, algunas arenas bien graduadas y algunas arenas con bajo contenido de limos.

Por su parte, Delgadillo (2003) hace una descripción de la vegetación del Arroyo Alamar dividiéndolo en tres zonas, zona I, que va desde el inicio de su canalización por concreto hasta el puente de la carretera de cuota a Tecate; zona II, que va desde el puente de la carretera de cuota a Tecate hasta la parte Este de la ciudad de Tecate; y zona III, del Oeste de Tecate hacia las montañas.

Recientemente, Wakida *et al.*, (2005) determinaron el nivel de contaminación del acuífero adyacente al Arroyo Alamar e hicieron una evaluación preliminar de la relación entre la contaminación del agua superficial y la contaminación del agua subterránea. Algunos de los parámetros evaluados fueron sólidos disueltos totales, demanda química de oxígeno, nitratos, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, sulfatos, fosfatos, hierro total, aluminio y coliformes totales.

En el ámbito socioeconómico, Espinoza *et al.*, (2004), llevaron a cabo una encuesta a fin de conocer el nivel social y económico de la población asentada en la zona. El cuestionario incluyó tres categorías de análisis: 1) categoría social, incorpora las variables edad, sexo, número de habitantes por vivienda, lugar de origen, nivel de escolaridad y años de residencia; 2) categoría económica, incluye las variables lugar de trabajo, actividad laboral y salario; y 3) categoría espacial, que comprende variables de la vivienda como, material del techo, de las paredes y del piso, y variables de infraestructura, suministro de agua, electricidad, drenaje sanitario, densidad de población y preferencia de actividades en el área de inundación del arroyo.

Este trabajo usa técnicas geohidrológicas en lo referente a la protección de acuíferos, así como técnicas de las ciencias sociales en lo referente a las actitudes sociales, por lo que se trata de un trabajo interdisciplinario que conjunta técnicas del medio físico y herramientas de investigación de las ciencias sociales.

# CAPÍTULO 3

## ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO

### 3.1 MÉTODO DRASTIC

Para evaluar la vulnerabilidad del acuífero se utilizó el método DRASTIC, el cual es un método empírico desarrollado por Aller *et al.*, en 1987. Este método se desarrolló a través de financiamiento de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) en Estados Unidos y se ha utilizado en diversos estudios en Estados Unidos, Canadá, México, África del Sur y la Unión Europea (Fallas, 2003). Este método busca sistematizar la determinación del potencial de los contaminantes de alcanzar la zona saturada (Agiüero y Pujol, 2002). La técnica DRASTIC se denomina así por las siglas en inglés de los siete parámetros que se consideran para determinar la vulnerabilidad, estos son:

D: Profundidad del agua subterránea (*Depth to water*)

R: Tasa de recarga (*Net recharge*)

A: Litología del acuífero (*Aquifer media*)

S: Tipo de suelo (*Soil media*)

T: Topografía (*Topography*)

I: Impacto de la zona vadosa (*Impact of vadose zone*)

C: Conductividad hidráulica del acuífero (*Hydraulic conductivity of the aquifer*)

El método posee tres supuestos importantes:

- 1) el contaminante es colocado sobre la superficie del suelo;
- 2) el contaminante es transportado a la zona saturada por la precipitación; y,
- 3) el contaminante una vez en el acuífero se mueve.

El método asigna *valores* que varían de 1 a 10. Estos denotan la importancia relativa de la vulnerabilidad en cada parámetro. El valor 1 indica la mínima vulnerabilidad y el 10 la máxima. A su vez, cada parámetro tiene un *peso* que determina su nivel de importancia con respecto a los otros parámetros. Los pesos van de 1 a 5, su distribución se muestra en la tabla 3.1. Para el cálculo de la contribución al índice de vulnerabilidad de un parámetro dado: se multiplica el *valor* (varía de 1 a 10) del parámetro con su *peso* respectivo. El índice de vulnerabilidad es la suma de los productos de los siete parámetros. Este proceso se realiza en cada celda en que se divida la zona de estudio. Considerando los niveles de variación teórica en los *valores* de cada parámetro, así como el *peso* de éstos, el índice de vulnerabilidad varía entre 23 y 230 (Auge, 2004; Aller, et al. 1987).

Lo indicado arriba se reduce a:

$$\text{Índice de Vulnerabilidad} = D_R D_W + R_R R_W + A_R A_W + S_R S_W + T_R T_W + I_R I_W + C_R C_W$$

Donde el subíndice R denota el *valor* y W el *peso*.

Mediante el método DRASTIC se determina el índice de vulnerabilidad para una zona dada. Este índice expresado a través de un mapa adquiere un sentido significativo, ya que permite observar las porciones de la zona con valores semejantes, diferentes, con mayor intensidad, con menor intensidad e igual valor de índice (Auge, 2004). Esto es importante como un insumo a los tomadores de decisiones para que diseñen políticas públicas sustentables, ya que el mapa de vulnerabilidad les mostrará en forma esquemática como es la vulnerabilidad a la contaminación en el acuífero, indicándole ineluctablemente las zonas que requieren de mayores cuidados, generándose así políticas de planeación y planes de manejo tendientes a evitar la contaminación del acuífero.

Tabla 3.1 Asignación de pesos para los parámetros DRASTIC

Parámetro	Peso
Profundidad del agua subterránea	5
Tasa de recarga	4
Litología del acuífero	3
Tipo de suelo	2
Topografía	1
Impacto de la zona vadosa	5
Conductividad hidráulica del acuífero	3

El método DRASTIC y la forma en que se obtienen los parámetros se describe esquemáticamente en la figura 3.1

## 3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS DRASTIC

### 3.2.1 Profundidad del agua subterránea

Es la distancia que hay desde la superficie del suelo hasta el nivel del agua subterránea. Este parámetro es importante en primer lugar porque determina la distancia que debe recorrer el contaminante para alcanzar el acuífero y, en segundo lugar porque provee la oportunidad para que se efectúen diversos procesos físicos, químicos, biológicos o una combinación de éstos que permitan atenuar un contaminante, por ejemplo el proceso de oxidación. A mayor profundidad del agua, mayor será el tiempo de viaje del contaminante y mayor la oportunidad de que se oxide en el

trayecto, en otras palabras, los acuíferos superficiales son más susceptibles a la contaminación que los acuíferos profundos (Aller *et al.*, 1987; Fallas, 2003).

Figura 3.1 Descripción esquemática del método DRASTIC  
(Tomado de Agüero y Pujol, 2002)

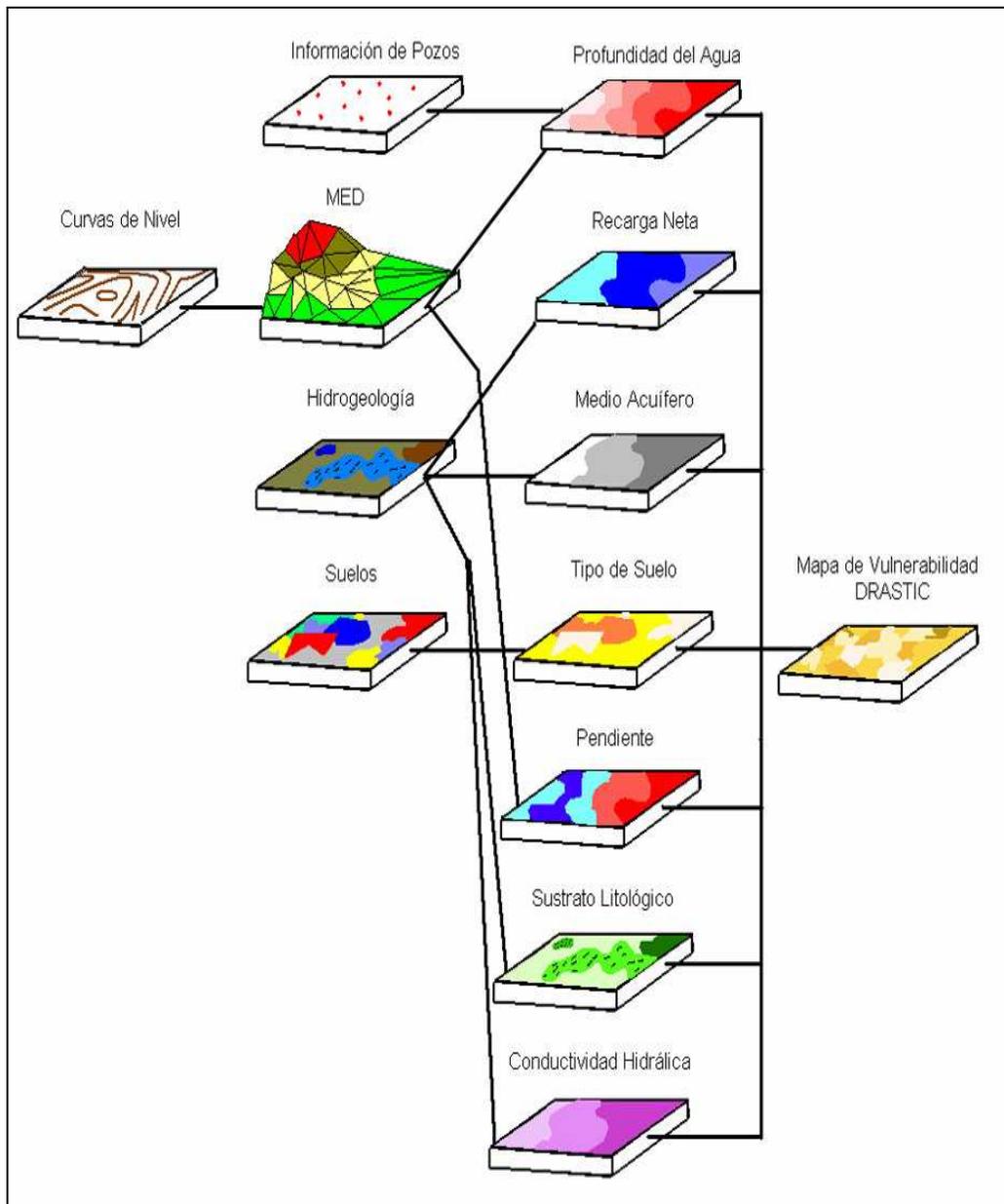


Tabla 3.2 Rangos y valores para la profundidad del agua

<b>Profundidad del agua</b>	
<b>Rango (m)</b>	<b>Valor</b>
0 – 2	10
2 – 5	9
5 - 9	7
9 - 15	5
15 – 23	3
23 – 30	2
>30	1
	<b>Peso: 5</b>

### 3.2.2 Tasa de recarga

Representa la cantidad de agua por unidad de área que se infiltra al acuífero, dicha recarga puede ser natural (precipitación) o inducida (irrigación). El agua de recarga, al caer o ser colocada sobre la superficie del suelo y encontrarse en él un contaminante, lo diluirá o incluso si el contaminante está fragmentado en partículas pequeñas lo arrastrará y por la acción de la gravedad comenzará su viaje descendente hacia la zona saturada, una vez allí, iniciará su desplazamiento dentro del acuífero conforme a las leyes de la hidráulica del medio saturado, generándose durante el viaje del agua de recarga diversos fenómenos de transporte como la advección, dispersión y difusión. Entre mayor sea la recarga mayor es la posibilidad de que los contaminantes ingresen al acuífero (Aller *et al.*, 1987; Fallas, 2003).

Tabla 3.3 Rangos y valores para la tasa de recarga

<b>Tasa de Recarga</b>	
<b>Rango (mm)</b>	<b>Valor</b>
0 – 50	1
50 – 100	3
100 - 175	6
175 - 250	8
>250	9
	<b>Peso: 4</b>

### 3.2.3 Litología del acuífero

Se refiere al material geológico del que está constituido el acuífero. El material se diferencia por su grado de consolidación: consolidado o no consolidado. El agua de los acuíferos se mantiene en los espacios porosos de las rocas granulares y clásticas, y en las fracturas o aperturas de las rocas no-granulares y no-clásticas. Las rocas que almacenan agua en sus espacios porosos se dice que tienen porosidad primaria, las rocas en las que el agua se encuentra en las fracturas o aperturas creadas después de la formación de la roca tienen porosidad secundaria. La litología del acuífero determina la velocidad a la que se desplazará el agua y la ruta que seguirá un contaminante a través del mismo. Entre más fracturas o aperturas tenga el acuífero, tendrá mayor permeabilidad y menor capacidad de atenuación, en consecuencia mayor potencial de contaminación (Aller *et al.*, 1987).

Este parámetro se clasifica según el tamaño, textura y características hidráulicas de los materiales que lo constituyen, la lista se detalla a continuación en orden creciente de potencial de contaminación:

- a) *Lutita masiva*.- capas delgadas de lutita, rocas arcillosas o arcillas las cuales ceden solamente pequeñas cantidades de agua en zonas de fracturas.
- b) *Rocas metamórficas / ígneas*.- lechos rocosos de origen ígneo o metamórfico con poca o ninguna porosidad primaria que ceden agua solo a través de las fracturas que están dentro de la roca.
- c) *Rocas metamórficas / ígneas intemperizadas*.- material no consolidado con porosidad primaria, derivado por el intemperismo de los lechos rocosos adyacentes.
- d) *Till glacial*.- mezclas no consolidadas o semi-consolidadas de gravas, arenas, limos y arcillas que se encuentran pobremente estratificadas. Presenta baja permeabilidad.
- e) *Estratos de arenisca, caliza y lutita*.- son secuencias de estratos delgados de rocas sedimentarias con porosidad primaria.
- f) *Arenisca masiva*.- lecho rocoso de areniscas consolidadas con porosidad primaria y secundaria que se caracteriza por tener estratos más delgados que los de arenisca, caliza y lutita.
- g) *Caliza masiva*.- caliza consolidada o lecho rocoso de dolomita que se caracteriza por tener depósitos más delgados que la secuencia de arenisca, caliza y lutita.
- h) *Grava y arena*.- mezclas no consolidadas cuyo tamaño de partícula va de arena a grava y contiene cantidades variables de materiales finos.
- i) *Basalto*.- lecho de roca consolidada ígnea extrusiva, contiene planos de estratificaciones, fracturas y porosidad vesicular. El término se utiliza en sentido genérico aunque es un tipo de roca.
- j) *Caliza cárstica*.- lecho de roca caliza consolidada que se ha disuelto a tal punto que presenta fracturas y cavidades grandes, abiertas e interconectadas.

Tabla 3.4 Rangos y valores para la litología del acuífero

<b>Litología del Acuífero</b>		
<b>Rango</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor Típico</b>
Lutita masiva	1 - 3	2
Metamórfica/ígnea	2 - 5	3
Metamórfica/ígnea meteorizada	3 - 5	4
Till glacial	4 - 6	5
Estratos de arenisca, caliza y lutitas	5 - 9	6
Arenisca masiva	4 - 9	6
Caliza masiva	4 - 9	6
Grava y arena	4 - 9	8
Basalto	2 - 10	9
Caliza cárstica	9 - 10	10
<b>Peso: 3</b>		

Debido a que la litología de toda el área de estudio cae en el rango de Grava y Arena, se realizó una modificación de los valores de este parámetro con base en el contenido de arcilla, quedando como se muestra en la tabla 3.4 a.

Tabla 3.4a Rangos y valores modificados para la litología del acuífero

<b>Litología del Acuífero</b>	
<b>Rango</b>	<b>Valor</b>
Grava y arena con matriz arcillosa	4
Grava y arena con arcilla	5
Gravilla y arena con arcilla	6
Grava y arena ligeramente arcillosa	7
Gravilla y arena	8
Grava y arena	9
<b>Peso:3</b>	

### 3.2.4 Tipo de suelo

El suelo es la porción más superficial de la zona vadosa, se caracteriza por una actividad biológica significativa. El suelo tiene un impacto importante en la cantidad de agua que puede infiltrarse al subsuelo a través de la recarga y, por tanto, sobre la habilidad del contaminante para moverse vertical y horizontalmente en la zona vadosa. Más aún los procesos de atenuación como filtración, biodegradación y volatilización pueden ser más significativos en esta zona. El tipo de suelo (textura, capacidad de infiltración, conductividad hidráulica) determina la cantidad de agua que se infiltrará y llegará al acuífero, suelos arcillosos y limosos tienen baja capacidad de infiltración y una alta capacidad de retención y en consecuencia incrementan el tiempo de paso del agua en la zona no saturada (Aller *et al.*, 1987; Fallas, 2003).

A continuación se presenta una descripción de las características del suelo en orden creciente de potencial de contaminación:

- a) *Suelo no compactado o sin agregado de arcilla.*- arcillas ílíticas o kaolínicas que no se expanden ni contraen con la adición de agua.
- b) *Suelo franco de arcilla.*- su clasificación textural se caracteriza por 15-55% de limo, 27-40% de arcilla y 20-45% de arena.
- c) *Zafra.*- suelo fino y de color oscuro, formado por materia orgánica descompuesta con mayor contenido de minerales o cenizas que la turba.
- d) *Suelo franco de limo.*- se caracteriza por contener 50-85% de limo, 12-27% de arcilla y 0-50% de arena.
- e) *Suelo franco.*- se caracteriza por contener 25-50% de limo, 7-27% de arcilla y 0-50% de arena.

- f) *Suelo franco arenoso*.- caracterizado por contener 0-50% de limo, 0-20% de arcilla y 15-50% de arena.
- g) *Suelo compactado y/o con agregado de arcilla*.- se caracteriza por arcillas montmorilloníticas o smectitas que se hinchan y contraen con la variación de humedad.
- h) *Turba*.- consiste en restos de plantas no descompuestas o parcialmente descompuestas que están suficientemente frescas para ser identificadas.
- i) *Arena*.- partículas angulares o redondeadas con tamaño de 0.25 a 2.00 mm.
- j) *Gravas*.- partículas con tamaño mayor a 2.00 mm. Con frecuencia los suelos de grava contienen una mezcla de arena, limo, arcilla y grava en la que predominan las partículas de tamaño grande.
- k) *Suelo delgado o ausente*.- la capa de suelo no está presente o es tan delgada que se considera ineficiente para atenuar el contaminante. Se identifica cuando el perfil de suelo no alcanza los 250 mm de espesor.

Tabla 3.5 Rangos y valores para el tipo de suelo

<b>Tipo de suelo</b>	
<b>Rango</b>	<b>Valor</b>
Delgado o ausente	10
Grava	10
Arena	9
Turba	8
Compactado y/o con agregado de arcilla	7
Franco arenoso	6
Franco	5
Franco limoso	4

<b>Tipo de suelo</b>	
<b>Rango</b>	<b>Valor</b>
Franco arcilloso	3
Zafra	2
No compactado y/o sin agregado de arcilla	1
	<b>Peso: 2</b>

### 3.2.5 Topografía

Se refiere a la pendiente y a la variación de ésta en la superficie del suelo. La topografía ayuda a estimar la probabilidad de que un contaminante pueda escurrir o permanecer en la superficie en un área suficientemente grande como para infiltrarse. Con frecuencia se pueden inferir el gradiente y la dirección de flujo para el nivel freático a partir de la secuencia de pendientes del área. Típicamente, pendientes pronunciadas significan mayor velocidad del agua subterránea y por lo tanto menor tiempo para que el agua se infiltre (Aller *et al.*, 1987; Fallas, 2003).

Tabla 3.6 Rangos y valores para la topografía

<b>Topografía</b>	
<b>Rango (% de pendiente)</b>	<b>Valor</b>
0 – 2	10
2 – 6	9
6 – 12	5
12 – 18	3
>18	1
	<b>Peso: 1</b>

### 3.2.6 Impacto de la zona vadosa

La zona vadosa se define como la zona ubicada sobre el nivel freático y debajo del suelo, es la zona no saturada. Es en esta zona en donde ocurren los procesos de atenuación como biodegradación, neutralización, filtración, reacciones químicas y dispersión. Las características de esta zona también controlan la ruta que sigue el contaminante y afectan por lo tanto el tiempo disponible para los procesos de atenuación. Las texturas arcillosas tienden a reducir el tiempo de tránsito en tanto que texturas arenosas tienden a aumentar la velocidad de flujo (Aller *et al.*, 1987; Fallas, 2003).

Enseguida se presenta una descripción de la clasificación de éste parámetro en orden creciente de potencial de contaminación:

- a) *Capa confinante*.- se elige cuando se está evaluando un acuífero confinado. Una capa confinante representa una capa impermeable que restringe el movimiento del agua en el acuífero.
- b) *Limo / arcilla*.- un depósito de partículas del tamaño del limo y la arcilla sirve como barrera para retardar el movimiento del agua. Un contenido alto de arcilla proporciona un bajo potencial de contaminación.
- c) *Roca metamórfica / ígnea*.- roca consolidada de origen ígneo o metamórfico con porosidad primaria poco significativa y permite el movimiento del agua a través de fracturas.
- d) *Lutita*.- roca de arcilla consolidada con estratificaciones delgadas que puede estar fracturada. Su potencial de contaminación es bajo pero incrementa con el número de fracturas.
- e) *Caliza*.- caliza masiva consolidada o dolomita, generalmente contiene menos estratos que la caliza, arenisca y lutita estratificadas. El potencial de contaminación depende de la cantidad de fracturas.

- f) *Arenisca*.- roca de arena consolidada con porosidad primaria y secundaria, se caracteriza por tener estratos delgados en comparación con la caliza, arenisca y lutita estratificadas.
- g) *Caliza, arenisca y lutita estratificadas*.- se trata de secuencias de estratos delgados de roca sedimentaria con porosidad primaria, pero en donde el potencial de contaminación depende del número de fracturas.
- h) *Arena y grava con contenido significativo de limo y arcilla*.- mezclas no consolidadas de arena y grava que contienen material fino en cantidad apreciable. Estos depósitos tienen una alta concentración de arcilla, lo que reduce su permeabilidad. Comúnmente son conocidos como “sucios” y su potencial de contaminación es más bajo que las arenas y gravas “limpias”.
- i) *Arena y grava*.- mezclas no consolidadas de partículas de tamaño de arena a grava que contienen solo una pequeña cantidad de materiales finos. El potencial de contaminación depende del tamaño de partícula, en general, las partículas de mayor tamaño presentan un mayor potencial de contaminación que las partículas pequeñas.
- j) *Basalto*.- lecho rocoso consolidado ígneo extrusivo que contiene planos de estratificación, fracturas y porosidad vesicular. Es un caso especial de roca metamórfica / ígnea. El término se utiliza en sentido genérico aunque se trata de un tipo de roca. El potencial de contaminación está en función de la cantidad de aperturas interconectadas presentes.
- k) *Caliza cárstica*.- lecho de roca caliza consolidada la cual se ha disuelto a tal grado que presenta grandes cavidades abiertas y fracturas interconectadas. Se trata de un caso especial de caliza en donde el potencial de contaminación depende en gran medida de la cantidad de aperturas en la roca.

Tabla 3.7 Rangos y valores para el impacto de la zona vadosa

<b>Impacto de la zona vadosa</b>		
<b>Rango</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor Típico</b>
Capa confinante	1	1
Limo / arcilla	2 - 6	3
Lutita	2 - 5	3
Caliza	2 - 7	6
Rocas metamórficas / ígneas	2 - 8	4
Arenisca	4 - 8	6
Caliza, arenisca y lutita estratificada	4 - 8	6
Arena y grava con contenido significativo de limo y arcilla	4 - 8	6
Arena y grava	6 - 9	8
Basalto	2 - 10	9
Caliza cárstica	8 - 10	10
<b>Peso: 5</b>		

Debido a que la zona vadosa de toda el área de estudio cae en los rangos de *Arena y grava con contenido significativo de limo y arcilla*, y *Arena y Grava*, se realizó una modificación de los valores asignados a este parámetro quedando como se muestra en la tabla 3.7 a.

Tabla 3.7a. Rangos y valores modificados para el impacto de la zona vadosa

<b>Impacto de la zona vadosa</b>	
<b>Rango</b>	<b>Valor</b>
Grava y arena con matriz arcillosa	4
Grava y arena con arcilla	5
Gravilla y arena con arcilla	6
Grava, gravilla y arena ligeramente arcillosa	7
Grava, gravilla y arena	8
Grava y arena	9
	<b>Peso: 5</b>

### 3.2.7 Conductividad hidráulica del acuífero

Se refiere a la habilidad de los materiales del acuífero para transferir agua, es decir, controla la velocidad a la que el agua subterránea se moverá bajo un gradiente hidráulico determinado. La capacidad de movimiento del agua subterránea también controla el grado al que un contaminante se moverá en el acuífero. La conductividad hidráulica depende de la cantidad de interconexiones de espacios vacíos en el acuífero, lo cual ocurre como consecuencia de la porosidad intergranular, fracturamiento y planos de estratificación. A mayor conductividad hidráulica mayor velocidad de movimiento y por lo tanto, mayor potencial de contaminación del acuífero, ya que las plumas contaminantes se desplazarían y afectarían un mayor volumen (Aller *et al.*, 1987; Fallas, 2003).

Tabla 3.8 Rangos y valores para conductividad hidráulica

<b>Conductividad hidráulica</b>	
<b>Rango (m/día)</b>	<b>Valor</b>
0 – 4	1
4 – 12	2
12 – 28	4
28 – 41	6
41 - 81	8
>81	10
<b>Peso: 3</b>	

### **3.3 ELABORACIÓN DEL MAPA DE VULNERABILIDAD**

#### **3.3.1 Zonificación del área de estudio**

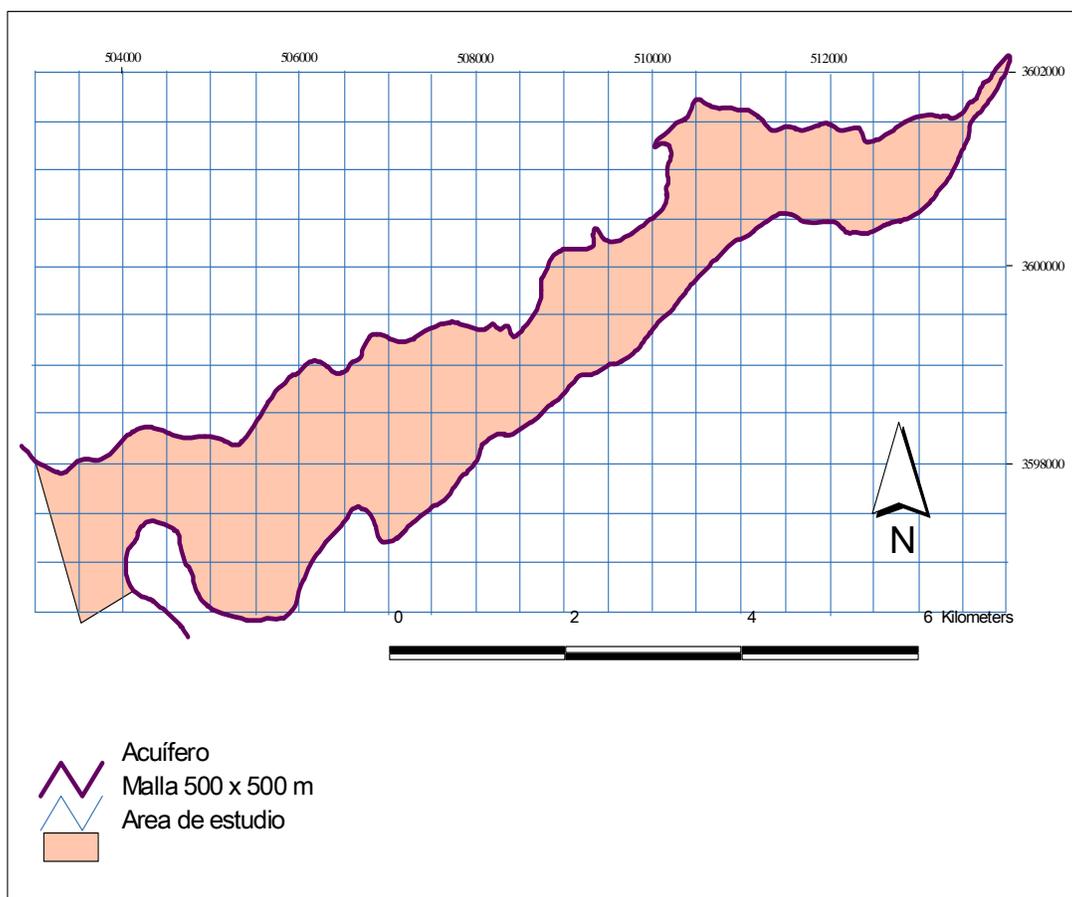
El área de estudio se dividió en celdas de 500 por 500 metros, a partir de un plano topográfico a escala 1:10,000 elaborado por la *Unidad de Sistema de Información Geográfica* del Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN). El plano se elaboró en la proyección cartográfica UTM considerando el datum horizontal WGS-84. De la zonificación se obtuvieron 89 celdas de 0.25 km<sup>2</sup> cada una (ver Mapa 3.1).

#### **3.3.2 Valoración de los parámetros DRASTIC**

A partir del acopio de la información hidrogeológica disponible se estimaron, en cada una de las 89 celdas en que fue dividida el área de estudio, los *valores* de los parámetros D, R, A, S, T, I, C; así como el índice de vulnerabilidad correspondiente a cada celda y a cada parámetro, generando,

mediante el programa Arc View GIS 3.3, siete mapas temáticos correspondientes a la contribución al índice de vulnerabilidad de los parámetros D, R, A, S, T, I, C; mismos que se muestran a continuación.

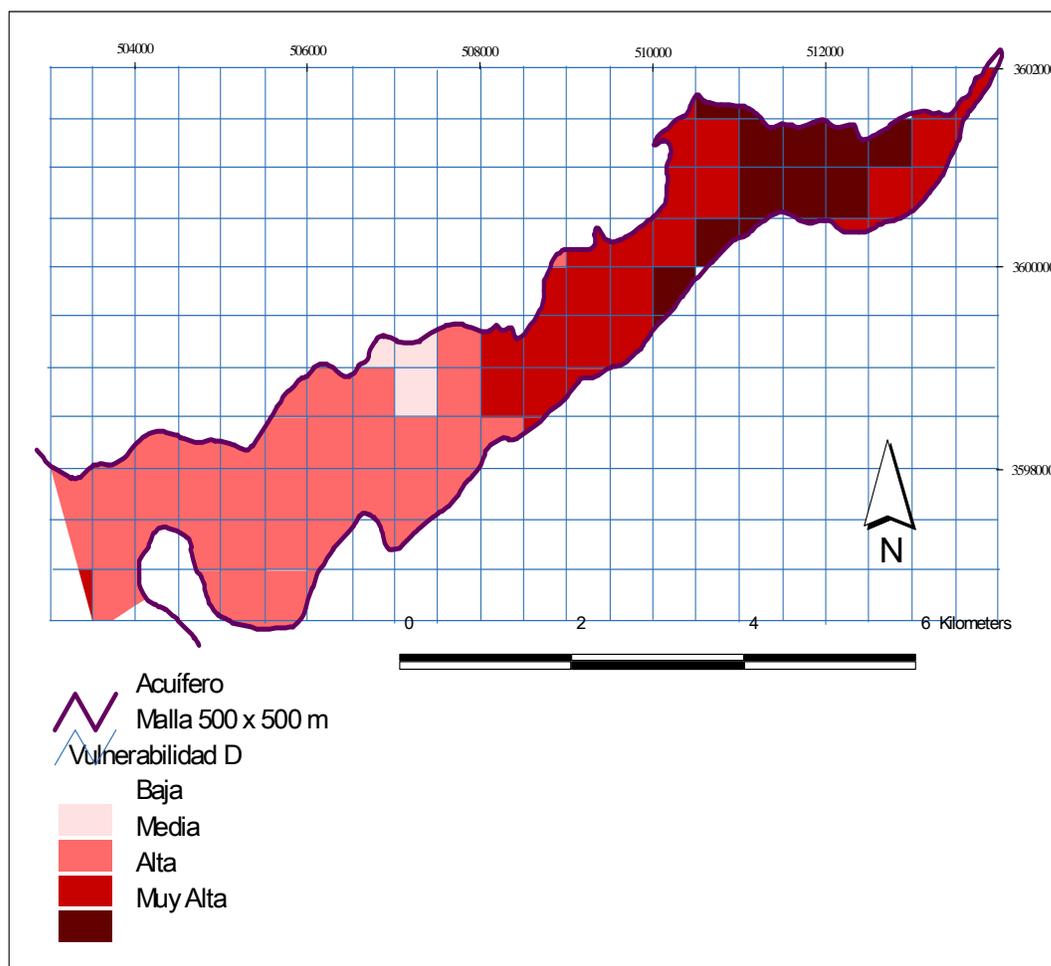
Mapa 3.1 Zonificación del área de estudio



***Profundidad del agua subterránea.*** Los datos para definir este parámetro fueron obtenidos de los planos de profundidad al nivel estático correspondientes a los años 1978, 1979, 1980, 1997 y 1999,

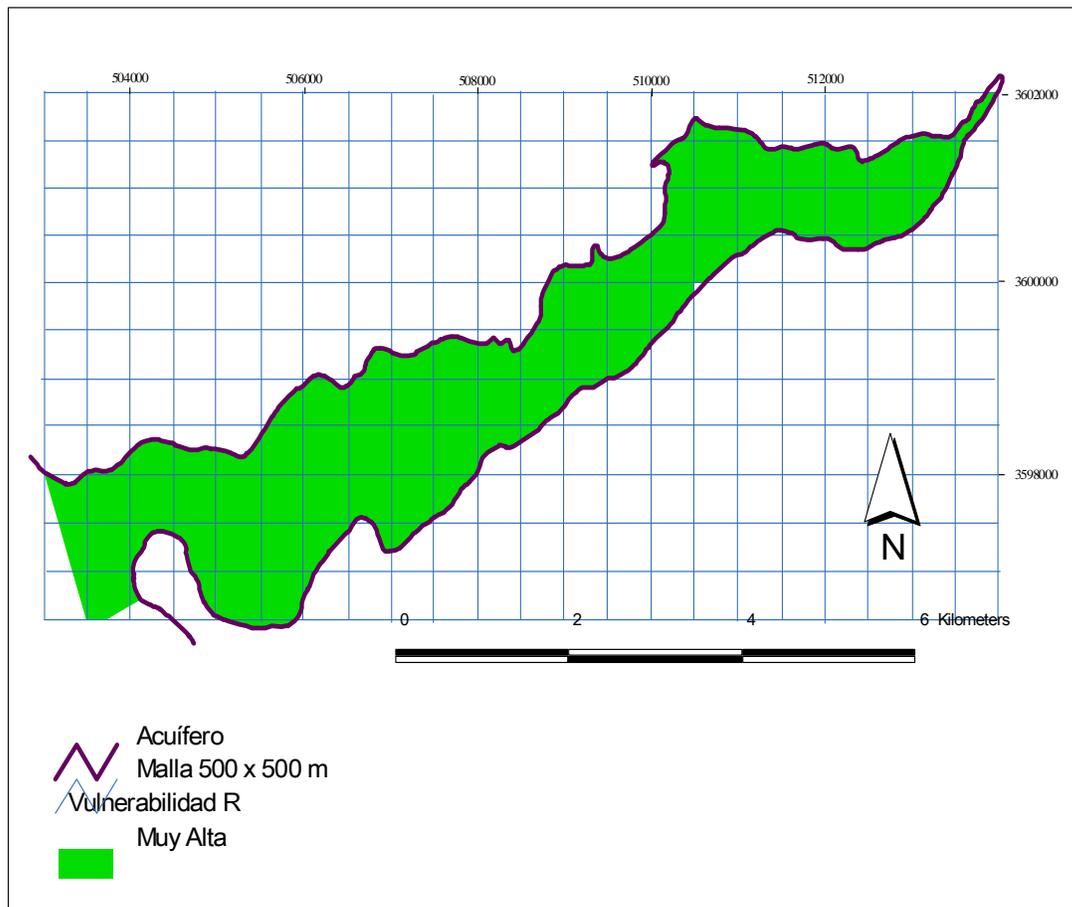
existentes en los estudios proporcionados por la Gerencia Regional en Baja California de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). La profundidad de los niveles estáticos varía de 2 a 10 m, comparando los niveles estáticos de los datos de 1978 con los de 1999 se observa que no hay cambios significativos. En el mapa 3.2 se muestra la clasificación de la profundidad del agua subterránea en el área de estudio.

Mapa 3.2 Vulnerabilidad del parámetro “D”, Profundidad del agua subterránea



**Tasa de recarga.** Tomando el peor escenario, en el cual toda la precipitación se infiltrará, en este estudio se consideró la precipitación media anual como la tasa de recarga, aunque la tasa de evaporación es alta con un promedio de 1456.2 mm/año. El valor de 270.2 mm/año tomado de INEGI (2005), corresponde al promedio de precipitación anual registrado durante el período 1983 – 2004 en la estación meteorológica de la Presa Abelardo L. Rodríguez ubicada en las coordenadas 32° 26′ 49″ Latitud Norte y 116° 54′ 28″ Longitud Oeste a 120 m de altitud. La recarga estimada está por encima del rango máximo contemplado por el método DRASTIC, por lo que se asignó el valor de 9 a toda el área de estudio (ver mapa 3.3).

Mapa 3.3 Vulnerabilidad del parámetro “R”, Tasa de recarga



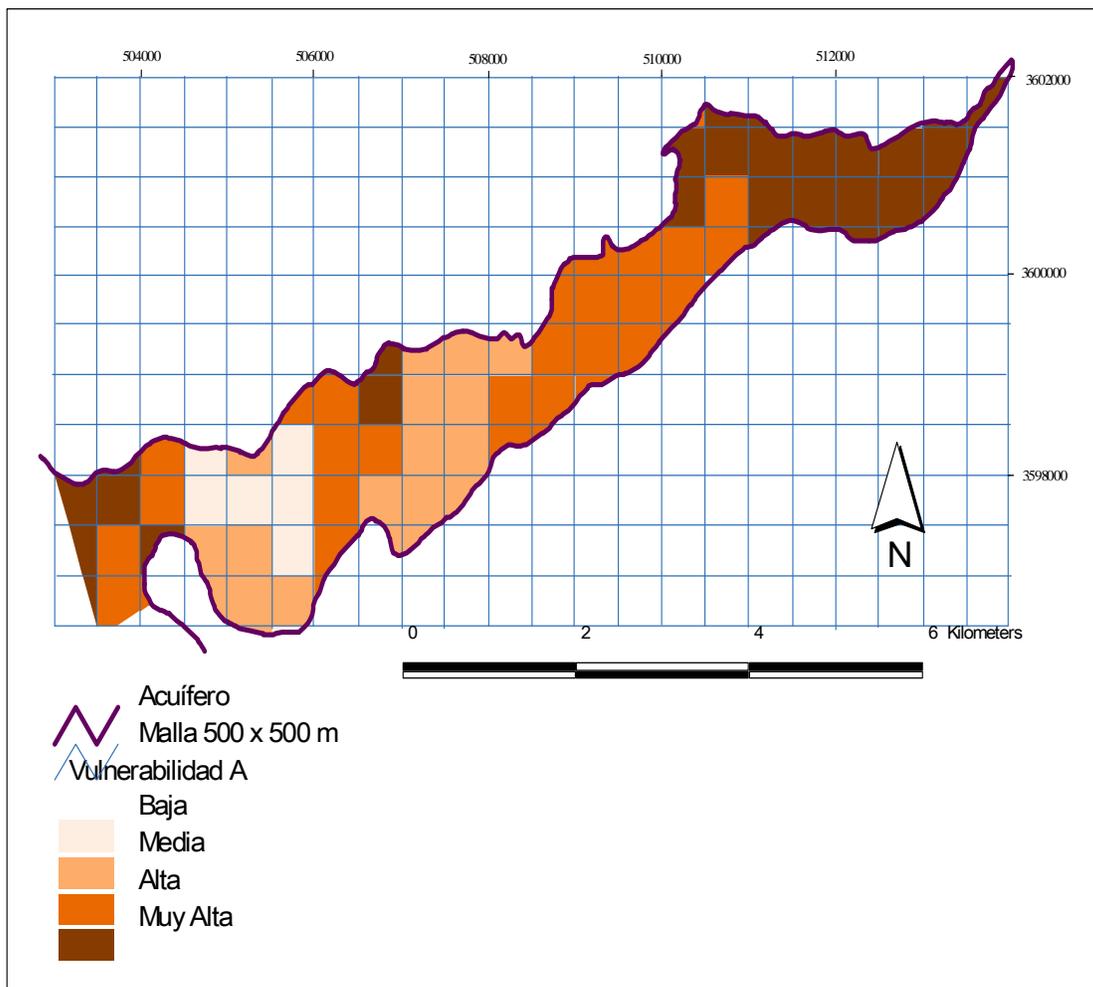
**Litología del acuífero.** Para definir la litología del acuífero se utilizó una carta hidrológica de aguas subterráneas a escala 1:250000, código Tijuana I11-11, con proyección transversa de Mercator, Datum horizontal NAD 27, editada en 1981 por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional. De acuerdo con esta carta el área de estudio está conformada por materiales no consolidados con altas posibilidades acuíferas.

Se utilizaron además los cortes litológicos de 6 pozos ubicados en la zona de estudio y los resultados de 7 sondeos eléctricos verticales que forman parte de los estudios proporcionados por la CONAGUA. A partir de esta información se encontró que la zona de estudio está formada por depósitos cuaternarios granulares que comprende depósitos aluviales y fluviales, formados por arenas no consolidadas, limos, arcillas y gravas depositadas por el Arroyo Alamar. La distribución de valores asignados para este parámetro se muestra en el mapa 3.4.

**Tipo de suelo.** Para la clasificación del tipo de suelo se utilizó la carta edafológica 1:250000, con cuadrícula UTM cada 10,000 m, código Tijuana I11-11, editada en 1982 por la Dirección General de Geografía del Territorio Nacional. Esta carta fue realizada bajo la proyección transversa de Mercator, basada en el Datum NAD 27 y el esferoide Clarke de 1866. De acuerdo con dicha carta el suelo de la totalidad del área de estudio corresponde a vertisol crómico con fluvisol eutrítico, de textura fina formada por 36% de arcilla, 34% de limo y 30% de arena.

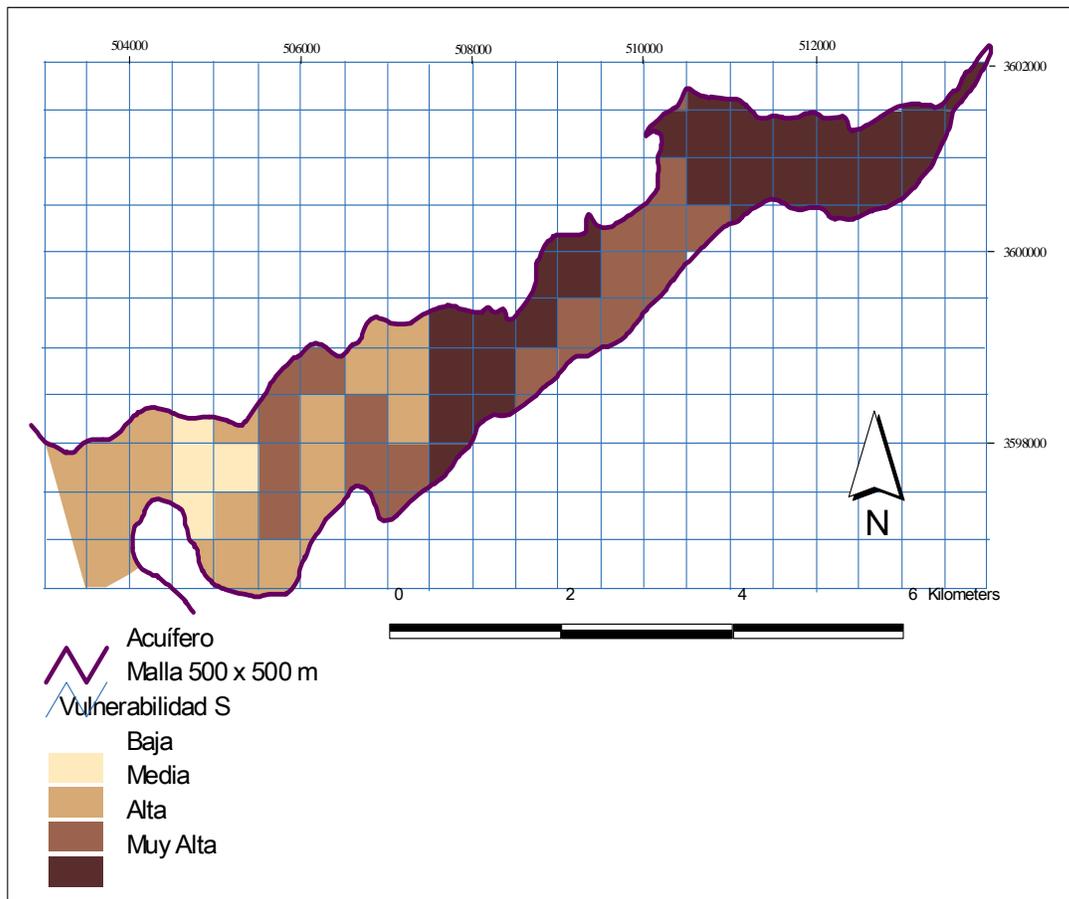
Esta información se complementó con observaciones de muestras obtenidas en campo. Al tacto de las muestras humedecidas se reconoció la presencia de arcillas al formarse una pasta moldeable sin quebraduras.

Mapa 3.4 Vulnerabilidad del parámetro “A”, Litología del acuífero



La presencia de limos se detectó cuando la muestra humedecida presentó pequeñas quebraduras. Una muestra áspera al tacto indicó la presencia de arenas. Así mismo se consideró la información de 6 columnas litológicas de pozos, en las cuales se describen los distintos materiales que conforman el suelo y subsuelo. Dichas descripciones son texturales cualitativas, es decir, el perforista señala la presencia de limos, arenas y/o arcillas basado en su experiencia. El tipo de suelo predominante en la zona de estudio son las arenas con grava, seguido de arenas con limos y en menor cantidad arenas con limo y arcilla. El mapa 3.5 muestra la clasificación del tipo de suelo.

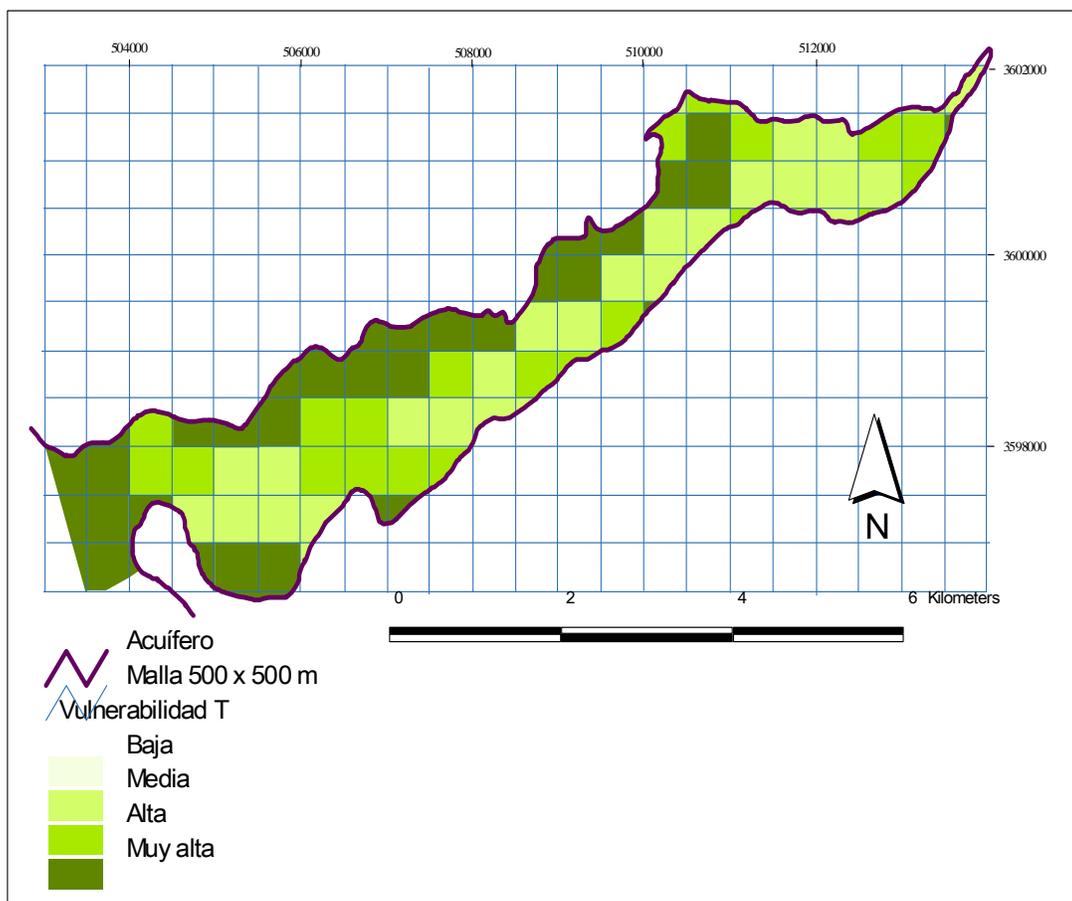
Mapa 3.5 Vulnerabilidad del parámetro “S”, Tipo de suelo



**Topografía.** El porcentaje de pendiente se determinó a partir de un plano topográfico a escala 1:10000 con curvas de nivel cada 20 m, elaborado por la *Unidad de Sistema de Información Geográfica* del Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN). Sobre el plano topográfico se sobrepuso una plantilla de 89 celdas y se obtuvo la pendiente promedio del relieve topográfico en cada celda. El porcentaje de pendiente se calculó dividiendo la diferencia de alturas (mayor y menor) por la distancia entre éstas. El cociente se multiplica por 100 y, cuando las cotas mayor y menor no cubren toda la celda se multiplica dicho resultado por la parte proporcional de la celda

con curvas de nivel topográfico. El porcentaje de pendiente varía de 0 a 12, siendo el cero el valor que más se repite. La clasificación de la pendiente topográfica se muestra en el mapa 3.6.

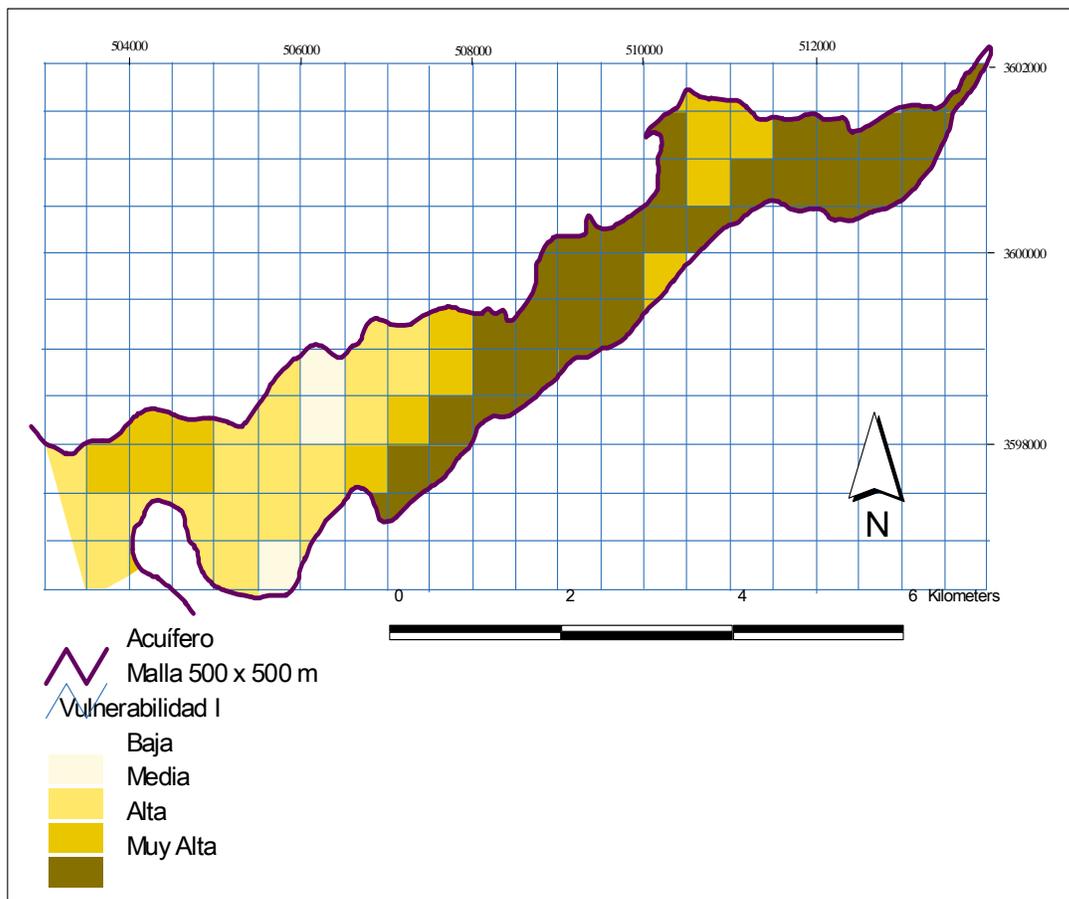
Mapa 3.6 Vulnerabilidad del parámetro “T”, Topografía



**Impacto de la zona vadosa.** Se utilizó la carta geológica a escala 1:50000, código, Murúa I11D61, editada en 1977 por el CETENAL; de la cual se desprende que el Arroyo Alamar forma parte de estructuras geológicas con fallas de tipo normal. Los flancos del cauce del arroyo están constituidos por areniscas y conglomerados, dichos materiales corresponden a la cota 100 aproximadamente.

Los materiales del Arroyo Alamar son de tipo aluvial. La categorización correspondiente se muestra en el mapa 3.7.

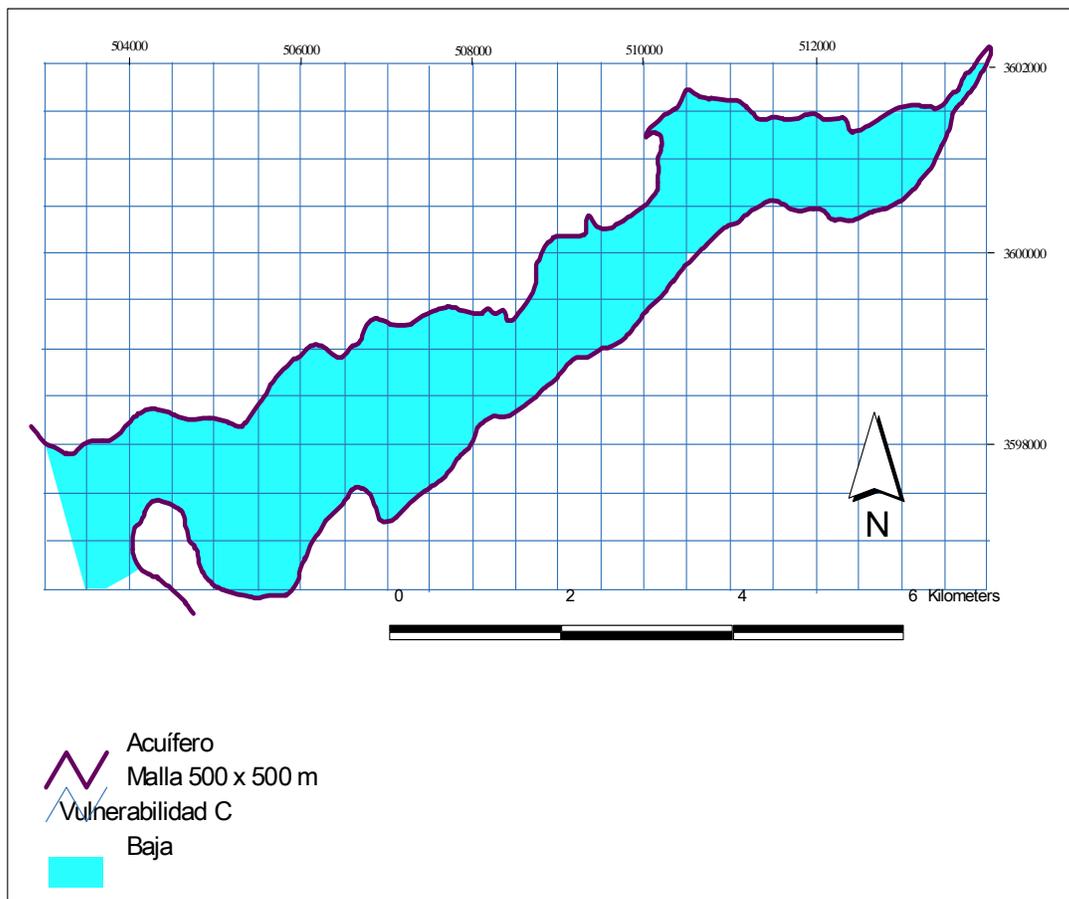
Mapa 3.7 Vulnerabilidad del parámetro “I”, Impacto de la zona vadosa



**Conductividad hidráulica.** La conductividad hidráulica del acuífero se estableció a través de los datos proporcionados por la CONAGUA, los cuales fueron obtenidos a partir de las pruebas de bombeo realizadas en 1979. Cabe señalar que solamente se contó con cuatro datos de conductividad hidráulica dentro del área de estudio, estos fueron 0.20, 0.25, 0.88 y 1.83 m/día, por lo que se

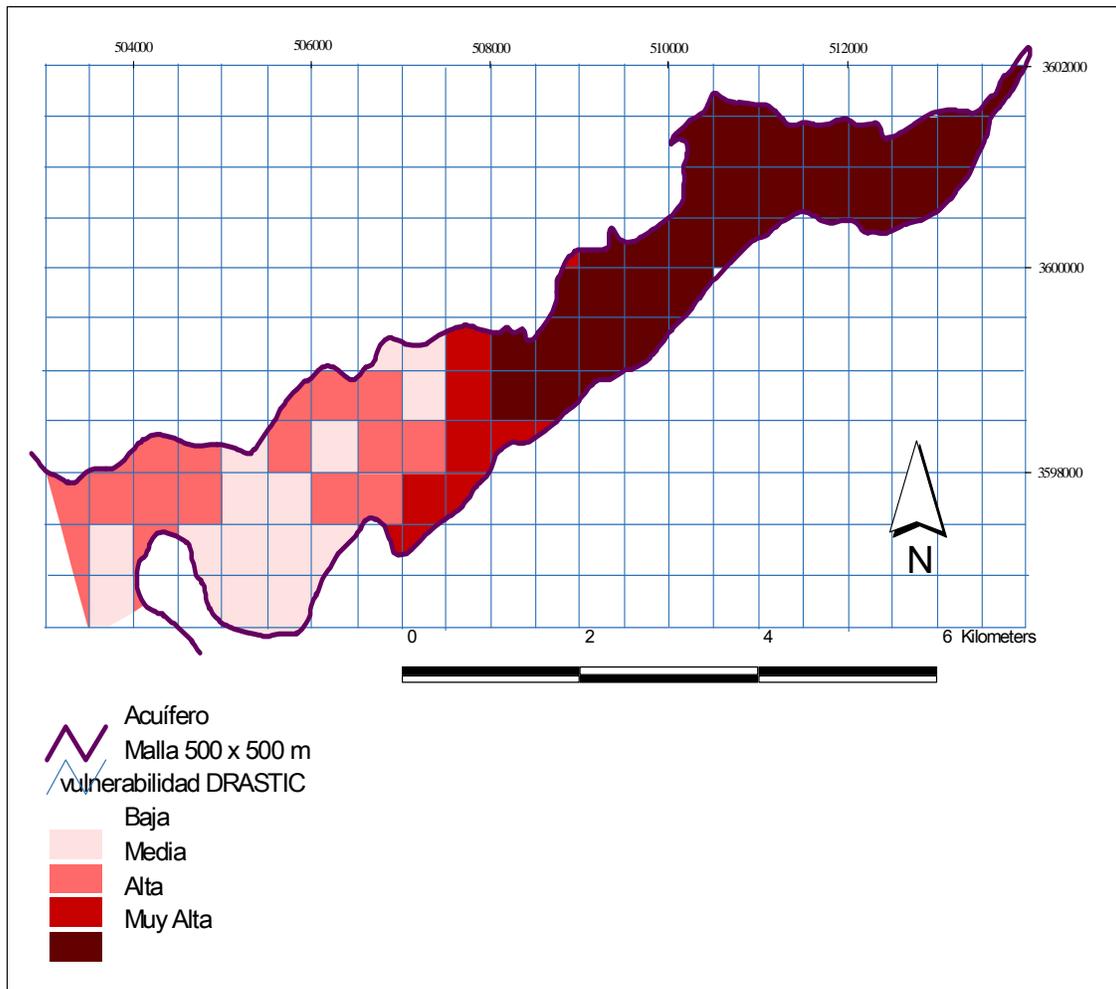
realizó una extrapolación de dicha información. Todos los valores obtenidos para este parámetro se encuentran en el rango más bajo de clasificación del método DRASTIC, por lo que se asignó el valor de 1 a toda el área de estudio. En el mapa 3.8 se muestra la distribución de la conductividad hidráulica.

Mapa 3.8 Vulnerabilidad del parámetro “C”, Conductividad hidráulica



Una vez obtenidos los mapas correspondientes a los siete parámetros DRASTIC, se calculó el índice de vulnerabilidad a la contaminación, mediante la ecuación descrita en el apartado 3.1.1. En el mapa 3.9 se muestran las categorías de vulnerabilidad según los valores obtenidos del Índice DRASTIC.

Mapa 3.9 Índice de vulnerabilidad DRASTIC



# **CAPÍTULO 4**

## **EVALUACIÓN DE LA ACTITUD HACIA LA PROTECCIÓN DEL ACUÍFERO**

### **4.1 CONSTRUCCIÓN DE LA ESCALA LIKERT**

Para evaluar la actitud que tienen los habitantes del área de estudio hacia la protección del acuífero del Arroyo Alamar, se construyó una escala de actitud tipo Likert. Este método fue propuesto en 1932 por R. Likert y es uno de los más utilizados en la medición de actitudes. Se trata de una escala ordinal y como tal no mide en que grado es más favorable o desfavorable una actitud (Ander-Egg, 1987). Esta escala utiliza enunciados o afirmaciones sobre las que se tiene que manifestar el individuo. En el supuesto de que la actitud exista, cada individuo estará ordenado en función de su acuerdo o desacuerdo con tales afirmaciones, siempre que estén relacionadas con la actitud que se quiere medir. Cada enunciado de la escala proporciona información sobre la actitud del individuo. La acumulación de información es lo que nos permite decidir la posición que una persona ocupa en el continuo de la actitud (Elejabarrieta, 1984).

Los pasos que se siguieron para construir la escala de actitud fueron los que se mencionan a continuación:

1) Se definió el objeto de la variable actitud a medir, en este caso, la protección del acuífero del Arroyo Alamar. Con la intención de especificar mejor el objeto a medir se enmarcó en 6 categorías denominadas: A) importancia del agua subterránea, B) conciencia del problema ambiental, C) fuentes contaminantes, D) desempeño de las autoridades, E) disposición de participación ciudadana y F) asignación de responsabilidades.

2) Se construyeron los enunciados, a manera de afirmaciones en primera persona, que reflejaran una posición favorable o desfavorable, para cada una de las categorías. Una vez formulados los enunciados de cada categoría se distribuyeron al azar en la escala, con la finalidad de que los enunciados de cada categoría no aparecieran juntos sino intercalados con los de otras categorías.

3) Se aplicó una encuesta piloto a una muestra de 20 individuos que indicaron su actitud hacia las afirmaciones mediante una escala de intensidad que va de «totalmente de acuerdo» a «totalmente en desacuerdo», incluyendo los grados intermedios «de acuerdo», «indiferente» y «en desacuerdo». Aún cuando la literatura recomienda aplicar el cuestionario a por lo menos una cantidad de individuos equivalente a 5 veces el número de afirmaciones, para efecto de establecer la validez del instrumento, en este trabajo no fue posible llevarlo a cabo por razones de tiempo, sin embargo, a partir de las observaciones realizadas durante la encuesta piloto, se realizaron algunas modificaciones a los enunciados de la primera versión de la escala con el fin de lograr una comunicación efectiva (Fernández, 2003; Vargas-Ruíz, 2003).

4) Finalmente se obtuvo una escala con 30 afirmaciones (ver anexo A) distribuidas en las seis categorías mencionadas en el punto 1), como se muestra en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Distribución de las afirmaciones dentro de la escala

<b>Categoría</b>	<b>Afirmaciones</b>
A	6, 7, 11, 14, 24, 25 y 30
B	1, 12, 20, 22, 26, 27 y 29
C	2, 4 y 23

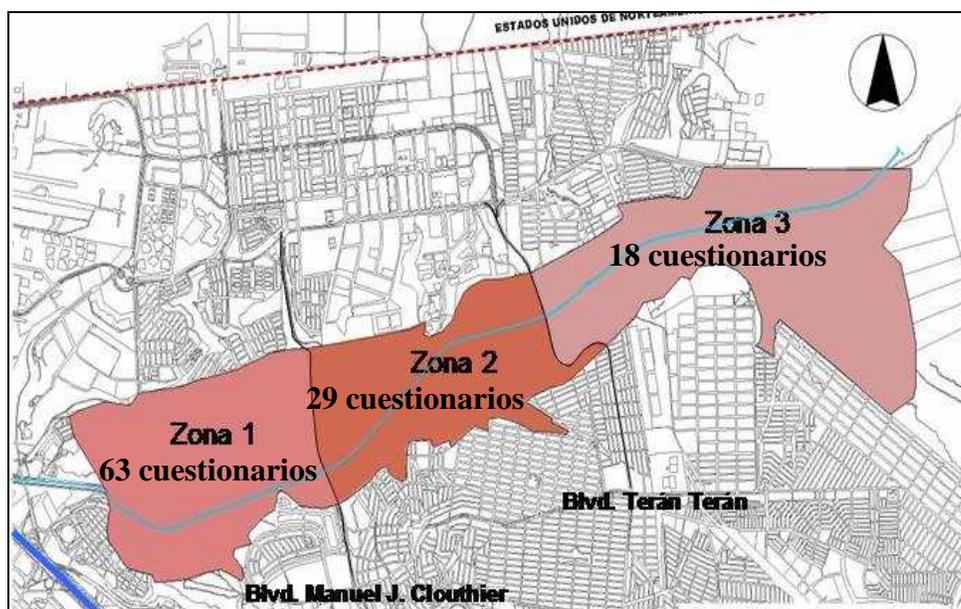
<b>Categoría</b>	<b>Afirmaciones</b>
D	8, 10, 15 y 28
E	9, 13, 16, 17, 19 y 21
F	3, 5 y 18

#### **4.2 SELECCIÓN DE LA MUESTRA**

La escala de actitud construida se aplicó en forma de entrevista, a una muestra de 110 individuos, habitantes del área de estudio. El tamaño de muestra se determinó a partir del número de viviendas habitadas reportado en el SCINCE 2000 que es de 10,824. Se consideró un nivel de confianza del 95% y un error de estimación del 9.5%. Con la finalidad de distribuir los cuestionarios proporcionalmente según la población asentada, se dividió el área de estudio en tres zonas, utilizando como separadores los bulevares Manuel J. Clouthier y Terán Terán. Se aplicó un cuestionario por vivienda, todos los entrevistados fueron personas adultas, las entrevistas se realizaron los días 14 y 21 de mayo, y 05 de junio del 2006. La distribución espacial de los cuestionarios puede observarse en el mapa 4.1.

Las respuestas obtenidas se clasificaron con valores de 1 a 5, se asignó el valor de 5 a la posición «totalmente de acuerdo» en los enunciados favorables y a la posición «totalmente en desacuerdo» en los enunciados desfavorables, el resto de las posiciones se calificaron en orden decreciente con respecto a este valor. Al final cada individuo obtuvo una nota global como resultado de las sumas obtenidas en cada respuesta.

Mapa 4.1 Distribución espacial de los cuestionarios aplicados en la encuesta  
(Tomado de Ezpinoza, 2004)



### 4.3 VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE LA ESCALA

Para determinar la validez de contenido de los enunciados se calculó el coeficiente de correlación de Pearson entre las notas de cada afirmación y la nota global de la categoría correspondiente. Se calcularon también los coeficientes de correlación entre cada afirmación y las puntuaciones de toda la escala (Tabla 4.2). Autores como Fernández (2003) y Vargas-Ruiz (2003), recomiendan descartar los enunciados con coeficientes de correlación menor a 0.35 pues se considera que correlaciones de 0.35 en adelante son estadísticamente significativas por encima del 1%. Un valor bajo de correlación entre el enunciado y la escala puede tener varias causas por ejemplo, la mala comprensión del enunciado o que este no es adecuado para medir el objeto de actitud.

Tabla 4.2 Coeficientes de correlación de las afirmaciones con su categoría y con la escala total

<b>Afirmaciones</b>	<b>Correlación categoría</b>	<b>Correlación escala total</b>
<b>Categoría A: importancia del agua subterránea</b>		
El agua subterránea del Alamar es importante para la ciudad de Tijuana	0,726	0,645
El cuidado del agua subterránea no representa ningún beneficio para mi	0,723	0,630
Todos nos beneficiamos al cuidar el agua subterránea	0,775	0,748
No vale la pena cuidar el agua subterránea del Alamar	0,622	0,555
No es necesario cuidar el agua subterránea ya que la ciudad de Tijuana se abastece del Río Colorado	0,713	0,623
El agua subterránea es un recurso valioso que debemos cuidar	0,711	0,727
Estoy a favor de que se cree un programa para cuidar el agua subterránea del Alamar	0,533	0,508
<b>Categoría B: conciencia del problema ambiental</b>		
El agua subterránea está contaminada	0,423	0,223
A mi no me afecta que el agua subterránea esté contaminada	0,694	0,632
La contaminación del agua subterránea se puede evitar	0,816	0,773
La contaminación del agua subterránea no es un problema	0,731	0,638
La contaminación del agua subterránea del Alamar afecta la salud de quienes aquí vivimos	0,868	0,765
Hace falta más información acerca del cuidado del agua subterránea	0,868	0,765
Me preocupa saber que una fuente de agua subterránea como es el Alamar esté contaminada	0,829	0,724
<b>Categoría C: fuentes contaminantes</b>		
La basura depositada en el arroyo ensucia el agua subterránea	0,803	0,167
Las descargas de aguas negras en el arroyo contaminan el agua subterránea	0,814	0,269
Me molesta ver el arroyo lleno de basura	0,438	0,182

<b>Afirmaciones</b>	<b>Correlación categoría</b>	<b>Correlación escala total</b>
<b>Categoría D: desempeño de las autoridades</b>		
Las autoridades buscan la comunicación con los vecinos para el cuidado conjunto del agua subterránea	0,920	0,363
Las autoridades nos explican como podemos evitar la contaminación del agua subterránea	0,841	0,328
Las autoridades atienden inmediatamente los reportes que hacen los vecinos cuando hay basura en el arroyo	0,385	-0,205
Las autoridades hacen caso a los reportes de los vecinos sobre objetos (animales muertos, desechos diversos) que contaminan el agua subterránea	0,385	-0,164
<b>Categoría E: disposición de participación ciudadana</b>		
Yo no puedo hacer nada para evitar que el agua subterránea se contamine	0,799	0,661
Me gustaría aprender más sobre como cuidar el agua subterránea	0,732	0,704
No tengo ningún interés por cuidar el agua subterránea	0,648	0,555
Es importante que los vecinos reporten a las autoridades los focos de contaminación que hay en el Alamar	0,449	0,338
Si yo pudiera hacer algo para cuidar el agua subterránea lo haría	0,704	0,730
Quisiera participar activamente en un programa para cuidar el agua subterránea	0,754	0,691
<b>Categoría F: asignación de responsabilidades</b>		
Las personas que usan el agua subterránea son quienes deben hacer algo para cuidarla	0,757	0,484
El cuidado del agua subterránea solo es responsabilidad del gobierno	0,753	0,514
La contaminación del agua subterránea es culpa de las industrias	0,706	0,328

Para estimar la confiabilidad de la escala se eligió el coeficiente Alfa de Cronbach, ya que presenta la ventaja de que requiere una sola aplicación del instrumento de medición. Los valores de este coeficiente van de 0 a 1, donde 0 significa nula confiabilidad y 1 representa la confiabilidad total, se considera que existe una buena consistencia interna cuando el valor de alfa es superior a 0.7 (Vargas-Ruíz, 2003; Martín-Arribas, 2004).

El cálculo del coeficiente alfa de Cronbach se realizó a partir de la matriz de correlación de las afirmaciones (todas contra todas, de par en par) la cual se obtuvo con el programa XLSTAT versión 2006.3 (Anexo C).

Una vez obtenida la matriz de correlación se aplicó la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{N\bar{p}}{1 + \bar{p}(N - 1)}$$

Donde  $N$  es el número de afirmaciones de la escala y  $\bar{p}$  es el promedio de las correlaciones entre las afirmaciones, calculado incluyendo cada coeficiente de correlación una sola vez y excluyendo los coeficientes entre las mismas puntuaciones. Sustituyendo valores tenemos que:

$$\alpha = \frac{(30)(0.239)}{1 + (0.239)(30 - 1)}$$

El coeficiente alfa de Cronbach resultante fue de 0.904, lo que significa que la escala construida es capaz de medir con precisión la actitud de los habitantes de la zona de estudio hacia la protección del acuífero del Arroyo Alamar.

#### **4.4 ENTREVISTAS A FUNCIONARIOS**

Se realizaron entrevistas semiestructuradas a funcionarios de dependencias federales, estatales y municipales, con el fin de conocer su opinión sobre el tema de la protección del acuífero del Arroyo Alamar. Enseguida se presenta un resumen de la información obtenida a partir de las entrevistas efectuadas a los representantes de dichas dependencias.

- **Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Gerencia Regional en Baja California (22 de mayo de 2006)**

Se han realizado estudios en el acuífero Tijuana/Alamar desde 1979, hasta ahora este acuífero se ha mantenido en equilibrio, en el mes de abril de 2005 se abrió una licitación para la actualización hidrogeológica del acuífero Tijuana con recursos del Banco de Desarrollo de América del Norte, con la realización de este estudio se conocerá el estado actual del acuífero.

Con respecto a la gestión de acuíferos en el estado de Baja California se ha prestado mayor atención a aquellos que están sobre explotados como son Valle de Mexicali, Mandadero, San Quintín, San Simón y Ojos Negros. La disponibilidad de agua en el estado es baja, alrededor de 1,000 m<sup>3</sup>/habitante/año y se espera que para el 2020 sea por debajo de ese valor. Los mantos acuíferos son de suma importancia pues de allí proviene el 31% de la oferta de agua en el estado.

Actualmente en Baja California se está llevando a cabo el Programa de Reordenamiento de Acuíferos, para controlar la sobreexplotación, lograr su estabilización y/o recuperación y garantizar su disponibilidad en calidad y cantidad. Paralelo a esto se trabaja con los Comités de Aguas Subterráneas para que los propios usuarios apoyen la vigilancia del uso del agua.

Específicamente en el caso del Alamar está por concluir el proceso de Demarcación de la Zona Federal para su posterior publicación en el Diario Oficial de la Federación. Existe un convenio con el municipio de Tijuana para que éste resguarde la zona.

Por supuesto que la protección de este y de todos los acuíferos es necesaria, son una fuente importante de agua para el estado y el agua es un recurso escaso, además de que está contemplado en la Ley de Aguas Nacionales y su reglamento.

- **Secretaría de Protección al Medio Ambiente de Baja California (16 de junio de 2006)**

En esta secretaría se ha dado seguimiento a las denuncias ciudadanas referentes a una zona del Arroyo Alamar en la que hay quema de residuos. El Arq. Alonso Hernández Güitrón, Coordinador ejecutivo de gestión ambiental refiere que durante mucho tiempo el Arroyo Alamar se ha utilizado de manera clandestina para disponer residuos lo que ocasionó un gran depósito que desafortunadamente el año pasado se incendió. La Secretaría llevó a cabo recorridos y se hicieron acciones coordinadas con otras dependencias como SIDUE y Protección Civil, para determinar y medir la emergencia que se estaba suscitando allí y atenderla, paralelamente a esto se instaló una mesa de trabajo en la que se ofrecieron alternativas para dar solución a este problema específico. A decir del Arq. Hernández, están en espera de recursos por parte de la federación para poder ejercer acciones en esta zona, mismas que ya están presupuestadas. Se pretende tratar la zona como un basurero, es decir, confinarlo lo mejor posible minimizando el riesgo, ya que la limpieza del sitio sería muy costosa. Esta última alternativa podría darse a medida que el desarrollo de la zona lo permita, es decir, cuando sea viable económicamente.

En cuanto al acuífero, se reconoce su importancia natural y la necesidad de proteger esta fuente de agua, pero también se señala la necesidad de utilizar esa zona para alguna actividad «de provecho» que no sea en detrimento de su función natural.

- **Comisión Estatal De Servicios Públicos de Tijuana (CESPT).**

De acuerdo al título de concesión vigente otorgado por la Comisión Nacional del Agua con número BCA100301/07I1HMSG94 de fecha 13 de octubre de 1994 solamente existe un pozo en la zona del Arroyo Alamar (pozo No. 3). El volumen autorizado de explotación anual es de 630,000 m<sup>3</sup>. En el año 1991 se dieron de baja por mala calidad del agua debido a la contaminación un total de 6 pozos dentro del Arroyo Alamar. La razón principal de la contaminación, a decir de esta dependencia, fue una combinación de sobre-explotación de arena del arroyo y las descargas de aguas negras provenientes de Tijuana y Tecate.

El pozo No. 3 abastecía a las colonias Los Álamos y Guadalupe Victoria, sin embargo, se dejó de utilizar durante varios años, ya que no cumplía con la norma de calidad. En el año 2002 se construyó el acueducto «Pozos Río Tijuana – Potabilizadora Monte de los Olivos», con la finalidad de conducir el agua extraída de los pozos del Río Tijuana hacia la planta potabilizadora Monte de los Olivos. La calidad del agua extraída de este pozo de acuerdo con el análisis fisicoquímico realizado por la propia CESPT correspondiente al mes de julio de 2006, rebasa el límite permisible indicado en la NOM-127-SSA1-1994 para los parámetros: cloruros, detergentes, dureza total, manganeso, sodio, sulfatos y sólidos disueltos totales, debido a esto se hace necesaria su potabilización, misma que se lleva a cabo en la planta Monte de los Olivos para posteriormente ser inyectada al acueducto «Florido – Aguaje». En el 2005 se extrajeron de este pozo un total de 383,258 m<sup>3</sup> y 122,737 m<sup>3</sup> entre los meses de enero a julio de 2006.

El Plan Maestro de Agua Potable concluido en el 2003 contempla el aprovechamiento integral del manto acuífero Río Tijuana/Alamar. En fechas próximas se licitará el estudio con la finalidad de evaluar las condiciones actuales y la factibilidad de aprovechamiento. Las expectativas del estudio incluyen el caudal óptimo a extraer del acuífero, así como evaluar el grado de contaminación y sus posibles soluciones. Para la CESPT es de suma importancia la realización de este estudio, ya que las

fuentes de abastecimiento actuales están al límite, inclusive el estudio de desalación de agua de mar está en puerta.

- **Dirección de Protección al Ambiente del Municipio de Tijuana (13 de junio de 2006)**

En el tema del Arroyo Alamar, esta dirección está enfocada en la atención y seguimiento de denuncias, pues a decir del Sub-Director Ocean. Juan Vega Murillo, no se cuenta con el personal ni el presupuesto suficiente para llevar a cabo acciones de prevención y vigilancia.

En el último año se recibieron 14 denuncias ciudadanas a partir de las cuales se iniciaron 8 procedimientos contra empresas y 4 procedimientos contra propietarios de terrenos. El problema más importante que se ha denunciado es un tiradero clandestino en el que se originó un incendio, en el lugar se encontraron baterías de carro y 54 tibores con solventes además de escombros, basura, aislantes, poliuretano, teléfonos y “scrap” de maquiladoras. El problema fue identificado a partir del incendio, sin embargo, a decir de los vecinos del lugar, desde hace 15 años llegan camiones a tirar estos materiales en el área, se dice que dueños de predios ubicados sobre la avenida Murúa permiten el acceso a los camiones a cambio de dinero. A raíz de lo anterior, se creó un grupo de trabajo en el que participan el ayuntamiento, el gobierno del estado y el gobierno federal, con el objetivo de atender el problema y gestionar recursos para la limpieza del sitio.

- **Comisión de Desarrollo Urbano y Control Ecológico del Ayuntamiento de Tijuana (16 de junio de 2006)**

Referente al tema del Arroyo Alamar, esta comisión aprobó una declaratoria de moratoria en la expedición de licencias de construcción y usos de suelo en la zona. Esta declaratoria fue

propuesta por el Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN) y se aprobó con vigencia de un año en el mes de octubre de 2005. Actualmente la comisión está en espera de que el IMPLAN entregue la propuesta del Plan Parcial de Desarrollo del Alamar, en el que se definan con claridad los usos de suelo. El presidente de esta comisión, Regidor José Osuna Camacho, manifestó estar conciente de la importancia que tiene la zona del Alamar para el medio ambiente y dijo estar en la mejor disposición de recibir propuestas de planificación en las que se considere la protección del acuífero. Reconoció también que la zona del Alamar ha estado olvidada por las autoridades y que su rehabilitación implica una gran inversión que solamente podría reunirse con la participación de los tres niveles de gobierno.

## **CAPÍTULO 5**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

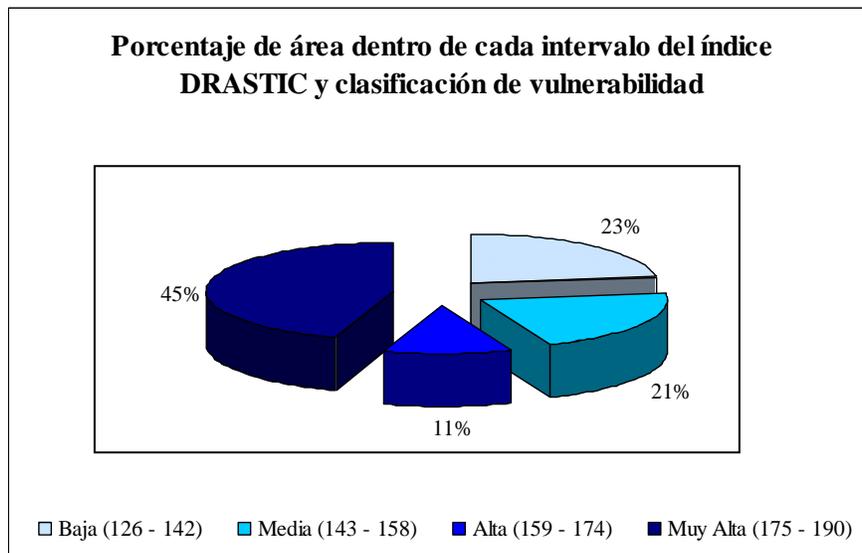
#### **5.1 VULNERABILIDAD DEL ACUÍFERO A LA CONTAMINACIÓN**

Se definieron los siete parámetros DRASTIC en el área de estudio tan a detalle como la información disponible lo permitió. Con excepción de los parámetros *conductividad hidráulica* (C), del cual únicamente se contó con 4 datos que hacen ver a la zona acuífera como un cuerpo homogéneo en lo referente a la capacidad de movimiento del agua subterránea; y la *tasa de recarga* (R), que se consideró igual a la precipitación media anual; el resto de los parámetros pudo caracterizarse de forma más detallada, lo que permitió obtener un mapa de vulnerabilidad (mapa 3.9) en el que claramente aparece la porción este del acuífero como la más vulnerable a la contaminación.

Considerando las 89 celdas que conforman el área de estudio, se obtuvo un valor promedio del índice DRASTIC de 163, con una desviación estándar de 19.90, un máximo de 190 y un mínimo de 126, el valor que más se repitió fue el 177. El valor del promedio ponderado por área del índice DRASTIC fue de 179.07. En la figura 5.1 se puede observar que aproximadamente la mitad (45%) del área de estudio presenta una vulnerabilidad muy alta con valores de índice DRASTIC entre 175 y 190. Esta zona se distribuye de manera uniforme cubriendo el acuífero desde su extremo noreste hasta aproximadamente 1.5 km antes del Blvd. Clouthier y corresponde con los niveles más bajos de profundidad del agua subterránea. En su mayoría esta zona no ha sido urbanizada, en ella se encuentran, además de asentamientos irregulares, un establo, una granja porcícola, algunas parcelas de hortalizas, un tiradero con basura, llantas y escombros, una ladrillera y el fraccionamiento de reciente creación «Riberas del bosque»; también comprende los extremos de algunas colonias como

«Cd. Industrial», «Torres del matamoros», «10 de Mayo», «Insurgentes» y «Granjas Familiares Unidas» en la delegación Centenario.

Figura 5.1 Porcentaje del área de estudio dentro de cada intervalo del índice DRASTIC



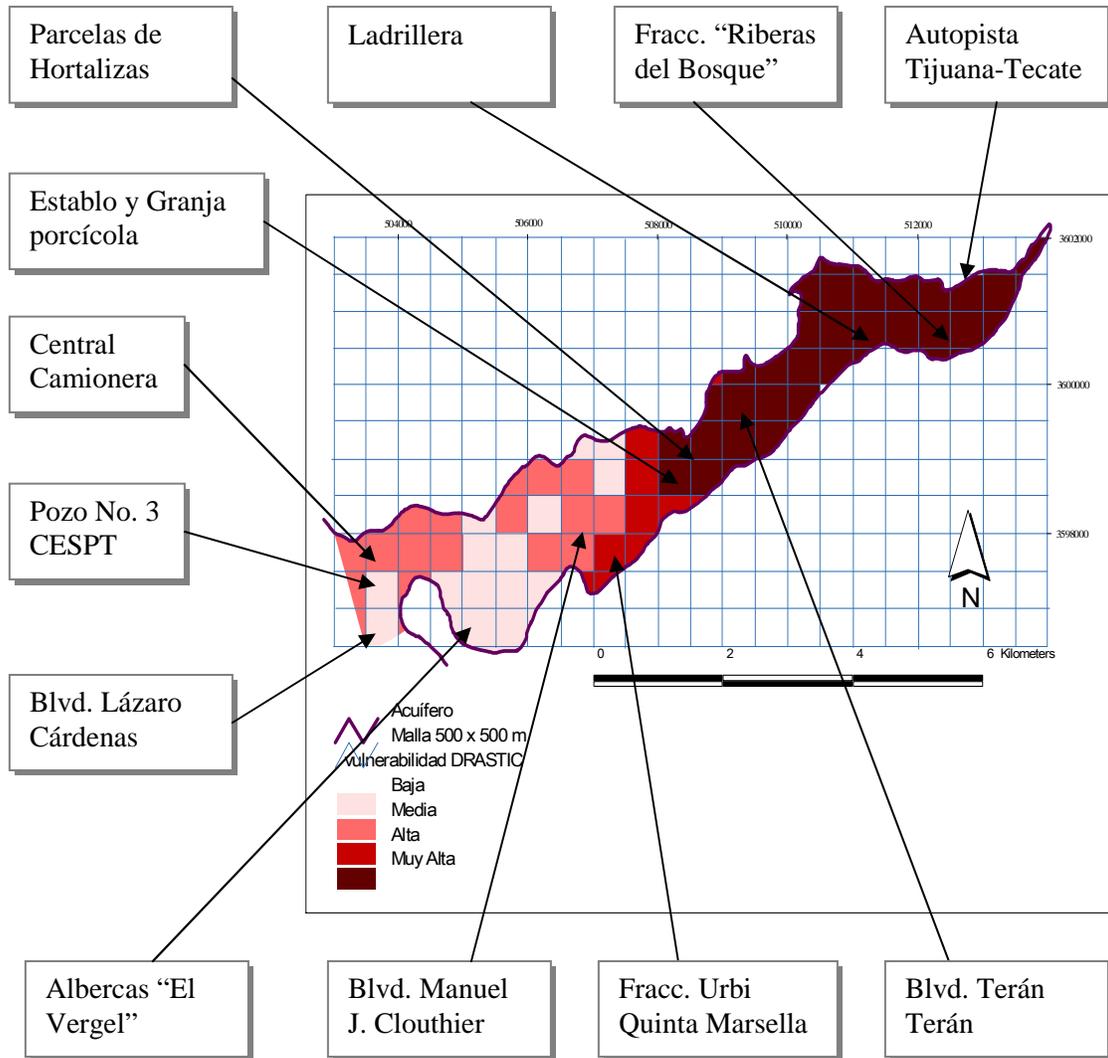
La categoría de baja vulnerabilidad ocupa el 23% del área de estudio, es esta área la que cuenta con mayor protección natural a la contaminación. En la zona más amplia de esta categoría se ubican las albercas «El Vergel», las colonias «Alamar», «Infonavit patrimonio» e «Hidalgo» así como una parte de la colonia «Valle vista 1era. sección» y algunos asentamientos irregulares. Hacia el oeste se encuentra otra zona con vulnerabilidad baja en donde se ubica un tramo del Blvd. Lázaro Cárdenas y el pozo No. 3 de la CESPT. Dos zonas de menor tamaño en esta categoría son ocupadas de forma parcial las colonias, «Campestre Murúa» y «Zona urbana del Ejido Chilpancingo» de la delegación La Mesa.

En tercer lugar de importancia se ubica la categoría de vulnerabilidad media con el 21% de la superficie total. La distribución espacial de esta categoría es dispersa, sin embargo, se pueden observar dos zonas amplias. La primera ubicada en el extremo oeste del acuífero, en donde se encuentra la Central camionera de Tijuana, la colonia «Arenales B» y parte de la colonia «Valle vista 1era sección». La segunda se extiende sobre el Blvd. Clouthier abarcando parcialmente las colonias «Río vista», «Valle vista 2da sección», «Campestre Murúa» y «Zona urbana del Ejido Chilpancingo».

El 11% restante corresponde a la categoría de vulnerabilidad alta, se trata de una franja ubicada al este del Blvd. Clouthier, en ella se sitúa el fraccionamiento «Urbi Quinta Marsella» y una parte de la «Zona urbana del Ejido Chilpancingo».

En seguida en el mapa 5.1 se muestra la clasificación de los índices de vulnerabilidad del acuífero señalando algunas de las actividades que se desarrollan en la zona.

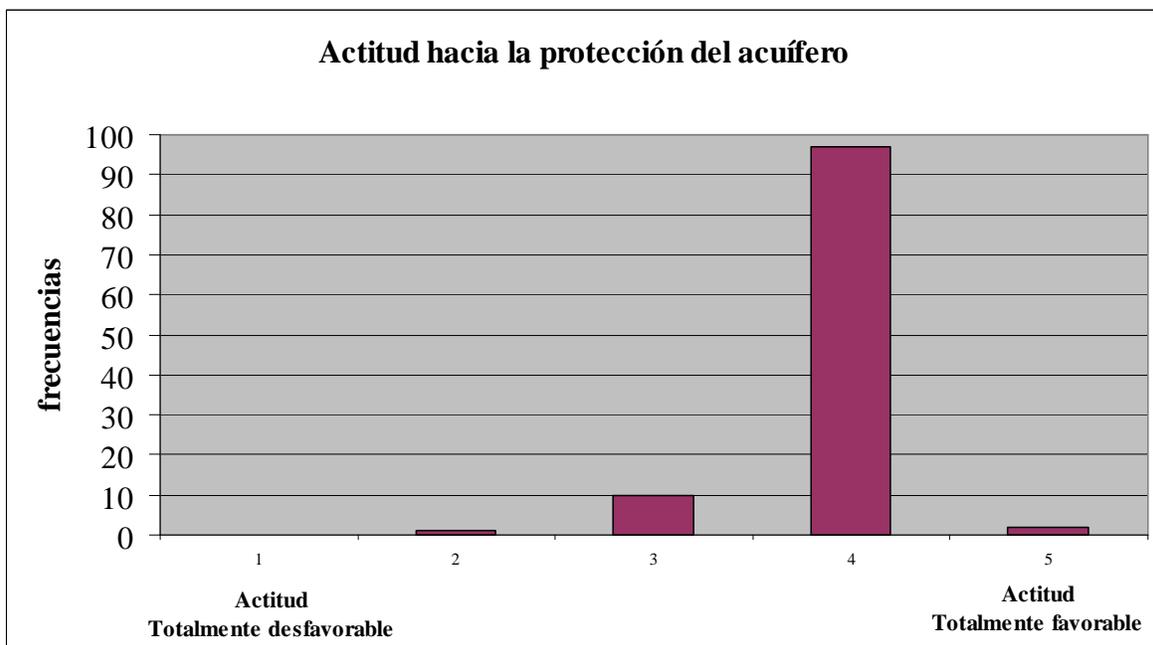
Mapa 5.1 Localización de actividades en el acuífero del Arroyo Alamar



## 5.2 ACTITUD HACIA LA PROTECCIÓN DEL ACUÍFERO

La actitud hacia la protección del acuífero es favorable, la categoría que más se repitió fue 4 (favorable). El 50% de los individuos encuestados se ubica por encima del valor 4.65 y el 50% restante está por debajo de dicho valor. En promedio, las personas encuestadas se ubican en 4.54 (favorable), con una desviación estándar de 0.4. Ninguna persona demostró una actitud totalmente desfavorable, las puntuaciones tienden a situarse en valores medios o elevados.

Figura 5.2 Actitud hacia la protección del acuífero



Analizando la figura 5.3, se observa un sentido de precautoriedad y de beneficio colectivo con la protección del acuífero en la población encuestada, así se manifiesta en los resultados obtenidos en las afirmaciones 6, 7, 11, 14, 24, 25 y 30 correspondientes a la categoría A denominada

*importancia del agua subterránea*, en donde más del 80% de los encuestados mostró una actitud favorable. De igual manera se puede decir que la población está consciente del problema ambiental que representa la contaminación del acuífero puesto que las afirmaciones 12, 20, 22, 26, 27 y 29 (categoría B) obtuvieron resultados favorables en más del 90% de los encuestados. Las respuestas dadas a las afirmaciones 2, 4 y 23 de la categoría C, *fuentes contaminantes*, indican que la población reconoce cuales son las fuentes de contaminación del acuífero.

Por otra parte, la actitud hacia el trabajo de las autoridades es desfavorable. Esto se revela a través de la reacción de las personas encuestadas ante las afirmaciones 8, 10, 15 y 28, todas ellas relacionadas con el desempeño de las autoridades. En especial las afirmaciones 15 y 28 que obtuvieron medias de 1.31 y 1.14 respectivamente. En el caso de las afirmaciones 8 y 10 la opinión está dividida.

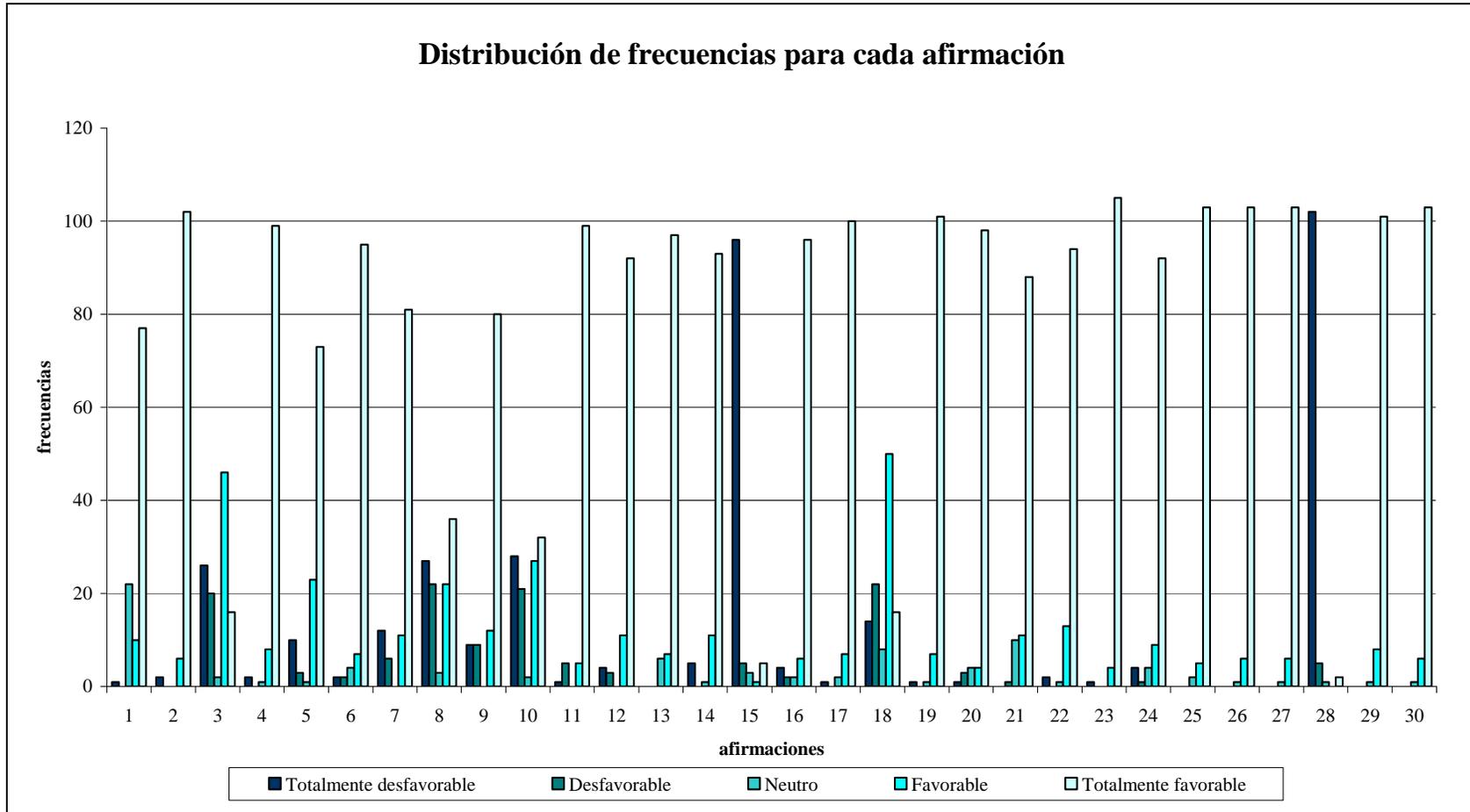
Referente a este punto, la propia dirección de Protección al Ambiente del Municipio de Tijuana reconoce que por diversas causas, entre las que se mencionan la falta de personal y el escaso presupuesto, esta dependencia se dedica únicamente a atender y dar seguimiento a las denuncias ciudadanas recibidas, dejando de lado las acciones de prevención y vigilancia.

Por su parte la CESTP dejó de operar 6 de los 7 pozos que le fueron concesionados en la zona del Alamar, debido a la mala calidad del agua extraída. De esto hace ya 15 años y hasta la fecha no se han tomado acciones por ninguna dependencia para menguar el deterioro del acuífero.

En relación a la disposición de participación que tienen los habitantes de la zona, se puede decir que es alta, pues más del 80% de las respuestas dadas a las afirmaciones 9, 13, 16, 17, 19 y 21, son favorables.

En cuanto a la asignación de responsabilidades, afirmaciones 3, 5 y 18, las posturas expresadas indican que la responsabilidad de proteger el acuífero debe ser compartida entre la ciudadanía y el gobierno. Una tercera parte de los encuestados culpa a las industrias por la contaminación del agua subterránea en la zona del Alamar.

Figura 5.3 Distribución de frecuencias para cada afirmación



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los índices de vulnerabilidad obtenidos indican que el acuífero del Arroyo Alamar tiene una vulnerabilidad intrínseca alta debido a su naturaleza; es decir, las características del suelo, los materiales geológicos que forman el acuífero, así como la hidrología del lugar. Si consideramos que los valores del índice de vulnerabilidad encontrados en el área de estudio son en su mayoría muy altos y altos, entonces tenemos un acuífero muy vulnerable, incluso sin carga contaminante. Más aún, si comparamos los índices resultantes (126 a 190) con los valores teóricos (23 a 230) del método DRASTIC, tenemos que la vulnerabilidad de todo el acuífero varía de alta a muy alta.

La porción noreste del acuífero es la más sensible a la contaminación por lo que debe recibir especial atención durante el desarrollo e implantación de políticas de planificación de uso del suelo.

Hasta ahora, el área de estudio se ha caracterizado por un crecimiento urbano anárquico. Esto motivado por el crecimiento y desarrollo económico de la ciudad de Tijuana, el cual encarece el valor del uso del suelo, desplazando a personas con bajos recursos a zonas baldías como el Arroyo Alamar. Estas personas conforman colonias que, a pesar de su crecimiento no han ocupado el total de las riveras del cauce del Arroyo Alamar, por lo que, es necesario desarrollar y poner en operación un plan que considere la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación como elemento de planificación.

Es preciso evitar hasta donde sea posible, el depósito de contaminantes como son las descargas de aguas residuales y los residuos domésticos, industriales o peligrosos; en la superficie ya que éstos tienen la capacidad de infiltrarse hacia el acuífero con la precipitación. Para ello, es de

primordial importancia la regulación y control de las actividades que se llevan a cabo en esta zona. El mapa de vulnerabilidad generado con este trabajo puede ser utilizado como guía para la toma de decisiones en los temas relativos a la protección del agua subterránea.

En general, los representantes de las autoridades entrevistados coincidieron en la importancia de mantener el acuífero en condiciones óptimas, se manifestaron a favor de la protección del mismo y resaltaron la utilidad de contar con una herramienta como lo es el mapa de vulnerabilidad del acuífero. Sin embargo, en ninguna de las dependencias visitadas se están realizando acciones preventivas para la protección del acuífero, aún cuando la legislación vigente en la materia, de los tres niveles de gobierno, contempla dentro de sus objetivos la protección del acuífero y establece la prohibición de diversas acciones que lleven a su deterioro. Queda de manifiesto la falta de articulación coherente entre las dependencias, pues mientras unas establecen planes y programas de desarrollo en los que se trata de proteger las zonas de recarga otras otorgan permisos de construcción en éstas. Parece ser que la protección del agua subterránea pasa a un segundo plano ante la competencia por el uso del suelo.

Es evidente el incumplimiento de la legislación en materia de protección de acuíferos en los tres niveles de gobierno. Por poner algunos ejemplos, la CONAGUA no cuenta con un programa vigente de protección de acuíferos para el valle de Tijuana como lo establece el artículo 86, fracción III de la Ley de Aguas Nacionales. El Programa de Ordenamiento Ecológico de Baja California prohíbe la edificación y el establecimiento de asentamientos humanos en áreas de recarga de acuíferos, sin embargo, los asentamientos irregulares en la zona del Arroyo Alamar han persistido por años. El PDUCEP 2002-2025 establece la protección de las zonas de recarga acuífera para dejarlas como corredores ecológicos y menciona específicamente al Arroyo Alamar no obstante éste sigue siendo utilizado como tiradero y recibiendo descargas de aguas negras.

Por otra parte, los vecinos del Arroyo Alamar mostraron una actitud favorable hacia la protección del acuífero. Esta actitud contempla un sentido de precautoriedad así como un sentido social de beneficio colectivo. Sin embargo, es innegable la poca coordinación entre autoridades y vecinos para que esa buena disposición se traduzca en acciones concretas que contribuyan a disminuir el deterioro del acuífero.

## **RECOMENDACIONES**

Este trabajo pretende otorgar una herramienta para que los tomadores de decisiones desarrollen políticas públicas orientadas a la protección del acuífero, para ello será necesario evaluar el riesgo de contaminación, partiendo del análisis de la interacción entre la vulnerabilidad y la carga contaminante impuesta, por lo que se requiere contar con un inventario detallado de las fuentes contaminantes existentes en la zona.

Para la protección del acuífero se proponen las siguientes estrategias:

- Aumentar la cobertura de drenaje sanitario en las colonias aledañas al Arroyo Alamar y en el caso de los asentamientos irregulares ofrecer alternativas a través de organizaciones no gubernamentales para evitar que viertan sus descargas sanitarias directamente al arroyo, en tanto las autoridades deciden su reubicación.
- Considerar, en el plan parcial de desarrollo de esta zona, la distribución de la vulnerabilidad del acuífero de cara a su protección. Para ello, será necesario cumplir las leyes y normas existentes en materia de uso del suelo, agua subterránea y ordenamiento ecológico del territorio.

- Establecer vigilancia para impedir la proliferación de los tiraderos clandestinos.
- Gestionar recursos para la limpieza de los sitios contaminados con residuos peligrosos y así evitar que éstos se infiltren hacia el acuífero.
- Solicitar la cooperación de la ciudad de Tecate para que asegure que las descargas de su planta de tratamiento cumpla con los requerimientos de la normatividad vigente.
- Actualizar el inventario de obras de aprovechamiento y sellar apropiadamente los pozos abandonados para impedir que se infiltren contaminantes a través de ellos.
- Crear programas de educación ambiental para la comunidad que enseñen a manejar apropiadamente los residuos peligrosos tales como pinturas, solventes, aceites, baterías o pesticidas, así como el valor e importancia de cuidar el agua subterránea.
- Hacer más eficiente la recolección y manejo de residuos sólidos municipales y establecer días de recolección de residuos peligrosos generados en los hogares.
- Promover la participación conjunta de las autoridades, la industria, las instituciones académicas, organizaciones no gubernamentales y la comunidad en general en las actividades de protección del acuífero y el suelo.
- Establecer un programa de monitoreo del agua subterránea.

## REFERENCIAS

- Agüero, V. J. y M. R. Pujol (2002) Análisis de la vulnerabilidad a la contaminación de una sección de los acuíferos del Valle Central de Costa Rica. (En red). Disponible en: [http://gis.esri.com/library/userconf/latinproc00/costa\\_rica/analisis\\_vulnerabilidad/vulnerabilidad\\_acuiferoscr.html](http://gis.esri.com/library/userconf/latinproc00/costa_rica/analisis_vulnerabilidad/vulnerabilidad_acuiferoscr.html) (Verificada el 6 de agosto 2005).
- Aller, L., B. Truman, J. Lehr, R. Petty y G. Hackett (1987) DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potencial using hidrogeologic settings. U. S. EPA /600/2-87/036: 1-455.
- Ander-Egg, E. (1987) Técnicas de Investigación Social. 21 Edición. Editorial El Ateneo. México, D. F. 500 pp.
- Auge, M. (2004) Hidrogeología Ambiental. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Geológicas. Buenos Aires, Argentina. 58 pp.
- CARSUCRE (2005) Proyecto de Protección Integral de Aguas Subterráneas (PPIAS) Acuífero Morrosquillo. II Taller Legalización de Pozos. Corporación Autónoma Regional de Sucre (CARSUCRE). Coveñas, noviembre 10 de 2005.
- CESPT (2006) Reporte Técnico: Arroyo Alamar. Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana, Agosto, 2006. No publicado.
- CEA (2003) Programa Estatal Hidráulico 2003-2007. Comisión Estatal del Agua, Baja California, México.
- CNA (1979) Estudio Geohidrológico del Valle de Tijuana en el estado de Baja California Norte. Comisión Nacional del Agua, Mexicali, B. C., México.
- CNA (1993) Cuenca del Arroyo Alamar, Tijuana, B. C., Estudio Hidrológico. Comisión Nacional del Agua, Ensenada, B. C., México.

- CNA (1997) Diagnóstico Actual y Propuesta de Explotación y Tratamiento de los Pozos de Agua Potable de la Ciudad de Tijuana, Baja California. Comisión Nacional del Agua, Mexicali, B. C., México.
- CNA (1999) Estudio de Simulación Hidrodinámica de los Acuíferos de Tijuana y La Misión, Baja California. Comisión Nacional del Agua, Mexicali, B. C. México.
- CONAGUA (2006) Situación del Agua y Perspectivas en Baja California. Coloquio Disponibilidad y abastecimiento de agua en nuestra región. CESPT, Tijuana, B. C. 19 de abril de 2006.
- Delgadillo, J. (2003) Biodiversidad del Arroyo Alamar, Tijuana, B. C. Universidad Autónoma de Baja California. (En red). Disponible en: [http://proyectoalamar.org/proyectoalamar\\_biodiversidad.html](http://proyectoalamar.org/proyectoalamar_biodiversidad.html) (Verificada el 11 de octubre 2005).
- Duverger, M. (1996) Métodos de las ciencias sociales. 1 era. Edición. Ariel Sociología. Barcelona, España. 593 pp.
- Eisenberg, G. F. (2000) Las Actitudes. *Proyecciones*. 1 (6). Publicación electrónica. ITESM-Campus Edo. México.
- Elejabarrieta, F. J. y L. Iñiguez (1984) Construcción de Escalas de Actitud Tipo Thurst y Likert. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España. 49 pp.
- Espinoza, A. E., P. Magdaleno, y V. M. Ponce (2004) Arquitectura fluvial sustentable en el Arroyo Alamar, Tijuana, Baja California, México. Reporte en línea. Disponible en: [http://ponce.sdsu.edu/alamar\\_arquitectura\\_sustentable\\_reporte1.html](http://ponce.sdsu.edu/alamar_arquitectura_sustentable_reporte1.html) (Verificado el 10 de octubre 2005).
- Fallas, J. (2003) Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea en Costa Rica: Una aproximación utilizando el modelo DRASTIC y Sistemas de Información Geográfica. Escuela de Ciencias Ambientales y Programa Regional de Manejo y Conservación de Vida Silvestre. Universidad Nacional, Costa Rica. (En línea). Disponible en [www.una.ac.cr/ambi/telesig/](http://www.una.ac.cr/ambi/telesig/) (Verificada el 05 de junio 2006).

- Fernández, M. R., A. Hueto P. H., L. Rodríguez B., y C. Marcén A. (2003) ¿Qué miden las escalas de actitudes? Análisis de un ejemplo para conocer la actitud hacia los residuos urbanos. *Ecosistemas* 2003/2 (En línea). Disponible en: [www.aeet.org/Ecosistemas/032/educativa1.htm](http://www.aeet.org/Ecosistemas/032/educativa1.htm) (verificada el 22 de febrero 2006).
- Fornéz A. J., y M. R. Llamas M. (1998) Vulnerabilidad y Protección de Acuíferos en España: Visión desde la investigación. *Jornadas sobre la contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente.* Valencia, España. AIH-GE. 339-355.
- Foster, S., R. Hirata, D. Gomes, M. D'Elia, y M. Paris (2002) Protección de la Calidad del Agua Subterránea. Banco Mundial. Washington, D. C.
- Graizbord C. y M. S. Michel (2002) Los Ríos Urbanos de Tecate y Tijuana: Estrategias para ciudades sustentables. Institute for Regional Studies of the Californias, San Diego State University, San Diego, California. 39 pp.
- Hernández, S. R., C. Fernández C., P. Baptista L. (1991) Metodología de la Investigación. McGraw-Hill, México. 505 pp.
- Hirata, R. y A. Reboucas, (2001) La protección de los recursos hídricos subterráneos: Una visión integrada, basada en perímetros de protección de pozos y vulnerabilidad de acuíferos. (En línea). Disponible en: [www.medioambienteonline.com](http://www.medioambienteonline.com) (Verificada el 17 de octubre 2005).
- Hornsby, A. G. (2000) Agua subterránea: El Recurso Oculto. Instituto de Ciencias Alimenticias y Agrícolas, Universidad de Florida. (En línea). Disponible en: <http://edis.ifas.ufl.edu> (verificada el 24 de mayo 2006).
- IMPLAN (2002) Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población Tijuana 2002-2025. Periódico Oficial del Estado de Baja California, 13 de diciembre de 2002, No. 54.
- INEGI (2000) XII Censo General de Población y Vivienda. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.
- INEGI (2005) Cuaderno Estadístico Municipal de Tijuana, Baja California. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.

- Martín-Arribas, M. C. (2004) Diseño y validación de cuestionarios. *Matronas profesión*. 5 (17): 23-29. Madrid, España.
- Pérez, M. F. (2003) Criterios para una explotación sustentable del agua subterránea. 2. Aspectos cualitativos y estrategias para el manejo de acuíferos. *Ingeniería hidráulica en México*. XVIII (1):5-20.
- Ponce, V. M. (2001) Hidrología de avenidas del arroyo binacional Cotton Wood – Alamar, California y Baja California. San Diego State University, San Diego, California. Versión en línea 2.01, 19 de julio 2001. Disponible en: <http://alamar.sdsu.edu/alamar/alamar.html> (Verificada el 03 de octubre 2005).
- Ponce, V. M. (2004) Análisis granulométrico de muestras de suelo del Arroyo Alamar. Reporte en línea. Disponible en: [http://ponce.sdsu.edu/alamar\\_arquitectura\\_sustentable\\_analisis\\_granulometrico.html](http://ponce.sdsu.edu/alamar_arquitectura_sustentable_analisis_granulometrico.html) (Verificada el 03 de octubre 2005).
- SEMARNAT (2004) Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales. Diario Oficial de la Federación, 29 de abril de 2004. México, D. F.
- Vargas-Ruíz, R. (2003) Escala de actitudes hacia la tecnología en el aprendizaje escolar aplicada a niños y niñas de primaria pública en Costa Rica. Análisis de validez y confiabilidad. *Actualidades en Psicología*. 19 (106): 24-45. Costa Rica.
- Wakida, F. T., L. E. Ponce-Serrano, E. Mondragón-Silva, E. García-Flores, D. N. Lerner y G. Rodríguez-Ventura (2005) Impact of a polluted stream on its adjacent aquifer: the case of the Alamar zone, Tijuana, México. En: Thompson, N. R. (Editor) *Bringing Groundwater Quality Research to the Watershed Scale*. IASH Publicación 297. pp. 141-147.
- Yoshinaga, P. S. y G. Albuquerque R. (2002) Recursos Hídricos. II Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Campinas, SP- Brasil. UNESCO. pp. 138-178.

## **ANEXO A**

### **PARÁMETROS D R A S T I C**

Tabla A.1 Determinación de la profundidad del nivel estático (D)

No. Celda	D			
	Profundidad del Nivel estático (metros)	Valor (D <sub>R</sub> )	Peso (D <sub>W</sub> )	D <sub>R</sub> *D <sub>W</sub>
1	7	7	5	35
2	6	7	5	35
3	5	9	5	45
4	7	7	5	35
5	7	7	5	35
6	6	7	5	35
7	6	7	5	35
8	6	7	5	35
9	6	7	5	35
10	6	7	5	35
11	6	7	5	35
12	6	7	5	35
13	7	7	5	35
14	8	7	5	35
15	7	7	5	35
16	6	7	5	35
17	8	7	5	35
18	8	7	5	35
19	7	7	5	35
20	7	7	5	35
21	6	7	5	35
22	7	7	5	35
23	8	7	5	35
24	8	7	5	35
25	8	7	5	35
26	7	7	5	35
27	6	7	5	35
28	6	7	5	35
29	8	7	5	35
30	8	7	5	35
31	8	7	5	35
32	8	7	5	35
33	10	5	5	25
34	9	7	5	35
35	7	7	5	35
36	7	7	5	35
37	7	7	5	35
38	10	5	5	25
39	10	5	5	25
40	7	7	5	35
41	6	7	5	35
42	7	7	5	35
43	7	7	5	35
44	7	7	5	35
45	6	7	5	35

No. Celda	D			
	Profundidad del Nivel estático (metros)	Valor ( $D_R$ )	Peso ( $D_W$ )	$D_R * D_W$
46	6	7	5	35
47	5	9	5	45
48	5	9	5	45
49	6	7	5	35
50	6	7	5	35
51	5	9	5	45
52	4	9	5	45
53	4	9	5	45
54	4	9	5	45
55	5	9	5	45
56	5	9	5	45
57	4	9	5	45
58	4	9	5	45
59	4	9	5	45
60	4	9	5	45
61	3	9	5	45
62	4	9	5	45
63	4	9	5	45
64	4	9	5	45
65	3	9	5	45
66	2	10	5	50
67	2	10	5	50
68	2	10	5	50
69	3	9	5	45
70	3	9	5	45
71	2	10	5	50
72	2	10	5	50
73	2	10	5	50
74	2	10	5	50
75	2	10	5	50
76	2	10	5	50
77	2	10	5	50
78	2	10	5	50
79	2	10	5	50
80	2	10	5	50
81	3	9	5	45
82	2	10	5	50
83	3	9	5	45
84	3	9	5	45
85	3	9	5	45
86	3	9	5	45
87	4	9	5	45
88	3	9	5	45
89	3	9	5	45

Tabla A2. Determinación de la recarga neta (R)

No. Celda	R			
	Recarga Neta (mm)	Valor (R <sub>R</sub> )	Peso (R <sub>W</sub> )	R <sub>R</sub> *R <sub>W</sub>
1	270	9	4	36
2	270	9	4	36
3	270	9	4	36
4	270	9	4	36
5	270	9	4	36
6	270	9	4	36
7	270	9	4	36
8	270	9	4	36
9	270	9	4	36
10	270	9	4	36
11	270	9	4	36
12	270	9	4	36
13	270	9	4	36
14	270	9	4	36
15	270	9	4	36
16	270	9	4	36
17	270	9	4	36
18	270	9	4	36
19	270	9	4	36
20	270	9	4	36
21	270	9	4	36
22	270	9	4	36
23	270	9	4	36
24	270	9	4	36
25	270	9	4	36
26	270	9	4	36
27	270	9	4	36
28	270	9	4	36
29	270	9	4	36
30	270	9	4	36
31	270	9	4	36
32	270	9	4	36
33	270	9	4	36
34	270	9	4	36
35	270	9	4	36
36	270	9	4	36
37	270	9	4	36
38	270	9	4	36
39	270	9	4	36
40	270	9	4	36
41	270	9	4	36
42	270	9	4	36
43	270	9	4	36
44	270	9	4	36
45	270	9	4	36

No. Celda	R			
	Recarga Neta (mm)	Valor ( $R_R$ )	Peso ( $R_W$ )	$R_R * R_W$
46	270	9	4	36
47	270	9	4	36
48	270	9	4	36
49	270	9	4	36
50	270	9	4	36
51	270	9	4	36
52	270	9	4	36
53	270	9	4	36
54	270	9	4	36
55	270	9	4	36
56	270	9	4	36
57	270	9	4	36
58	270	9	4	36
59	270	9	4	36
60	270	9	4	36
61	270	9	4	36
62	270	9	4	36
63	270	9	4	36
64	270	9	4	36
65	270	9	4	36
66	270	9	4	36
67	270	9	4	36
68	270	9	4	36
69	270	9	4	36
70	270	9	4	36
71	270	9	4	36
72	270	9	4	36
73	270	9	4	36
74	270	9	4	36
75	270	9	4	36
76	270	9	4	36
77	270	9	4	36
78	270	9	4	36
79	270	9	4	36
80	270	9	4	36
81	270	9	4	36
82	270	9	4	36
83	270	9	4	36
84	270	9	4	36
85	270	9	4	36
86	270	9	4	36
87	270	9	4	36
88	270	9	4	36
89	270	9	4	36

Tabla A.3 Determinación de la litología del acuífero (A)

No. Celda	A			
	Litología del acuífero	Valor (A <sub>R</sub> )	Peso (A <sub>W</sub> )	A <sub>R</sub> *A <sub>W</sub>
1	Grava y arena	9	3	27
2	Grava y arena	9	3	27
3	Grava y arena	9	3	27
4	Grava y arena	9	3	27
5	Grava y arena ligeramente arcillosa	7	3	21
6	Grava y arena ligeramente arcillosa	7	3	21
7	Grava y arena ligeramente arcillosa	7	3	21
8	Grava y arena ligeramente arcillosa	7	3	21
9	Grava y arena ligeramente arcillosa	7	3	21
10	Grava y arena	9	3	27
11	Grava y arena ligeramente arcillosa	7	3	21
12	Grava y arena con matriz arcillosa	4	3	12
13	Grava y arena con matriz arcillosa	4	3	12
14	Arena con grava y arcilla	5	3	15
15	Arena con grava y arcilla	5	3	15
16	Arena con grava y arcilla	5	3	15
17	Grava y arena con matriz arcillosa	4	3	12
18	Arena con grava y arcilla	5	3	15
19	Arena con grava y arcilla	5	3	15
20	Arena con grava y arcilla	5	3	15
21	Grava y arena ligeramente arcillosa	7	3	21
22	Grava y arena con matriz arcillosa	4	3	12
23	Grava y arena con matriz arcillosa	4	3	12
24	Grava y arena con matriz arcillosa	4	3	12
25	Arena con grava y arcilla	5	3	15
26	Grava y arena con matriz arcillosa	4	3	12
27	Arena y gravillas	8	3	24
28	Arena y gravillas	8	3	24
29	Arena y gravillas	8	3	24
30	Arena y gravillas	8	3	24
31	Arena y gravillas	8	3	24
32	Arena y gravillas	8	3	24
33	Grava y arena	9	3	27
34	Grava y arena	9	3	27
35	Arena y gravillas	8	3	24
36	Arena con grava y arcilla	5	3	15
37	Arena con grava y arcilla	5	3	15
38	Arena con grava y arcilla	5	3	15
39	Arena con grava y arcilla	5	3	15
40	Arena con grava y arcilla	5	3	15
41	Arena con grava y arcilla	5	3	15
42	Arena con grava y arcilla	5	3	15
43	Arena y gravilla con arcilla	6	3	18
44	Arena y gravilla con arcilla	6	3	18

No. Celda	A			
	Litología del acuífero	Valor (A <sub>R</sub> )	Peso (A <sub>W</sub> )	A <sub>R</sub> *A <sub>W</sub>
45	Arena y gravilla con arcilla	6	3	18
46	Arena y gravilla con arcilla	6	3	18
47	Arena y gravilla con arcilla	6	3	18
48	Grava y arena ligeramente arcillosa	7	3	21
49	Grava y arena ligeramente arcillosa	7	3	21
50	Grava y arena ligeramente arcillosa	7	3	21
51	Grava y arena ligeramente arcillosa	7	3	21
52	Grava y arena ligeramente arcillosa	7	3	21
53	Grava y arena ligeramente arcillosa	7	3	21
54	Grava y arena ligeramente arcillosa	7	3	21
55	Arena y gravillas	8	3	24
56	Arena y gravillas	8	3	24
57	Arena y gravillas	8	3	24
58	Arena y gravillas	8	3	24
59	Arena y gravillas	8	3	24
60	Arena y gravillas	8	3	24
61	Arena y gravillas	8	3	24
62	Arena y gravillas	8	3	24
63	Grava y arena	9	3	27
64	Grava y arena	9	3	27
65	Arena y gravillas	8	3	24
66	Arena y gravillas	8	3	24
67	Arena y gravillas	8	3	24
68	Grava y arena	9	3	27
69	Grava y arena	9	3	27
70	Arena y gravillas	8	3	24
71	Arena y gravillas	8	3	24
72	Grava y arena	9	3	27
73	Grava y arena	9	3	27
74	Grava y arena	9	3	27
75	Grava y arena	9	3	27
76	Grava y arena	9	3	27
77	Grava y arena	9	3	27
78	Grava y arena	9	3	27
79	Grava y arena	9	3	27
80	Grava y arena	9	3	27
81	Grava y arena	9	3	27
82	Grava y arena	9	3	27
83	Grava y arena	9	3	27
84	Grava y arena	9	3	27
85	Grava y arena	9	3	27
86	Grava y arena	9	3	27
87	Grava y arena	9	3	27
88	Grava y arena	9	3	27
89	Grava y arena	9	3	27

Tabla A.4 Determinación del tipo de suelo (S)

No. Celda	S			
	Tipo de suelo	Valor (S <sub>R</sub> )	Peso (S <sub>W</sub> )	S <sub>R</sub> *S <sub>W</sub>
1	Franco arenoso	6	2	12
2	Franco arenoso	6	2	12
3	Franco arenoso	6	2	12
4	Franco arenoso	6	2	12
5	Franco arenoso	6	2	12
6	Franco arenoso	6	2	12
7	Franco arenoso	6	2	12
8	Franco arenoso	6	2	12
9	Franco arenoso	6	2	12
10	Franco arenoso	6	2	12
11	Franco arenoso	6	2	12
12	Franco	5	2	10
13	Franco	5	2	10
14	Franco	5	2	10
15	Franco arenoso	6	2	12
16	Franco arenoso	6	2	12
17	Franco	5	2	10
18	Franco arenoso	6	2	12
19	Franco arenoso	6	2	12
20	Franco arenoso	6	2	12
21	Arena	9	2	18
22	Arena	9	2	18
23	Arena	9	2	18
24	Arena	9	2	18
25	Franco arenoso	6	2	12
26	Franco arenoso	6	2	12
27	Franco arenoso	6	2	12
28	Arena	9	2	18
29	Franco arenoso	6	2	12
30	Franco arenoso	6	2	12
31	Franco arenoso	6	2	12
32	Franco arenoso	6	2	12
33	Franco arenoso	6	2	12
34	Franco arenoso	6	2	12
35	Arena	9	2	18
36	Arena	9	2	18
37	Arena	9	2	18
38	Franco arenoso	6	2	12
39	Franco arenoso	6	2	12
40	Franco arenoso	6	2	12
41	Arena	9	2	18
42	Arena	9	2	18
43	Grava y arena	10	2	20
44	Grava y arena	10	2	20

No. Celda	S			
	Tipo de suelo	Valor (S <sub>R</sub> )	Peso (S <sub>W</sub> )	S <sub>R</sub> *S <sub>W</sub>
45	Grava y arena	10	2	20
46	Grava y arena	10	2	20
47	Grava y arena	10	2	20
48	Grava y arena	10	2	20
49	Grava y arena	10	2	20
50	Grava y arena	10	2	20
51	Grava y arena	10	2	20
52	Grava y arena	10	2	20
53	Arena	9	2	18
54	Arena	9	2	18
55	Grava y arena	10	2	20
56	Grava y arena	10	2	20
57	Arena	9	2	18
58	Arena	9	2	18
59	Arena	9	2	18
60	Arena	9	2	18
61	Arena	9	2	18
62	Arena	9	2	18
63	Grava y arena	10	2	20
64	Arena	9	2	18
65	Arena	9	2	18
66	Arena	9	2	18
67	Arena	9	2	18
68	Grava y arena	10	2	20
69	Grava y arena	10	2	20
70	Grava y arena	10	2	20
71	Arena	9	2	18
72	Grava y arena	10	2	20
73	Grava y arena	10	2	20
74	Grava y arena	10	2	20
75	Grava y arena	10	2	20
76	Grava y arena	10	2	20
77	Grava y arena	10	2	20
78	Grava y arena	10	2	20
79	Grava y arena	10	2	20
80	Grava y arena	10	2	20
81	Grava y arena	10	2	20
82	Grava y arena	10	2	20
83	Grava y arena	10	2	20
84	Grava y arena	10	2	20
85	Grava y arena	10	2	20
86	Grava y arena	10	2	20
87	Grava y arena	10	2	20
88	Grava y arena	10	2	20
89	Grava y arena	10	2	20

Tabla A.5 Determinación de la topografía (T)

No. Celda	T						
	Altura 1 (m)	Altura 2 (m)	Distancia (m)	Pendiente topográfica (%)	Valor ( $T_R$ )	Peso ( $T_W$ )	$T_R * T_W$
1	40	40	500	0	10	1	10
2	60	40	890	2	10	1	10
3	60	60	500	0	10	1	10
4	40	40	500	0	10	1	10
5	40	40	500	0	10	1	10
6	60	40	800	2	10	1	10
7	60	40	1000	2	10	1	10
8	60	40	150	4	9	1	9
9	60	40	50	4	9	1	9
10	40	40	500	0	10	1	10
11	40	40	500	0	10	1	10
12	40	40	500	0	10	1	10
13	60	40	370	4	9	1	9
14	80	40	300	8	5	1	5
15	60	60	500	0	10	1	10
16	60	40	850	2	10	1	10
17	100	40	370	12	5	1	5
18	100	60	110	8	5	1	5
19	60	60	500	0	10	1	10
20	60	60	500	0	10	1	10
21	60	60	500	0	10	1	10
22	60	60	500	0	10	1	10
23	100	60	110	8	5	1	5
24	100	60	130	8	5	1	5
25	60	60	500	0	10	1	10
26	60	60	500	0	10	1	10
27	60	60	500	0	10	1	10
28	60	60	500	0	10	1	10
29	80	60	30	4	9	1	9
30	100	80	450	4	9	1	9
31	120	80	110	8	5	1	5
32	100	60	340	8	5	1	5
33	60	60	500	0	10	1	10
34	60	60	500	0	10	1	10
35	80	60	50	4	9	1	9
36	120	100	225	4	9	1	9
37	120	120	500	0	10	1	10
38	60	60	500	0	10	1	10
39	60	60	500	0	10	1	10
40	100	60	310	8	5	1	5
41	120	100	300	4	9	1	9
42	120	120	500	0	10	1	10
43	60	60	500	0	10	1	10
44	80	60	225	4	9	1	9

No. Celda	T						
	Altura 1 (m)	Altura 2 (m)	Distancia (m)	Pendiente topográfica (%)	Valor (T <sub>R</sub> )	Peso (T <sub>W</sub> )	T <sub>R</sub> *T <sub>W</sub>
45	120	80	300	8	5	1	5
46	140	120	250	4	9	1	9
47	60	60	500	0	10	1	10
48	120	60	330	12	5	1	5
49	160	100	290	12	5	1	5
50	60	60	500	0	10	1	10
51	60	60	500	0	10	1	10
52	120	60	260	12	5	1	5
53	140	120	250	4	9	1	9
54	160	120	150	8	5	1	5
55	80	80	500	0	10	1	10
56	80	80	500	0	10	1	10
57	120	80	110	8	5	1	5
58	140	120	410	4	9	1	9
59	80	80	500	0	10	1	10
60	120	80	190	8	5	1	5
61	140	120	200	4	9	1	9
62	140	100	140	8	5	1	5
63	100	80	450	4	9	1	9
64	80	70	140	2	10	1	10
65	140	80	240	12	5	1	5
66	140	80	300	12	5	1	5
67	140	140	500	0	10	1	10
68	120	100	140	4	9	1	9
69	80	70	360	2	10	1	10
70	80	70	360	2	10	1	10
71	140	80	250	12	5	1	5
72	180	120	280	12	5	1	5
73	100	70	430	6	9	1	9
74	120	80	100	8	5	1	5
75	140	120	110	4	9	1	9
76	120	80	330	8	5	1	5
77	120	80	100	8	5	1	5
78	140	120	200	4	9	1	9
79	120	80	330	8	5	1	5
80	120	80	140	8	5	1	5
81	140	100	110	8	5	1	5
82	100	80	130	4	9	1	9
83	120	80	500	8	5	1	5
84	140	120	100	4	9	1	9
85	180	120	270	12	5	1	5
86	100	80	150	4	9	1	9
87	100	80	500	4	9	1	9
88	180	120	250	12	5	1	5
89	80	80	500	0	10	1	10

Tabla A. 6 Determinación del impacto de la zona vadosa (I)

No. Celda	I			
	Impacto de la zona vadosa	Valor (I <sub>R</sub> )	Peso (I <sub>W</sub> )	I <sub>R</sub> *I <sub>W</sub>
1	Grava y arena con arcilla	5	5	25
2	Grava y arena con arcilla	5	5	25
3	Grava y arena con arcilla	5	5	25
4	Grava, gravilla y arena ligeramente arcillosas	7	5	35
5	Grava, gravilla y arena ligeramente arcillosas	7	5	35
6	Grava y arena con arcilla	5	5	25
7	Grava y arena con arcilla	5	5	25
8	Grava, gravilla y arena ligeramente arcillosa	7	5	35
9	Grava, gravilla y arena ligeramente arcillosa	7	5	35
10	Grava y arena con arcilla	5	5	25
11	Gravilla y arena	8	5	40
12	Gravilla y arena	8	5	40
13	Gravilla y arena	8	5	40
14	Grava y arena con arcilla	5	5	25
15	Grava y arena con arcilla	5	5	25
16	Grava y arena con arcilla	5	5	25
17	Grava y arena con arcilla	5	5	25
18	Grava y arena con arcilla	5	5	25
19	Grava y arena con arcilla	5	5	25
20	Gravilla con arena y arcilla	6	5	30
21	Gravilla con arena y arcilla	6	5	30
22	Gravilla con arena y arcilla	6	5	30
23	Gravilla con arena y arcilla	6	5	30
24	Gravilla con arena y arcilla	6	5	30
25	Grava y arena empacada en arcilla	4	5	20
26	Grava y arena empacada en arcilla	4	5	20
27	Grava y arena empacada en arcilla	4	5	20
28	Grava y arena empacada en arcilla	4	5	20
29	Grava y arena empacada en arcilla	4	5	20
30	Grava y arena con arcilla	5	5	25
31	Grava y arena con arcilla	5	5	25
32	Grava y arena con arcilla	5	5	25
33	Grava y arena con arcilla	5	5	25
34	Grava y arena con arcilla	5	5	25
35	Grava y arena con arcilla	5	5	25
36	Grava, gravilla y arena	8	5	40
37	Grava y arena	9	5	45
38	Grava y arena con arcilla	5	5	25
39	Grava y arena con arcilla	5	5	25
40	Grava, gravilla y arena	8	5	40
41	Grava y arena	9	5	45
42	Grava y arena	9	5	45
43	Grava, gravilla y arena	8	5	40
44	Grava, gravilla y arena	8	5	40

No. Celda	I			
	Impacto de la zona vadosa	Valor (I <sub>R</sub> )	Peso (I <sub>W</sub> )	I <sub>R</sub> *I <sub>W</sub>
45	Grava y arena	9	5	45
46	Grava y arena	9	5	45
47	Grava y arena	9	5	45
48	Grava y arena	9	5	45
49	Grava y arena	9	5	45
50	Grava y arena	9	5	45
51	Grava y arena	9	5	45
52	Grava y arena	9	5	45
53	Grava y arena	9	5	45
54	Grava y arena	9	5	45
55	Grava y arena	9	5	45
56	Grava y arena	9	5	45
57	Grava y arena	9	5	45
58	Grava y arena	9	5	45
59	Grava y arena	9	5	45
60	Grava y arena	9	5	45
61	Grava y arena	9	5	45
62	Grava y arena	9	5	45
63	Grava y arena	9	5	45
64	Grava y arena	9	5	45
65	Grava y arena	9	5	45
66	Grava, gravilla y arena	8	5	40
67	Grava, gravilla y arena	8	5	40
68	Grava, gravilla y arena	8	5	40
69	Grava, gravilla y arena	8	5	40
70	Grava, gravilla y arena	8	5	40
71	Grava y arena	9	5	45
72	Grava, gravilla y arena	8	5	40
73	Grava, gravilla y arena	8	5	40
74	Grava y arena	9	5	45
75	Grava y arena	9	5	45
76	Grava y arena	9	5	45
77	Grava y arena	9	5	45
78	Grava y arena	9	5	45
79	Grava y arena	9	5	45
80	Grava y arena	9	5	45
81	Grava y arena	9	5	45
82	Grava y arena	9	5	45
83	Grava y arena	9	5	45
84	Grava y arena	9	5	45
85	Grava y arena	9	5	45
86	Grava y arena	9	5	45
87	Grava y arena	9	5	45
88	Grava y arena	9	5	45
89	Grava y arena	9	5	45

Tabla A.7 Determinación de la conductividad hidráulica (C)

No. Celda	C			
	Conductividad hidráulica (m/día)	Valor (C <sub>R</sub> )	Peso (C <sub>W</sub> )	C <sub>R</sub> *C <sub>W</sub>
1	0,44	1	3	3
2	0,44	1	3	3
3	0,44	1	3	3
4	0,44	1	3	3
5	0,44	1	3	3
6	0,88	1	3	3
7	0,44	1	3	3
8	0,20	1	3	3
9	0,44	1	3	3
10	0,44	1	3	3
11	0,44	1	3	3
12	0,44	1	3	3
13	0,44	1	3	3
14	0,44	1	3	3
15	0,44	1	3	3
16	0,44	1	3	3
17	0,44	1	3	3
18	0,44	1	3	3
19	0,44	1	3	3
20	0,44	1	3	3
21	0,44	1	3	3
22	0,44	1	3	3
23	0,44	1	3	3
24	0,44	1	3	3
25	0,44	1	3	3
26	0,44	1	3	3
27	0,44	1	3	3
28	0,44	1	3	3
29	0,44	1	3	3
30	0,44	1	3	3
31	0,44	1	3	3
32	0,44	1	3	3
33	0,25	1	3	3
34	0,44	1	3	3
35	0,44	1	3	3
36	0,44	1	3	3
37	0,44	1	3	3
38	0,44	1	3	3
39	0,44	1	3	3
40	0,44	1	3	3
41	0,44	1	3	3
42	0,44	1	3	3
43	0,44	1	3	3
44	0,44	1	3	3

No. Celda	C			
	Conductividad hidráulica (m/día)	Valor (C <sub>R</sub> )	Peso (C <sub>W</sub> )	C <sub>R</sub> *C <sub>W</sub>
45	0,44	1	3	3
46	0,44	1	3	3
47	0,44	1	3	3
48	0,44	1	3	3
49	0,44	1	3	3
50	0,44	1	3	3
51	0,44	1	3	3
52	0,44	1	3	3
53	0,44	1	3	3
54	0,44	1	3	3
55	0,44	1	3	3
56	0,44	1	3	3
57	0,44	1	3	3
58	0,44	1	3	3
59	0,44	1	3	3
60	0,44	1	3	3
61	0,44	1	3	3
62	0,44	1	3	3
63	0,44	1	3	3
64	0,44	1	3	3
65	0,44	1	3	3
66	0,44	1	3	3
67	0,44	1	3	3
68	0,44	1	3	3
69	0,44	1	3	3
70	0,44	1	3	3
71	0,44	1	3	3
72	0,44	1	3	3
73	0,44	1	3	3
74	0,44	1	3	3
75	0,44	1	3	3
76	0,44	1	3	3
77	0,44	1	3	3
78	0,44	1	3	3
79	0,44	1	3	3
80	0,44	1	3	3
81	0,44	1	3	3
82	0,44	1	3	3
83	0,44	1	3	3
84	0,44	1	3	3
85	0,44	1	3	3
86	0,44	1	3	3
87	0,44	1	3	3
88	0,44	1	3	3
89	0,44	1	3	3

Tabla A.8 Cálculo del índice DRASTIC

No. Celda	PARÁMETROS							ÍNDICE DRASTIC	CLASIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD
	D	R	A	S	T	I	C		
	$D_R * D_W$	$R_R * R_W$	$A_R * A_W$	$S_R * S_W$	$T_R * T_W$	$I_R * I_W$	$C_R * C_W$		
1	35	36	27	12	10	25	3	148	Media
2	35	36	27	12	10	25	3	148	Media
3	45	36	27	12	10	25	3	158	Media
4	35	36	27	12	10	35	3	158	Media
5	35	36	21	12	10	35	3	152	Media
6	35	36	21	12	10	25	3	142	Baja
7	35	36	21	12	10	25	3	142	Baja
8	35	36	21	12	10	35	3	151	Media
9	35	36	21	12	1	35	3	151	Media
10	35	36	27	12	10	25	3	148	Media
11	35	36	21	12	10	40	3	157	Media
12	35	36	12	10	10	40	3	146	Media
13	35	36	12	10	9	40	3	145	Media
14	35	36	15	10	3	25	3	129	Baja
15	35	36	15	12	10	25	3	136	Baja
16	35	36	15	12	10	25	3	136	Baja
17	35	36	12	10	3	25	3	126	Baja
18	35	36	15	12	1	25	3	131	Baja
19	35	36	15	12	10	25	3	136	Baja
20	35	36	15	12	10	30	3	141	Baja
21	35	36	21	18	10	30	3	153	Media
22	35	36	12	18	10	30	3	144	Media
23	35	36	12	18	1	30	3	139	Baja
24	35	36	12	18	1	30	3	139	Baja
25	35	36	15	12	10	20	3	131	Baja

No. Celda	PARÁMETROS							ÍNDICE DRASTIC	CLASIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD
	D	R	A	S	T	I	C		
	$D_R * D_W$	$R_R * R_W$	$A_R * A_W$	$S_R * S_W$	$T_R * T_W$	$I_R * I_W$	$C_R * C_W$		
26	35	36	12	12	10	20	3	128	Baja
27	35	36	24	12	10	20	3	140	Baja
28	35	36	24	18	10	20	3	146	Media
29	35	36	24	12	1	20	3	139	Baja
30	35	36	24	12	9	25	3	144	Media
31	35	36	24	12	1	25	3	140	Baja
32	35	36	24	12	5	25	3	140	Baja
33	25	36	27	12	10	25	3	138	Baja
34	35	36	27	12	10	25	3	148	Media
35	35	36	24	18	1	25	3	150	Media
36	35	36	15	18	5	40	3	156	Media
37	35	36	15	18	10	45	3	162	Alta
38	25	36	15	12	10	25	3	126	Baja
39	25	36	15	12	10	25	3	126	Baja
40	35	36	15	12	3	40	3	146	Media
41	35	36	15	18	5	45	3	161	Alta
42	35	36	15	18	10	45	3	162	Alta
43	35	36	18	20	10	40	3	162	Alta
44	35	36	18	20	5	40	3	161	Alta
45	35	36	18	20	3	45	3	162	Alta
46	35	36	18	20	5	45	3	166	Alta
47	45	36	18	20	10	45	3	177	Muy Alta
48	45	36	21	20	3	45	3	175	Muy Alta
49	35	36	21	20	1	45	3	165	Alta
50	35	36	21	20	10	45	3	170	Alta
51	45	36	21	20	10	45	3	180	Muy Alta
52	45	36	21	20	1	45	3	175	Muy Alta

No. Celda	PARÁMETROS							ÍNDICE DRASTIC	CLASIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD
	D	R	A	S	T	I	C		
	$D_R * D_W$	$R_R * R_W$	$A_R * A_W$	$S_R * S_W$	$T_R * T_W$	$I_R * I_W$	$C_R * C_W$		
53	45	36	21	18	5	45	3	177	Muy Alta
54	45	36	21	18	1	45	3	173	Alta
55	35	36	24	20	10	45	3	183	Muy Alta
56	45	36	24	20	10	45	3	183	Muy Alta
57	45	36	24	18	1	45	3	176	Muy Alta
58	45	36	24	18	9	45	3	180	Muy Alta
59	45	36	24	18	10	45	3	181	Muy Alta
60	45	36	24	18	1	45	3	176	Muy Alta
61	45	36	24	18	5	45	3	180	Muy Alta
62	45	36	24	18	1	45	3	176	Muy Alta
63	45	36	27	20	9	45	3	185	Muy Alta
64	45	36	27	18	5	45	3	184	Muy Alta
65	45	36	24	18	1	45	3	176	Muy Alta
66	50	36	24	18	1	40	3	176	Muy Alta
67	50	36	24	18	10	40	3	181	Muy Alta
68	50	36	27	20	3	40	3	185	Muy Alta
69	45	36	27	20	9	40	3	181	Muy Alta
70	45	36	24	20	9	40	3	178	Muy Alta
71	50	36	24	18	1	45	3	181	Muy Alta
72	50	36	27	20	1	40	3	181	Muy Alta
73	50	36	27	20	5	40	3	185	Muy Alta
74	50	36	27	20	1	45	3	186	Muy Alta
75	50	36	27	20	3	45	3	190	Muy Alta
76	50	36	27	20	5	45	3	186	Muy Alta
77	50	36	27	20	1	45	3	186	Muy Alta
78	50	36	27	20	5	45	3	190	Muy Alta
79	50	36	27	20	5	45	3	186	Muy Alta

No. Celda	PARÁMETROS							ÍNDICE DRASTIC	CLASIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD
	D	R	A	S	T	I	C		
	$D_R * D_W$	$R_R * R_W$	$A_R * A_W$	$S_R * S_W$	$T_R * T_W$	$I_R * I_W$	$C_R * C_W$		
80	50	36	27	20	1	45	3	186	Muy Alta
81	45	36	27	20	1	45	3	181	Muy Alta
82	50	36	27	20	3	45	3	190	Muy Alta
83	45	36	27	20	5	45	3	181	Muy Alta
84	45	36	27	20	10	45	3	185	Muy Alta
85	45	36	27	20	1	45	3	181	Muy Alta
86	45	36	27	20	3	45	3	185	Muy Alta
87	45	36	27	20	9	45	3	185	Muy Alta
88	45	36	27	20	1	45	3	181	Muy Alta
89	45	36	27	20	10	45	3	186	Muy Alta

## **ANEXO B**

### **ESCALA DE ACTITUD HACIA LA PROTECCIÓN DEL ACUÍFERO DEL ARROYO ALAMAR**

## ESCALA DE ACTITUD HACIA LA PROTECCIÓN DEL ACUÍFERO DEL ARROYO ALAMAR

Este cuestionario es para conocer su opinión sobre la contaminación del agua subterránea del Arroyo Alamar. Su participación es anónima y confidencial. Muchas gracias por su colaboración.

En cada afirmación marque con una X la opción que esté más de acuerdo con su opinión. Elija una sola respuesta para cada proposición. Si desea anular una respuesta para cambiarla por otra, enciérrrela en un círculo y vuelva a contestar. No existen respuestas correctas o incorrectas, necesitamos conocer su opinión sincera sobre cada aseveración.

**Agua subterránea:** es la que vemos a través de pozos y norias y está abajo del suelo

No.	Afirmaciones	Totalmente de Acuerdo	De Acuerdo	Indiferente	En Desacuerdo	Totalmente en Desacuerdo
1.	El agua subterránea está contaminada					
2.	La basura depositada en el Arroyo ensucia el agua subterránea					
3.	Las personas que usan el agua subterránea son quienes deben hacer algo para cuidarla					
4.	Las descargas de agua negras en el Arroyo contaminan el agua subterránea					
5.	El cuidado del agua subterránea sólo es responsabilidad del gobierno					
6.	El agua subterránea del Alamar es importante para la ciudad de Tijuana					
7.	El cuidado del agua subterránea no representa ningún beneficio para mi					
8.	Las autoridades buscan la comunicación con los vecinos para el cuidado conjunto del agua subterránea.					
9.	Yo no puedo hacer nada para evitar que el agua subterránea se contamine					
10.	Las autoridades nos explican como podemos evitar la contaminación del agua subterránea					
11.	Todos nos beneficiamos al cuidar el agua subterránea					

No.	Afirmaciones	Totalmente de Acuerdo	De Acuerdo	Indiferente	En Desacuerdo	Totalmente en Desacuerdo
12.	A mi no me afecta que el agua subterránea esté contaminada					
13.	Me gustaría aprender más sobre como cuidar el agua subterránea					
14.	No vale la pena cuidar el agua subterránea del Alamar					
15.	Las autoridades atienden inmediatamente los reportes que hacen los vecinos cuando hay basura en el Arroyo					
16.	No tengo ningún interés por cuidar el agua subterránea					
17.	Es importante que los vecinos reporten a las autoridades los focos de contaminación que hay en el Alamar					
18.	La contaminación del agua subterránea es culpa de las industrias					
19.	Si yo pudiera hacer algo para cuidar el agua subterránea lo haría					
20.	La contaminación del agua subterránea se puede evitar					
21.	Quisiera participar activamente en un programa para cuidar el agua subterránea					
22.	La contaminación del agua subterránea no es un problema					
23.	Me molesta ver el Arroyo lleno de basura					
24.	No es necesario cuidar el agua subterránea ya que la ciudad de Tijuana se abastece del Río Colorado.					
25.	El agua subterránea es un recurso valioso que debemos cuidar					
26.	La contaminación del agua subterránea del Alamar afecta la salud de quienes aquí vivimos					
27.	hace falta más información acerca del cuidado del agua subterránea					
28.	Las autoridades hacen caso a los reportes de los vecinos sobre objetos (animales muertos, desechos diversos) que contaminan el agua subterránea.					
29.	Me preocupa el saber que una fuente de agua subterránea como es el Alamar este contaminada					
30.	Estoy a favor de que se cree un programa para cuidar el agua subterránea del Alamar.					

**ANEXO C**  
**MATRIZ DE CORRELACIÓN ENTRE LAS AFIRMACIONES DE**  
**LA ESCALA DE ACTITUD**

Matriz de correlación (Pearson (n)):

Variables	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	1	0,266	0,037	0,231	0,025	0,050	-0,043	0,086	-0,028	0,041	0,216	0,012	0,124	-0,017	0,134	0,013	0,043	0,177	0,198	0,142	0,219	0,064	0,019	0,000	0,196	0,206	0,206	-0,212	0,155	0,099
2	0,266	1	0,030	0,511	0,033	0,130	0,061	-0,123	0,030	-0,169	0,233	0,007	0,113	0,032	-0,011	0,034	0,065	0,210	0,077	0,128	0,276	0,052	0,075	0,007	0,183	0,161	0,161	-0,482	0,136	0,216
3	0,037	0,030	1	0,235	0,368	0,328	0,437	-0,053	0,380	0,032	0,179	0,303	0,199	0,339	-0,387	0,350	0,180	0,243	0,178	0,219	0,240	0,268	0,036	0,359	0,140	0,137	0,137	-0,260	0,089	0,095
4	0,231	0,511	0,235	1	0,133	0,179	0,026	-0,119	0,100	0,040	0,202	0,002	0,204	0,433	-0,374	0,013	0,045	0,060	0,058	0,225	0,320	0,170	0,060	0,405	0,157	0,137	0,137	-0,439	0,158	0,188
5	0,025	0,033	0,368	0,133	1	0,188	0,401	-0,041	0,427	-0,003	0,339	0,261	0,314	0,421	-0,312	0,172	0,057	0,349	0,298	0,342	0,223	0,347	0,046	0,393	0,266	0,295	0,295	-0,174	0,311	0,143
6	0,050	0,130	0,328	0,179	0,188	1	0,536	0,200	0,537	0,246	0,566	0,410	0,399	0,286	-0,216	0,459	0,208	0,022	0,406	0,481	0,528	0,315	0,137	0,313	0,375	0,399	0,399	-0,199	0,348	0,358
7	-0,043	0,061	0,437	0,026	0,401	0,536	1	0,121	0,672	0,066	0,443	0,434	0,462	0,144	-0,088	0,329	0,163	0,168	0,332	0,375	0,401	0,231	0,070	0,293	0,335	0,375	0,375	-0,253	0,316	0,238
8	0,086	-0,123	-0,053	-0,119	-0,041	0,200	0,121	1	0,065	0,790	0,142	0,079	0,145	-0,048	0,200	0,083	0,048	-0,057	0,187	0,194	0,154	0,042	-0,102	0,012	0,125	0,120	0,120	0,136	0,169	0,082
9	-0,028	0,030	0,380	0,100	0,427	0,537	0,672	0,065	1	0,089	0,392	0,513	0,502	0,409	-0,284	0,364	0,147	0,124	0,336	0,406	0,488	0,346	0,076	0,470	0,353	0,395	0,395	-0,232	0,378	0,228
10	0,041	-0,169	0,032	0,040	-0,003	0,246	0,066	0,790	0,089	1	0,084	0,053	0,106	0,059	-0,081	0,020	-0,045	-0,153	0,137	0,079	0,053	0,044	0,094	0,125	0,036	0,058	0,058	0,124	0,111	0,000
11	0,216	0,233	0,179	0,202	0,339	0,566	0,443	0,142	0,392	0,084	1	0,434	0,533	0,359	-0,113	0,496	0,351	0,218	0,665	0,653	0,466	0,521	0,299	0,416	0,734	0,805	0,805	-0,138	0,763	0,512
12	0,012	0,007	0,303	0,002	0,261	0,410	0,434	0,079	0,513	0,053	0,434	1	0,556	0,447	-0,063	0,334	0,178	0,152	0,454	0,429	0,402	0,419	0,081	0,411	0,483	0,528	0,528	0,032	0,497	0,288
13	0,124	0,113	0,199	0,204	0,314	0,399	0,462	0,145	0,502	0,106	0,533	0,556	1	0,480	-0,139	0,295	0,262	0,078	0,555	0,594	0,624	0,515	0,156	0,466	0,621	0,657	0,657	-0,012	0,586	0,533
14	-0,017	0,032	0,339	0,433	0,421	0,286	0,144	-0,048	0,409	0,059	0,359	0,447	0,480	1	-0,508	0,249	0,393	0,093	0,410	0,494	0,336	0,475	0,039	0,621	0,381	0,410	0,410	0,026	0,391	0,198
15	0,134	-0,011	-0,387	-0,374	-0,312	-0,216	-0,088	0,200	-0,284	-0,081	-0,113	-0,063	-0,139	-0,508	1	-0,155	-0,311	-0,052	-0,020	-0,125	-0,080	-0,137	-0,035	-0,594	-0,094	-0,084	-0,084	0,334	-0,059	-0,118
16	0,013	0,034	0,350	0,013	0,172	0,459	0,329	0,083	0,364	0,020	0,496	0,334	0,295	0,249	-0,155	1	0,152	0,193	0,452	0,408	0,261	0,635	0,114	0,353	0,441	0,479	0,479	-0,149	0,422	0,269
17	0,043	0,065	0,180	0,045	0,057	0,208	0,163	0,048	0,147	-0,045	0,351	0,178	0,262	0,393	-0,311	0,152	1	-0,009	0,340	0,407	0,353	0,136	0,165	0,202	0,359	0,358	0,358	-0,028	0,370	0,418
18	0,177	0,210	0,243	0,060	0,349	0,022	0,168	-0,057	0,124	-0,153	0,218	0,152	0,078	0,093	-0,052	0,193	-0,009	1	0,187	0,179	0,199	0,152	-0,095	0,227	0,203	0,201	0,201	-0,218	0,153	0,104
19	0,198	0,077	0,178	0,058	0,298	0,406	0,332	0,187	0,336	0,137	0,665	0,454	0,555	0,410	-0,020	0,452	0,340	0,187	1	0,734	0,563	0,575	0,137	0,485	0,789	0,843	0,843	-0,039	0,763	0,456
20	0,142	0,128	0,219	0,225	0,342	0,481	0,375	0,194	0,406	0,079	0,653	0,429	0,594	0,494	-0,125	0,408	0,407	0,179	0,734	1	0,662	0,631	0,155	0,609	0,753	0,740	0,740	-0,034	0,743	0,524
21	0,219	0,276	0,240	0,320	0,223	0,528	0,401	0,154	0,488	0,053	0,466	0,402	0,624	0,336	-0,080	0,261	0,353	0,199	0,563	0,662	1	0,404	0,146	0,411	0,577	0,580	0,580	-0,168	0,508	0,534
22	0,064	0,052	0,268	0,170	0,347	0,315	0,231	0,042	0,346	0,044	0,521	0,419	0,515	0,475	-0,137	0,635	0,136	0,152	0,575	0,631	0,404	1	0,079	0,542	0,564	0,604	0,604	0,003	0,583	0,261
23	0,019	0,075	0,036	0,060	0,046	0,137	0,070	-0,102	0,076	0,094	0,299	0,081	0,156	0,039	-0,035	0,114	0,165	-0,095	0,137	0,155	0,146	0,079	1	0,058	0,217	0,253	0,253	-0,033	0,223	0,253
24	0,000	0,007	0,359	0,405	0,393	0,313	0,293	0,012	0,470	0,125	0,416	0,411	0,466	0,621	-0,594	0,353	0,202	0,227	0,485	0,609	0,411	0,542	0,058	1	0,494	0,505	0,505	-0,278	0,476	0,294
25	0,196	0,183	0,140	0,157	0,266	0,375	0,335	0,125	0,353	0,036	0,734	0,483	0,621	0,381	-0,094	0,441	0,359	0,203	0,789	0,753	0,577	0,564	0,217	0,494	1	0,963	0,963	-0,127	0,873	0,777
26	0,206	0,161	0,137	0,137	0,295	0,399	0,375	0,120	0,395	0,058	0,805	0,528	0,657	0,410	-0,084	0,479	0,358	0,201	0,843	0,740	0,580	0,604	0,253	0,505	0,963	1	1,000	-0,100	0,907	0,681
27	0,206	0,161	0,137	0,137	0,295	0,399	0,375	0,120	0,395	0,058	0,805	0,528	0,657	0,410	-0,084	0,479	0,358	0,201	0,843	0,740	0,580	0,604	0,253	0,505	0,963	1,000	1	-0,100	0,907	0,681
28	-0,212	-0,482	-0,260	-0,439	-0,174	-0,199	-0,253	0,136	-0,232	0,124	-0,138	0,032	-0,012	0,026	0,334	-0,149	-0,028	-0,218	-0,039	-0,034	-0,168	0,003	-0,033	-0,278	-0,127	-0,100	-0,100	1	-0,079	-0,152
29	0,155	0,136	0,089	0,158	0,311	0,348	0,316	0,169	0,378	0,111	0,763	0,497	0,586	0,391	-0,059	0,422	0,370	0,153	0,763	0,743	0,508	0,583	0,223	0,476	0,873	0,907	0,907	-0,079	1	0,614
30	0,099	0,216	0,095	0,188	0,143	0,358	0,238	0,082	0,228	0,000	0,512	0,288	0,533	0,198	-0,118	0,269	0,418	0,104	0,456	0,524	0,534	0,261	0,253	0,294	0,777	0,681	0,681	-0,152	0,614	1