

03095
H



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA
INSTITUTO DE GEOFÍSICA

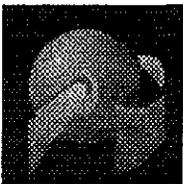
"VALIDACIÓN DE MAPAS DE VULNERABILIDAD ACUÍFERA E
IMPACTO AMBIENTAL: CASO RÍO TURBIO, GUANAJUATO."

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA
(AGUAS SUBTERRÁNEAS)

PRESENTA:

JOSÉ ALFREDO RAMOS LEAL



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

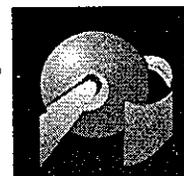
DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA



Universidad Nacional Autónoma de México

Oí. No.. PCT/JOCE/533/01

Asunto: Asignación de jurado para examen de grado.,

JOSÉ ALFREDO RAMOS LEAL

Estudiante de Doctorado
Aguas Subterráneas
Presente,

El Comité Académico del Posgrado, reunido en sesión ordinaria el 29 de mayo del año en curso, aprobó a los siguientes investigadores como su jurado de examen de grado para defender la Tesis titulada "Validación de mapas de vulnerabilidad acuífera e impacto ambiental: Caso Río Turbio, Guanajuato":

Dr. Luis Miguel Mitre	Presidente
Dr. Rafael Hui'zar Alvarez	Vocal
Dra.. Ma. Aurora Armienta Hernández	Vocal
Dr., Ángel Nieto	Vocal
Dr., Ramiro Rodríguez Castillo	Secretario
Dra., Man'za Mazarí Hiriart	Suplente
Dr. Sergio Rodríguez Elizarraras	Suplente

Sin otro particular por el momento, reciba un saludo cordial,

Atentamente,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"

Ciudad Universitaria. ^ 30 de mayo de 2001.

EL COORDINADOR DEL PROGRAMA

DR. J. OSCAR FRICTOS ENRIQUEZ

ccp, Tutor
cap.. Miembros del Jurado
ccp, Archivo

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento al Dr. Ramiro Rodríguez por la asesoría y apoyo en el desarrollo del presente trabajo.

Agradezco a la Dra. Ma. Aurora Armienta Hernández y Dra. Mariza Mazarí Hiriart; así como, a los Doctores Luis Miguel Mitre Salazar, Ángel Nieto Samaniego, Sergio Rodríguez Elizarraras y Rafael Huizar Álvarez miembros del jurado examinador, por sus comentarios y sugerencias en la revisión de la presente tesis.

También agradezco al Dr. Tomás González Moran por sus acertados comentarios referentes a la estructuración del presente trabajo; al M. en C. Ismael Sandoval Montes por la revisión de la redacción y comentarios, del presente trabajo; al Ing. José Luis Cruz José del CEAG por las facilidades otorgadas en la recopilación de la información relacionadas con el área de estudio.

A la Fis. Alejandra Cortés Silva y a los Ings. Sergio González Blanco y Ulises Absalón por permitirme colaborar en sus proyectos desarrollados en la región, lo cual fue muy importante culminación del presente trabajo,

Al Dr. Kevin Jóhannesson, M. en C. Alejandro Ramírez, M. en C. Taimé Durazo, M. en C. Raymundo Reyes y a los pasantes Luis Ernesto Banón y Angélica Salas por su grata compañía y comentarios durante los recorridos de campo.

Hago extensivo mi agradecimiento a todos mis amigos y profesores del Posgrado que tuvieron un papel importante en el desarrollo de mi formación académica.

La realización del proyecto doctoral fue financiada por una beca DGAPA, sin la cual no hubiese sido posible la realización del plan doctoral.

Finalmente mi reconocimiento a la familia Ramos Leal por el apoyo incondicional en el transcurso del presente trabajo.



VALIDACIÓN DE MAPAS DE VULNERABILIDAD ACUIFERA E IMPACTO AMBIENTAL: CASO RIO TURBIO, GUANAJUATO.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	2
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2	OBJETIVOS	4
1.3	METAS ESPECIFICAS	4
1.4	ANTECEDENTES	4
1.5	METODOLOGÍA	5
2	METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS	8
2.1	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS (AVI)	9
2.2	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS DRÁSTIC	11
2.2.1	PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO	15
2.2.2	RECARGA NETA	16
2.2.3	MEDIO ACUÍFERO	17
2.2.4	TIPO DE SUELO	18
2.2.5	GRADIENTE TOPOGRÁFICO	19
2.2.6	IMPACTO A LA ZONA VADOSA	20
2.2.7	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA	21
2.3	USOS DE MAPAS DE VULNERABILIDAD	22
3	VALIDACIÓN DE MAPAS DE VULNERABILIDAD	23
3.1	METODOLOGÍA PROPUESTA PARA VALIDAR MAPAS DE VULNERABILIDAD	23
3.2	CASOS PREVIOS DE VALIDACIÓN	26
3.3	VALIDACIÓN Y GRADO DE CONFIABILIDAD DE LOS MAPAS DE VULNERABILIDAD	27
4	CASO RÍO TURBIO	51
4.1	ESTRATIGRAFÍA	31
4.2	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	36
4.3	HIDROGEOLOGÍA	37
4.4	CONDICIONES DE FLUJO EN LAS ESTRUCTURAS PRESENTES	37
5	OBTENCIÓN Y CORRELACIÓN DE PARÁMETROS DE VULNERABILIDAD EN EL RÍO TURBIO	41
5.1	PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO	43
5.2	RECARGA NETA	49
5.3	LITOLOGÍA DEL ACUÍFERO	51
5.4	TIPO DE SUELOS	55
5.5	GRADIENTE TOPOGRÁFICO	55
5.6	IMPACTO A LA ZONA VADOSA	58
5.7	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA	58
6	VALIDACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN VALLE DEL RÍO TURBIO	65
6.1	VULNERABILIDAD CON DR AS IIC	65



6 2 VULNERABILIDAD CON AVI (AQUIFER VULNERABILITY INDEX)	65
6 3.SENSIBILIDAD DE PARÁMETROS DEL MÉTODO DRASTIC	68
6 4 ANÁLISIS DE VARIABILIDAD DE PARÁMETROS DEL MÉTODO DRASTIC	71
6 5 ANÁLISIS DE PESOS DE PARÁMETROS DEL MÉTODO DRASTIC	72
6 6 CORRELACIÓN DE DOS MÉTODOS DE VULNERABILIDAD	73
6 7 CORRELACIÓN DE VULNERABILIDAD CON COMPONENTES QUÍMICOS	75

7 FUENTES POTENCIALES E IMPACTO AMBIENTAL 79

7 1 TIPO DE FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN	79
7 2 MAPAS DE RIESGO DE CONTAMINACIÓN AL ACUIFERO	80
7 2 IMPACTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA	82

8 CONCLUSIONES 91

BIBLIOGRAFÍA 94

ANEXO A Funciones de transformación para parámetros de DRASTIC a) Profundidad del nivel estático, b) Recarga neta, c) Gradiente topográfico y d) Conductividad Hidráulica

ANEXO B Datos geoestadísticos del modelo exponencial para profundidades del nivel estático,

ANEXO C Tabla de porcentajes y pesos para diferentes componentes físicos y químicos del agua (Bascaron, 1979, en Conesa, 1993)

ANEXO D Tabla de aprovechamientos con datos hidrogeoquímicos en el Valle del Río Turbio (CEASG, 1995)



LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1.- Localización del área de estudio,

Figura 2,1,- Figura de parámetros del método Acuíferi Vulnerability Index (AVI),

Figura 2,2,- Figura de parámetros del método DRASTIG.

Figura 2 3 - Sumatoria de superficies paramétricas.

Figura 3.1 - Correlación de vulnerabilidad con mapas morfométricos del Valle de Tangancicuaro.

Figura 3.2- Vulnerabilidad DRASTIC en la Sierra de Santa Catarina,

Figura 4.1 - Columna estratigráfica del Valle del Río Turbio

Figura 4.2- Mapa geológico del Valle del Río Turbio.

Figura 4,3- Modelo geológico-estructural del Valle del Río Turbio.

Figura 4.4 -Piezometría del Valle del Río Turbio para el año 1995.

Figura 5.1 - Funciones de transformación para parámetros (profundidad del nivel estático, recarga neta, gradiente topográfico y conductividad hidráulica) del método DRASTIC,

Figura "5.2.- Distribución de la variación temporal de la piezometría y el índice DRASTIC para profundidades (mapa base CEASG,1995)

Figura 5.3- Variación del índice DRASTIC para profundidad considerando el nivel dinámico,

Figura 5.4 - Comparación de parámetros tomados en campo y la transformación de estos en índices parciales en El Valle del Río Turbio. a) Distribución de la profundidad b) Distribución del índice DRASTIC para profundidad,

Figura 5.5- Correlación y frecuencias para profundidades del nivel estático y su correspondiente índice DRASTIC,

Figura 5,6- Variación temporal del índice DRASTIC con la recarga neta en el Valle del Río Turbio (Plano base CEASG, 1995).

Figura 5.7- Comparación de la recarga neta y la transformación el mismo parámetro en índices parciales del Valle del Río Turbio, a) Distribución de la recarga neta en mm, b) Distribución del índice DRASTIC para recarga neta,

Figura 5.8- Correlaciones y frecuencias entre recarga neta y su correspondiente índice DRASTIC en estaciones climatológicas en el Valle del Río Turbio.

Figura 5,9- Comparación entre a) Geología y b) Distribución del índice DRASTIC para tipo de acuífero en el Valle del Río Turbio,

Figura 5,10- Comparación entre a) Distribución de suelos y b) Distribución del índice DRASTIC para tipo de suelo en el Valle del Río Turbio.

Figura 5.11- Comparación entre a) Relieve topográfico y b) índice DRASTIC para este gradiente topográfico en el Valle de León



Figura 5,12.- Correlaciones y frecuencias entre relieve topográfico y su correspondiente índice DRASTIC, en el Valle del Río Turbio

Figura 5.13.- Comparación entre a) Geología y b) Distribución del índice DRASTIC para impacto a la zona vadosa en el Valle del Río Turbio.

Figura 5 14- Comparación entre a) Geología y b) Distribución del índice DRASTIC para Conductividad Hidráulica en el Valle de! Río Turbio.

Figura 5,15,- Correlaciones y frecuencias entre conductividad hidráulica y su correspondiente índice DRASTIC, en el Valle del Río Turbio.

Figura 6.1- Mapa de índice DRASTIC del Valle Río Turbio,,

Figura 6.2 - Mapa de índice de Vulnerabilidad Acuífera (AVI) en log c del Valle Río Turbio.

Figura 6.3 - Mapa de índice de Vulnerabilidad Acuífera (AVI) en años del Valle Río Turbio.

Figura 6.4- Correlación entre índices de Vulnerabilidad Acuífera (AVI) y DRASTIC,

Figura 6,5,- Comportamiento hidrodinámico y distribución de cloruros y sólidos disueltos totales.

Figura 6,6,- Comparación entre las secciones geológica, de vulnerabilidad e hidrogeoquímicas.

Figura 6.7 Modelo integrado de vulnerabilidad y distribución de componentes hidrogeoquímicos (Cl, SO_4^{12} , STD),,

Figura VI Plano de riesgo al acuífero, basado en el método de vulnerabilidad DRASTIC

Figura 7,2.- Plano de riesgo al acuífero, basado en el método de vulnerabilidad IVA

Figura 7.3.-, Plano de impacto de calidad al agua subterránea (ICA) en el Valle del Río Turbio,

Figura 7,4 - Plano de índice de Contaminación (Id) al acuífero en el Valle del Río Turbio,,

ABSIRACT

A validation process of the vulnerability maps in the Turbio River Valley was applied. The vulnerability was evaluated with the methods DRASTIC and AVI. The validation consists on conelation of parameters with partial indexes, adjustment of rating range, analysis of sensibility, variability and analysis of the weight to the parameters, conelation between two different vulnerability methods and conelation of concentration of chemical components with the vulnerability tendencies.

The intervals for depth of the static level were modified because the máximo valúé considered in the original methodology is of 30 m,

The maps show that near the Turbio River there are with high vulnerable áreas where the Consolidated silts are compound for gravéis, sands and in smaller quantity clays.

The lowest indexes for DRASTIC in the área are 90 and the highest are 190. The valúes same were obtained in the Turbio River or in the proximities.

Valúes smaller¹ than 1, which correspond to an extreme high vulnerability (< 10 year) were obtained with the AVI index. The áreas with those valúes are located in the north, the occident of valley; as well as in the highlands that sunounding the valley,

The área with AVI index of 1 at 2 of high vulnerability (10-100 years) it is located in a fiinge in the central part of the valley. The intervals with AVI index 2 at 3 are of médium vulnerability (100-1000 years), they occupy most of the center of the valley. Good correlation was obtained among the methods DRASTIC and AVI. The áreas with high vulneiability in DRASTIC have low valúes (log c) in AVI index.

The conelation between the vulnerability maps and the concentration of component hydrogeochemical, were also good.

The biggest quantity in potential contaminant sources is in highly vulnerable áreas, For that reason the risk of contamination is relatively high; however, only the Química Central company and the Turbio River have evidences of contamination in the groundwater for chromium and chlorides respectively.

The exploitation of the aquiférs in the Valley of the Turbio River had generated problems of environmental impact related to the water, such as: decrease of the base flow, modifications in the underground flow and modification of the quality of the groundwater, The evaúation of the impact to the quaíty of the groundwater was assess using indexes of quality of the water (ICA) and indexes of contamination. In both cases the major impact was obtained in the vicinities of the Turbio River and in the Dam of San Germán and the smaller impact was determined in the south área of the valley and in the periphery of the valley.

RESUMEN

Para contar con mapas de vulnerabilidad objetivos y apegados a la realidad, se llevó a cabo un proceso de validación, en el Valle del Río Turbio. El cual consiste en calibración de parámetros con índices parciales, ajuste de intervalos de ponderación de parámetros, análisis de sensibilidad y variabilidad de parámetros, análisis de peso a los parámetros, correlación entre dos diferentes métodos de vulnerabilidad y correlación de concentración de componentes químicos con la vulnerabilidad.

La vulnerabilidad fue evaluada con el método de índice DRASTIC. Se llevó a cabo un ajuste de los intervalos para profundidad del nivel estático debido a que el valor máximo considerado en la metodología original es de 30 m. El ajuste de los intervalos fue apoyado con frecuencias de índices DRASTIC para profundidad del nivel estático. Los mapas muestran que cerca del Río Turbio hay zonas altamente vulnerables en donde los sedimentos consolidados están compuestos por gravas, arenas, limos y en menor cantidad arcillas.

Los valores más bajos para DRASTIC en el área son de 90 y los más altos son de 190, mismos que se encuentran en el Río Turbio o en las cercanías.

Otro método de vulnerabilidad utilizado es el índice A VI (Aquifer Vulnerability Index) con el cual se obtuvieron valores menores a 1 que corresponde a extremada alta vulnerabilidad (< 10 años), se localiza en la parte norte, al occidente del valle, así como en las partes altas que bordean al valle. La zona con índices AVI de 1 a 2 de alta vulnerabilidad (10-100 años) se localiza en una franja en la parte central del valle. Los intervalos con índices AVI 2 a 3 son de mediana vulnerabilidad (100-1000 años) ocupan la mayor parte central del valle. Se obtuvo buena correlación entre los métodos DRASTIC y AVI. Las zonas con alta vulnerabilidad en DRASTIC tienen valores bajos (log c) en índice AVI y viceversa.

La correlación entre los mapas de vulnerabilidad y la concentración de componentes hidrogeoquímicos, también fue buena.

La mayor cantidad de fuentes potencialmente contaminantes se encuentra en zonas altamente vulnerables, por lo que el riesgo de contaminación es relativamente alto, sin embargo, solo la empresa Química Central y el Río Turbio tienen evidencias de contaminación en el agua subterránea por cromo y cloruros respectivamente.

La explotación de los acuíferos en el Valle del Río Turbio ha generado problemas de impacto ambiental relacionados con el agua, tales como disminución del flujo base, modificaciones en el flujo subterráneo y modificación de la calidad del agua subterránea.

La evaluación del impacto a la calidad del agua subterránea se realizó utilizando índices de calidad del agua (ICA) e índices de contaminación (I_{c}), en ambos casos se obtuvo el mayor impacto en las proximidades del Río Turbio y en la Presa de San Germán y el menor impacto se determinó en la zona sur del valle y en la periferia del valle.

1 INTRODUCCIÓN

El concepto de vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea, fue introducido por el hidrogeólogo francés Margat en la década de los 60's y aunque inicialmente se le relacionaba solo a aspectos cualitativos de contaminación, actualmente puede incluir aspectos cuantitativos de contaminación y calidad del agua subterránea.

El riesgo de contaminación de agua subterránea se puede definir como la probabilidad de que éstas se contaminen con alguna sustancia, en concentraciones por encima de los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) o por el gobierno federal para la calidad del agua de consumo humano (Fostei e Hirata, 1991). Para que el riesgo pueda convertirse en una seria amenaza a la calidad del agua subterránea, dependerá de los procesos de dispersión de los contaminantes dentro del acuífero

En general, el propósito de una evaluación de riesgo es determinar cuáles fuentes potenciales de contaminación representan mayor potencial de alterar la calidad del agua subterránea y si al ser consumida ésta, puede causar daños a la salud humana

La vulnerabilidad no es una característica que pueda ser medida en campo (Gogu y Dessargues, 2000a, 2000b), se puede decir que ésta, es una propiedad natural del sistema acuífero que depende de la susceptibilidad de éste, a ser adversamente afectado por una carga contaminante debido a la contaminación antropogénica y/o natural* (Viba y Zapotec, 1994),.

La vulnerabilidad del acuífero depende principalmente de la accesibilidad del soluto y capacidad de atenuación de la zona no saturada, que se define como la atenuación del medio y puede ser el resultado de su actividad bacteriológicas, retención física y reacción química con los contaminantes,, Ésta sensibilidad se relaciona además, con factores asociados a la fuente contaminante en el subsuelo como: a) modo de disposición del contaminante en el subsuelo y en particular de la cantidad de carga hidráulica asociada y b) la clase de contaminante en términos de su movilidad y persistencia,,

En el Valle del Río Turbio se localizan sitios como son basureros (activos e inactivos), ríos y canales de aguas residuales, gasolineras, granjas, ladrilleras, panteones, terrenos (agrícolas e industriales) que representan riesgos de contaminación del sistema acuífero, En la parte norte de la zona de estudio se localiza un corredor industrial en donde una empresa productora de compuestos de cromo ha contaminado parte del acuífero de Buenavista (SARH-IGF, 1991; Rodríguez y Armienta, 1995; Armienta *et al* 1993; Armienta *et al* 1996; Armienta *et al* 2001); hacia la parte central se encuentra la Presa de Silva y buena parte de los terrenos son usados para la agricultura intensiva usando aguas residuales urbanas sin tratamiento,,

En el presente trabajo se discute la problemática de validación de los modelos de vulnerabilidad y se expone el caso del Valle del Río Turbio, el cual se localiza en la porción centro oriental del Estado de Guanajuato, al suroeste de la ciudad de León, (Fig., 1,1)

* Las fuentes naturales son incluidas en la clasificación de fuentes de contaminación de la U S Office of Technology Assessment (OTA, 1984/T4-4) dentro de la categoría IV y VI, las cuales incluyen intrusión salina, lixiviación natural, drenaje ácido de minas éstas pueden ser inducidas o intensificadas por actividades humanas

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años se ha incrementado la generación de mapas de vulnerabilidad utilizando los métodos DRASTIC (Aller *et al* 1995) y AVI (Van Stempvoort *et al* 1995) en México (Ramos, 1998a; Silva y Ramos 1998a, 1998b; Ramos, 1999; Ramos y Rodríguez, 1998; CEASG, 2000, Silva, *et al* 2000; Rodríguez, *et al* 2001); sin embargo, la elaboración de éstos no siempre garantiza una confiabilidad adecuada, debido a que no se hace una validación de los mismos, En el desarrollo de mapas de vulnerabilidad con DRASTIC del presente trabajo, se ha encontrado una serie de limitaciones y deficiencias de éste método, tales como:

- a) La ausencia de algunos índices en las escalas de puntuación, no es valida debido a que cuando se trata de interpolar de un punto a otro, necesariamente pasara por los índices no considerados en las tablas originales.
- b) El uso de tablas tiene sus limitaciones, cuando se tiene que procesar miles de datos.
- c) Las escalas originales de algunos parámetros no son aplicables a escenarios como el Río Turbio debido a que en esta área se rebasan las profundidades originales,
- d) La selección de tipos de material que componen el acuífero y la zona vadosa es subjetiva cuando se tiene capas estratificadas
- e) La escala de conductividad hidráulica tiene un intervalo muy corto y en la realidad se tiene una amplia gama de valores,
- f) El parámetro de recarga neta no considera la infiltración de cuerpos de agua superficial que modifican el transporte de contaminantes en la zona vadosa.
- g) No se considera el efecto de estructuras lineales (fallas y fracturas) en la vulnerabilidad,

La propuesta que se hace en el presente estudio, consiste en someter a cada uno de los parámetros utilizados y al mapa de vulnerabilidad final a una serie de análisis estadísticos, pruebas empíricas y numéricas que permitan generar mapas de vulnerabilidad confiables y objetivos. De ser necesario se hará un ajuste en los intervalos de ponderación de algunos parámetros y en el caso de que estos estén mal pesados, se seleccionarán los más efectivos en los escenarios que lo requieran. El objetivo final de este proceso es validar los mapas de vulnerabilidad y restarle subjetividad al método en cuestión.

Para reducir éstas limitaciones del DRASTIC (Aller *et al* 1985) se realizaron algunas modificaciones en el presente trabajo,,

- a) Se utiliza funciones de transformación en parámetros tales como el profundidad del nivel estático, recarga neta, gradiente topográfico y conductividad hidráulica
- b) El tipo de puntuación para éstos parámetros es continuo.
- c) Se realizó un ajuste en la escala de la profundidad del nivel estático para incorporar las profundidades presentes en la zona
- d) Para zonas estratificadas se utilizo una media aritmética de materiales ponderados.

En el caso de estructuras lineales se propone incorporar el efecto de estas estructuras en el parámetro de conductividad hidráulica.

1.2 OBJETIVOS

- > Identificación y caracterización de áreas con caigas contaminantes,
- > Evaluar la vulnerabilidad del acuífero
- > Establecer un método para validación de mapas de vulnerabilidad de acuíferos.
- > Evaluar las afectaciones a la calidad del agua subterránea del Valle del Río Turbio
- > Correlación de vulnerabilidad con la calidad del agua subterránea.

1.3 METAS ESPECIFICAS

1. Obtención de parámetros de vulnerabilidad (profundidad del nivel estático, recarga neta, tipo de acuífero, impacto a la zona vadosa, gradiente topográfico, tipo de suelo y conductividad hidráulica),,
- 2, Elaboración de mapas temáticos tipo DRASTIC, AVI e impacto al agua subterránea
3. Evaluar las posibles alteraciones de la calidad del agua subterránea del valle que pueden originar las principales fuentes contaminantes,
- 4, Análisis de sensibilidad, variabilidad y asignación de pesos a parámetros,,
- 5, Ajuste de intervalos en los parámetros del DRASTIC.

1.4 ANTECEDENTES

Se han llevado a cabo numerosos trabajos relacionados con el área de estudio, estos han tenido un carácter geológico, geológico-minero, geohidrológico y en los últimos tiempos de tipo ambiental, Entre los reportes más relevantes por la línea de investigación, se encuentran los de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH, 1969), en donde se realizan las primeras aproximaciones de la recarga del Valle de León. En 1979 SARH, realiza la actualización del Valle del Río Turbio, en dicho trabajo se reportan volúmenes de extracción, transmisividades y unidades permeables, A finales de 1982, SARH realiza una campaña de piezometría en el valle, reportando nuevos volúmenes de extracción,

Desde 1991 se han realizado numerosos estudios relacionados con la presencia del cromo en el valle con estos trabajos de investigación se conoce su origen (SARH-IGF, 1991; Annienta *et al*, 1996; Robles y Armienta, 2000), sus mecanismos de transporte (Armienta, 1993; Reyes, 1998), su impacto a la salud (Rodríguez y Armienta, 1995; Rodríguez *et al* 1996) y al medio (Armienta *et al*. 2001).

A mediados de 1995, la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento del Estado de Guanajuato (CEASG), realiza estudios encaminados a una primera modelación del flujo de Valle de Río Turbio,, Dos años más tarde CEASG a través de la empresa GEOPSA, propone un nuevo modelo del flujo para el Valle de Río Turbio y realiza una mejor aproximación al modelo.

Un estudio interinstitucional fue llevado a cabo en 1996 por la Comisión Nacional del Agua (CNA), British Geology Survey (BGS), Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) y Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de León (SAPAL), para determinar los efectos del uso de las aguas residuales sobre los recursos urbanos del agua subterránea en la ciudad de León, Guanajuato.

Los estudios más recientes han sido llevados a cabo por CEASG (1999) y SAPAL (2000) en coordinación con el Instituto de Geofísica-UNAM, que se encaminaron a identificar al

estado de la calidad del agua y la recarga en la región, de donde se han derivado diferentes trabajos de investigación como son: correlaciones de flujo y estructuras geológicas (Ramírez *et al* 1999, 2000), origen y recarga por medios isotópicos e hidrogeoquímicos (Durazo *et al* 2000a, 2000b; Cortes *et al* 1999, 2000, 2000b, Ramos *et al* 2001), e interacción agua-roca utilizando tierras raras (Johannesson *et al* 2000, 2001),

CEASG a través de Universidad Iberoamericana, realizó un estudio en el 2000 sobre cuestiones de vulnerabilidad en la zona del Turbio y con ello realizó el primer censo de fuentes potenciales de contaminación,

En el plano de vulnerabilidad para la Cuenca de México (Durazo *et al* 1988) se apoya en la zonificación geotécnica de la zona metropolitana (Marsal y Mazarí, 1969), en este trabajo se aplica la ley de Darcy, así como gradientes hidráulicos para definir criterios de zonas vulnerables,

Bojorjuez *et al*, (2000) realizaron un trabajo para la CORENA (99-2000), sobre la influencia de tipos de vegetación en la vulnerabilidad y en la recarga de acuíferos de la zona sur de la Cuenca de México,

En el plano de vulnerabilidad de la Cuenca de México (Herrera, 1994), se consideran elementos tales como la permeabilidad, porosidad, cubierta vegetal, zona vadosa, régimen de precipitación, presencia o ausencia de zonas fisuradas; sin embargo, no es muy clara la metodología (pesos y intervalos de validez) para utilizar dichos parámetros,

En lo relacionado a la validación de mapas de vulnerabilidad se tienen pocos antecedentes de este proceso en México, El plano de vulnerabilidad utilizando DRASTIC en el área de Santa Catarina (Ramos, 1998), se valida comparándolo con la zonas geotécnicas de la zona metropolitana de Marsal y Mazarí (1969). Los planos de Vulnerabilidad del Valle de Río Turbio (Ramos y Rodríguez, 1998), utilizando DRASTIC y AVI son validados realizando auto-comparaciones de sus parámetros, con lo cual se obtiene una mejor certeza de los resultados,,

1.5 METODOLOGÍA

La vulnerabilidad se evaluará aplicando la metodología de AVI (Van Stempvoort *et al*. 1995) y DRASTIC (Aller *et al*.,, 1985), debido a las limitaciones que presenta éste último método, se harán modificaciones al DRASTIC en el proceso de obtención de índices parciales; por lo que en ocasiones se referirá como DRASTIC*

El proceso que se propone para calibrar los mapas de vulnerabilidad se puede resumir en las siguientes etapas:

1. Estimación de parámetros de vulnerabilidad. El método DRASTIC utiliza siete parámetros (profundidad del nivel estático, recarga neta, tipo de acuífero, impacto a la zona vadosa, gradiente topográfico, tipo de suelo y conductividad hidráulica), de los éstos sólo la profundidad del nivel estático, recarga neta, gradiente topográfico y conductividad hidráulica pueden ser evaluados cuantitativamente, al medirse en campo (censo de pozos y pruebas de bombeo) o evaluarse en gabinete apoyado en cartas topográficas y climatológicas. En los otros elementos como tipo de acuífero, tipo de material en la zona vadosa y suelos, la evaluación es de tipo cualitativo,,

2. **Transformación de parámetros en índices parciales de vulnerabilidad.** En la estimación de los índices parciales a diferencia del método original de DRASTÍC, en donde se usa tablas de puntuación, se utilizará funciones de transformación que incluye puntuaciones continuas no consideradas en las tablas,.
3. **Correlación de parámetros con índices parciales.** En este punto se realizará la correlación entre los datos medidos o calculados y sus índices parciales,., En otros elementos como tipo de acuífero, tipo de material en la zona vadosa y suelos, el análisis tiene que ser de tipo cualitativo, comparando la distribución de los diferentes materiales con la distribución de sus respectivos índices parciales.
4. **Ajuste de intervalos de ponderación de parámetros.** Debido a que este método proporciona índices de vulnerabilidad no absolutos, la variación espacial de los parámetros en dicho trabajo es muy importante, ya que existen zonas en donde el impacto de los parámetros es mayor que en otros, Cuando es poca la variabilidad, es posible que en realidad el parámetro no influya en la vulnerabilidad o que los intervalos de ponderación nos sean aplicables para ese escenario, Si este es el caso, se propone un ajuste de los intervalos, para lo cual se hará uso de un análisis estadístico y funciones de correlación para obtener la mejor distribución de éstos y en consecuencia la escala más adecuada,.
5. **Análisis de sensibilidad y variabilidad de parámetros.** Se lleva a cabo este tipo de análisis a los mapas de vulnerabilidad, con el fin de conocer que tan sensible y que tanto puede influir cada parámetro en la vulnerabilidad cuando se omite uno de éstos,.
6. **Análisis de peso a los parámetros.** Se realiza un análisis para conocer si cada parámetro tiene el valor de peso que en realidad le corresponde de acuerdo a su influencia en la vulnerabilidad.
7. **Correlación entre dos métodos diferentes de vulnerabilidad.** El grado de correlación que se puede obtener, puede ser influenciado por el número de parámetros comunes entre ambos métodos de vulnerabilidad,., Que en el caso de DRASTIC* y AVI coinciden en la conductividad hidráulica y en nivel estático,
8. **Correlación vulnerabilidad y concentración de componentes químicos.** En algunos lugares en donde una misma fuente de contaminación afecta a zonas con diferentes niveles de vulnerabilidad y además se cuenta con información hidrogeoquímica, se puede hacer este tipo de correlación, De tal manera que la zonas más vulnerables pueden tener una mayor concentración de componentes químicos que la zonas menos vulnerables cuando son expuestas a una misma fuente contaminante,

La evaluación de impacto al acuífero implica la conjunción de diversas técnicas y metodologías, por lo que para la realización de esta investigación se contemplaron las siguientes actividades:

- > Obtención y procesamiento de la información geoquímica del agua subterránea en el Valle del Río Turbio.
- > Normalización de los valores analíticos de la hidrogeoquímica con los estándares de calidad del agua subterránea para consumo humano de la NOM-127-2000 y EPA.
- > Índices de Impacto a la Calidad del Agua Subterránea (Conesa, 1993; Backman *et al.* 1998),.
- > Correlación de índices de calidad del agua subterránea y vulnerabilidad del acuífero,

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESQUERÍA
INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

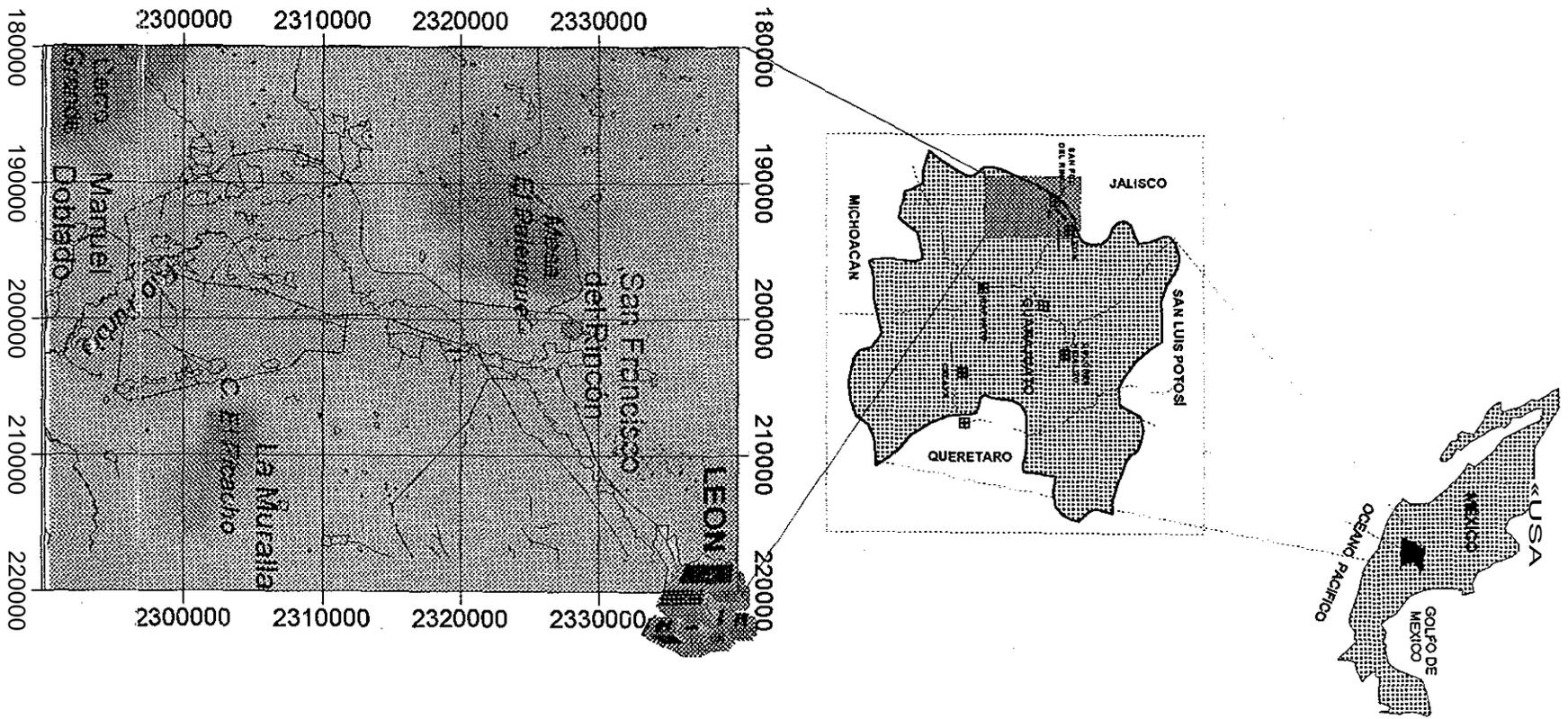


Figura 1.1.- Localización del área de estudio

2 METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD DE ACUIFEROS

La vulnerabilidad puede ser intrínseca o específica, la primera será utilizada en el presente trabajo y refiere al riesgo potencial de contaminación del agua subterránea por contaminantes generados por actividades humanas y es independiente de la naturaleza del contaminante; por el contrario la específica se utiliza para definir¹ la vulnerabilidad del agua subterránea asociada con algún contaminante en particular o con un grupo de contaminantes (Gogu y Dessargues, 2000a, 2000b)

En muchos casos los mapas de vulnerabilidad son creados para obtener una rápida evaluación del riesgo de contaminación, también son usados en procesos de toma de decisiones para cuestiones ambientales, en ellos solo evalúa el riesgo potencial de una región, considerando los factores que pueden influir en la posible contaminación de una fuente contaminante al acuífero (Ramos *et al* 1999b; Silva y Ramos, 1998a, 1998b; Silva *et al* 1999; Kim y Ham, 1999; Rodríguez *et al* 2001).

La mejor manera de representar la vulnerabilidad del acuífero es en forma de mapas, los cuales involucran la identificación de áreas susceptibles de variar la calidad del agua subterránea, debido a la interacción de características físico-químicas que aumentan o retardan el movimiento de contaminantes en la zona no saturada

En los últimos 30 años se han desarrollado varios métodos para la evaluación de vulnerabilidad y riesgo ambiental (Vrba y Zaporec, 1994; Canter, 1985; Knox *et al* 1993; Ramos, 1997; Hirata y Reboucas, 1999), estos pueden ser de dos tipos:

- 1) Sistemas que utilizan cálculos numéricos, tales como: Aquifer Vulnerability Index (AVI), Depth Recharge Aquifer Soil Topography Impact to Vadose Zone Conductivity Hydraulic (DRASTIC), Environmental Risk Inventory System (ERIS), Site Rating Methodology (SRM) y Soggiacenza Infiltrazione efficace Non saturo Tipologia della copertura Acquifero Conducibilità hidráulica delfacuífero Superficie topográfica (SINTACS),
- 2) Sistemas no numéricos, los cuales pueden usar números para ordenar el incremento de vulnerabilidad o clasificar¹ como altamente vulnerables o menos vulnerables

Los métodos DRASTIC y SINTACS son muy similares debido a que utilizan los mismos parámetros, la diferencia entre ambos métodos es la asignación de pesos, las escalas y los intervalos de puntuación DRASTIC utiliza tablas de puntuación y SINTACS utiliza gráficas de puntuación

Algunos de estos métodos como el ERIS (Wilson, 1991) fueron desarrollados para obtener índices de impacto a los diferentes elementos del medio ambiente (agua superficial, agua subterránea, aire, contacto directo al humano, fuego y explosión),

Doerfliger y Zwahlen (1999) proponen el método EPDC (Epikarts, Protective Cover, Infiltration conduction and Karts network development) para zonas cársticas. Este método usa un procedimiento similar al DRASTIC (Aller *et al* 1985) y SINTACS (Civita y De Maio, 1997), para lo cual utiliza cuatro parámetros que afectan las condiciones de flujo y transporte del agua a través de un sistema kárstico.

Maio, 1997), para lo cual utiliza cuatro parámetros que afectan las condiciones de flujo y transporte del agua a través de un sistema kárstico

La vulnerabilidad acuífera incluye parámetros importantes tales como: tipos de suelos, recarga neta, profundidad del acuífero, topografía, tipo de material del acuífero, material de la zona no saturada y conductividad hidráulica del acuífero, los cuales pueden tener influencia en los procesos que alteran la calidad del agua subterránea

Métodos de vulnerabilidad enfocados para determinados contaminantes fueron desarrollados por Seller y Canter (1980), Le Grand (1983) y Le Grand *et al.* (1987) Sin embargo, la escasez de información sobre contaminantes en muchas regiones de México limita el uso de éstas. Por otro lado, existen métodos de vulnerabilidad menos refinados y más generales y flexibles que han sido desarrollados por Aller *et al.* (1985), Albinet y Margal (1970), Haertlé (1983), Foster e Hirata (1993), Hirata, (1991), Van Stempvoort *et al.* (1995), Crema *et al.* (1998)

En el presente trabajo se hará uso de dos de métodos ampliamente aplicados en la evaluación de la vulnerabilidad como son el AVI y DRASTIC*, éste último con algunas modificaciones (Van Stempvoort *et al.* 1995; Aller *et al.* 1985; Knox *et al.* 1993; Rosen, 1994; Napolitano y Fabbri, 1996; Gogu y Dessargues, 2000a, 2000b; Doerfliger y Zwahlen, 1999; Lodwike *et al.* 1990)

ZI ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS (A VI)

El AVI es uno de los métodos más sencillos, fáciles y rápidos para cuantificar la vulnerabilidad.

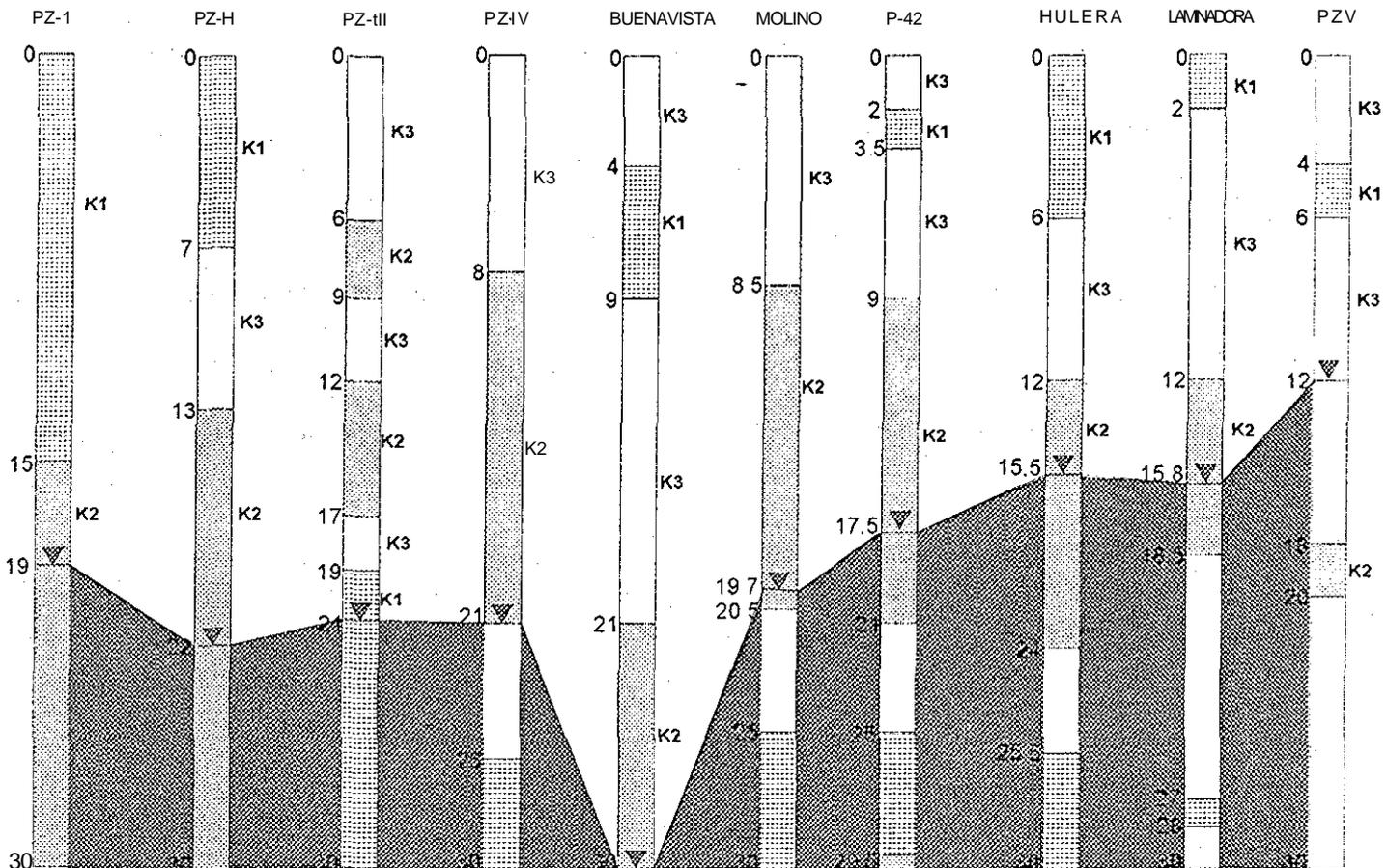
Es un índice c para cuantificar la vulnerabilidad de un acuífero, por medio de la resistencia al flujo vertical del agua cuando pasa por los diferentes materiales de la zona no saturada (Van Stempvoort *et al.* 1995) La resistencia hidráulica c se calcula por la expresión:

$$c = \sum_{i=1}^n S_{bi}/K_i \text{ para las capas } 1, 2, 3, \dots, i \quad (2.1)$$

donde b_i es el espesor de cada capa sobre el acuífero, K_i es la conductividad hidráulica de cada capa y c es la resistencia hidráulica total (inverso de la conductividad hidráulica, tiene dimensiones de tiempo) mismo que indica el tiempo aproximado que el agua atraviesa la zona vadosa (Fig 2.1) A mayor resistencia hidráulica c , menor es la vulnerabilidad. Debido a las altas variaciones en años de c que se pueden registrar en un área, se usa el $\log c$ para cada pozo. La interpolación de los valores de $\log c$, da como resultado un zoneamiento de la resistencia hidráulica, lo cual está directamente relacionado con la vulnerabilidad.

Para construir el mapa de vulnerabilidad se necesitan las coordenadas, los cortes litológicos de los pozos e información de pruebas de bombeo. En la figura 2.1, se observan escenarios de capas estratificadas con diferente conductividad hidráulica.

El método AVI, es de mucha utilidad en casos en los que el método DRASTIC no funciona en áreas de estudio muy pequeñas y las variaciones espaciales sólo se detectarían si se cuenta con información detallada del subsuelo, como es el caso de cortes litológicos (Ramos y Rodríguez, 1998; Silva *et al.* 2000; Ramos y Rodríguez, 2001, Rodríguez *et al.* 2001).



SIMBOLOGÍA

- | | | | |
|---|-----------------------|---|---|
| V | Nivel estático |  | Material arcillosos, poco consolidado
Conductividad Hidráulica K1 = 1e-9 m/s |
| 30 | Profundidad en metros |  | Conglomerado en matriz arenosa,
Conductividad Hidráulica K2 = 3.7e-4 m/s |
|  | Zona saturada |  | Areniscas de grano medio a grueso en matriz arcillosa
Conductividad Hidráulica K3 = 3e-7 m/s |

$$C_{PZ-II} = 2b_j \cdot (m) = \frac{b_j}{K_i} + \frac{b_j}{K_3} + \frac{b_g}{f} = \frac{7}{8.64 \times 10^{-5}} + \frac{6}{2.592 \times 10^{-2}} + \frac{9}{31.96}$$

$$= 81018.52 + 231.5 + 0.28 = 81250.28 \text{ días} = 222,6 \text{ años}$$

$$= \log_{C_{PZ-II}} = 4.9$$

Figura 2.1 Diferentes escenarios en los primeros 30m, para el método de índice de Vulnerabilidad del Acuífero (AVI) en el área del Turbio. Se hace el cálculo de la vulnerabilidad de este método para el pozo PZ-II,

2.2 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS CON DRASTIC

El DRASTIC es un esquema de clasificación numérica desarrollado para evaluar la contaminación potencial del agua subterránea para un sitio dado, este esquema de clasificación se basa en 7 factores que tienen gran influencia en la vulnerabilidad intrínseca (Fig 2.2).

Las siglas de DRASTIC se derivan de 7 factores (Aller *et al* 1985):

D = profundidad al agua subterránea, *R* = recarga neta, *A* = medio acuífero, *S* = tipo de suelo, *T* = topografía (gradiente topográfico), *I* = impacto a la zona vadosa y *C* = conductividad hidráulica del acuífero

La determinación del índice DRASTIC involucra multiplicar cada uno de los parámetros (*r*) por el peso (*w*) que se le asigna a cada parámetro y se suma el total, como se indica a continuación.

$$DrDú + RrRw + ArÁw + SrSw + TrTw + Irlw + CrCw = \text{índice DRASTIC (Contaminación potencial)} \quad (2.2)$$

Valores altos de la suma representan fuertes potenciales de contaminación del agua subterránea o una gran vulnerabilidad del acuífero.

Los pesos de cada factor son proporcionados para cualquier tipo de escenarios, excepto cuando son aplicados a agroquímicos, en donde algunos de los pesos de los parámetros cambian (Tabla 1)

En primera instancia el peso efectivo es asignado según el método original de DRASTIC (Aller *et al* 1985), si en el análisis de pesos éste difiere del peso efectivo inicial, esto puede estar relacionado con una inadecuada selección de peso o con un inapropiado escalonamiento de intervalos en los parámetros. En el primer caso se recomienda una corrección de peso, mientras que en el segundo es más apropiado un ajuste de los intervalos, para adaptarlo al escenario en cuestión.

Tabla 1. Pesos generales y pesos para agroquímicos de los parámetros del método DRASTIC (Aller *et al.* 1985).

	PARÁMETRO	PESO GENERAL (PESO EFECTIVO %) WI	PESO PARA AGROQUÍMICOS WI
D	Depth to water (Profundidad del agua)	5(21.74)	5
	Recharge (Recarga)	4(17.39)	4
R	Aquifer media (Acuífero)	3(13.04)	3
A	Soil media (Suelo)	2(8.7)	5
T	Topography (Topografía)	1(4.35)	3
I	Impact of the vadose zone media (Impacto a la zona vadosa)	5(21.74)	4
C	Conductivity Hydraulic of the aquifer (Conductividad Hidráulica)	3(13.04)	2

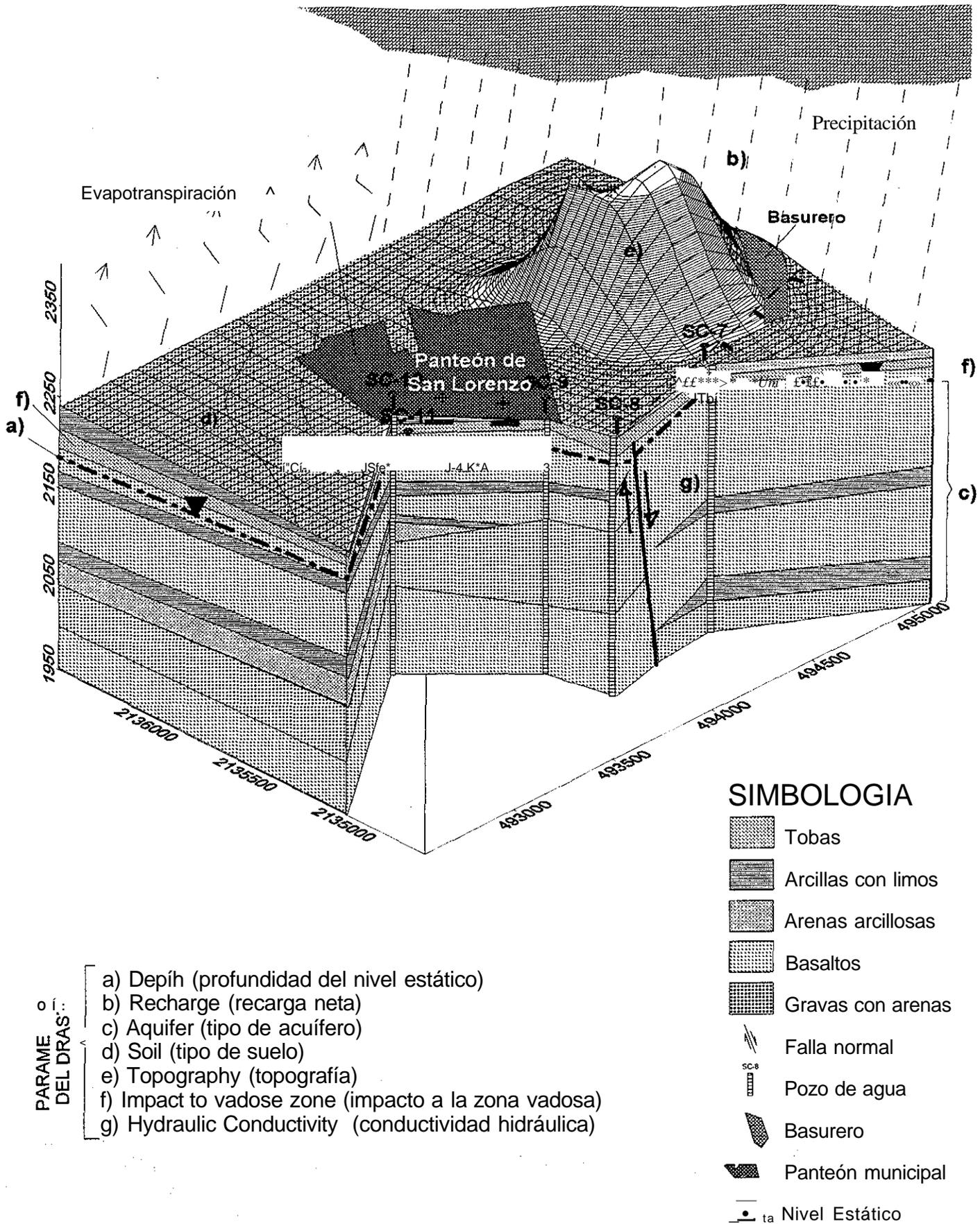


Figura 2,2 Representación de los parámetros de vulnerabilidad acuífera que utiliza el método DRASTIC.

El método original de DRASTIC considera pesos fijos para cada parámetro (Tabla 1): Los parámetros de vulnerabilidad son pesados con respecto a su relación espacial usando funciones de peso W . Sin embargo, la influencia de cada parámetro varía de un escenario a otro, por lo que en escenarios es necesario llevar a cabo un análisis de peso para cada escenario y con base en ello aplicar el peso adecuado. En el método DRASTIC, originalmente la profundidad del nivel estático y el impacto a la zona vadosa (zona no saturada), son considerados como los factores más importantes y tienen un peso de 5, La topografía es el de menor peso (1),

Las consideraciones que se hacen en el DRASTIC son:

- > El contaminante es introducido en el subsuelo,,
- > Una vez en el subsuelo el contaminante es inducido principalmente por la precipitación,
- > El contaminante tiene la movilidad del agua,,

Es importante hacer notar que la filosofía de un mapa de vulnerabilidad es mostrar como se distribuye espacialmente y ubicar las zonas más susceptibles o vulnerables. Para que esto ocurra, es necesario que cada uno de los parámetros considerados muestre variaciones espaciales que evidencien las zonas de mayor riesgo.

Cuando esto no sucede, el parámetro considerado no tendrá variación espacial debido a que cae dentro de un solo rango de valores y como consecuencia, su representación gráfica será un plano (Ramos y Rodríguez, 2001), En la expresión algebraica del método, equivale a introducir una constante en la sumatoria final, Esto implica que no influye en la vulnerabilidad. El sumar constantes (planos) para obtener una superficie que represente la variación espacial de la vulnerabilidad, no ayuda en nada para detectar las zonas más vulnerables, por lo que es mejor descartar el parámetro en cuestión y sólo considerar los elementos que nos auxilien a detectar las zonas más vulnerables (Fig. 2,3).

Una manera de detectar si una función que represente la distribución de un parámetro debe o no considerarse, es obteniendo la función derivada, si ésta es diferente de cero, debe descartarse o reescalarsse sus intervalos de funcionamiento,

Cuando un parámetro se comporta de manera uniforme, se dice que es homogéneo y su influencia en la vulnerabilidad es mínima, debido a que no varía de un sitio a otro y su comportamiento tiende a ser constante en toda el área. Cuando los parámetros varían se consideran como heterogéneos o no homogéneos y la influencia que tienen en la vulnerabilidad debe ser mayor, Debido a que el índice de Vulnerabilidad DRASTIC es un valor no absoluto, la variabilidad espacial de éste depende de los cambios que presente cada uno de sus parámetros

Si se llegara a considerar que alguno de sus parámetros no varía en el espacio de una región dada, éste elemento queda eliminado porque no está incidiendo en la vulnerabilidad, es decir se está sumando una superficie plana, Por ejemplo, un escenario como Mérida en donde se presenta poca variabilidad de algunos de los parámetros considerados en los métodos DRASTIC (Ailer *et al.* 1985) y SINTACS (Civita *et al.* 1990; Civita y De Maio, 1997), al analizar cada uno de sus elementos puede ocurrir que la profundidad del nivel estático tiene

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

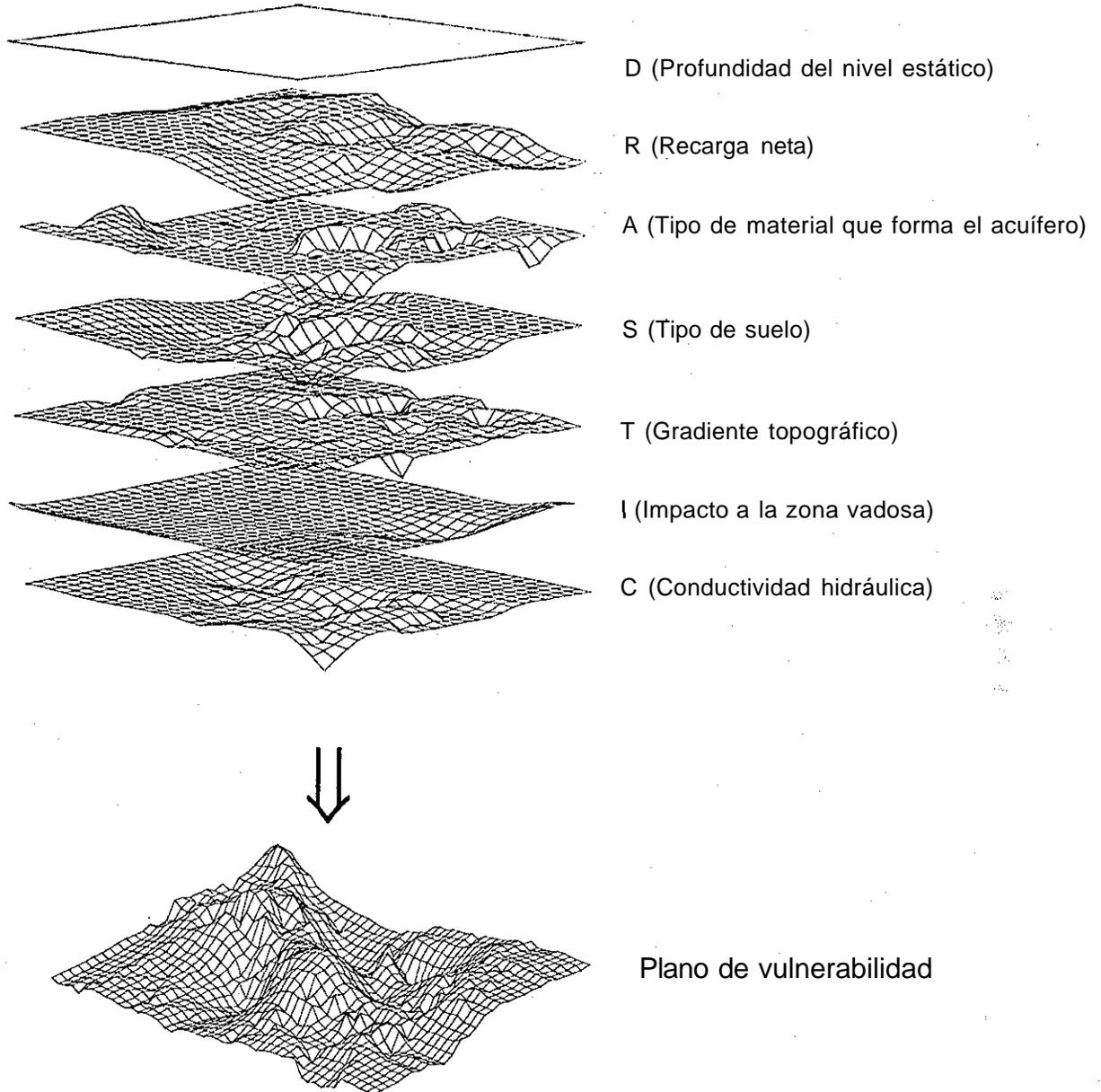


Figura 2.3 Cada uno de los parámetros de DRASTIC tiene variaciones laterales, su distribución puede ser representada como una superficie. La suma de superficies paramétricas da como resultado la vulnerabilidad. Cuando una de las superficies no tiene variaciones espaciales importantes ésta se comporta como un plano y no influye en el mapa de vulnerabilidad.

poca variación debido a las características del acuífero en medio fracturado (Back y Hanshaw, 1970, Lessert y Weidie, 1988), por lo que al transformar los valores registrados a valores ponderados, su representación será un plano, lo mismo ocurre con otros de sus parámetros, ya que la topografía casi no varía, la recarga neta puede considerarse uniforme, el tipo de suelo, medio acuífero y zona vadosa sería homogénea

En realidad el parámetro que más influye en la vulnerabilidad es la conductividad hidráulica y en medios karstificados depende en gran medida de las fracturas, por lo que esta característica sería el principal elemento a considerar en la elaboración de un plano de vulnerabilidad en este tipo de escenarios.

Los problemas de variabilidad mencionados en el caso anterior, también se presentan en situaciones en donde el área de estudio se representa a escalas grandes (1:20,000, 1:10,000, 1:1,000, etc.) produciendo poca variabilidad de los parámetros de ahí que los intervalos de escala para los cuales son utilizados tiendan a homogeneizarse, esto limita la aplicación de DRASTIC (Silva *et al* 2000).

Los parámetros utilizados para determinar la vulnerabilidad del acuífero pueden tener variaciones temporales y/o espaciales; algunos escenarios pueden ser muy heterogéneos, lo cual produce variaciones laterales y verticales extremas, tal es el caso en donde se presentan diques, fallas (Kellef, 1994; Silva y Ramos, 1998a, 1998b; Rodríguez *et al* 2001), fracturas, interdigitación de materiales.

2.2.1 PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO

La profundidad del nivel estático, puede presentar variaciones tanto temporales como espaciales, los cambios laterales pueden ser abruptos debido a la presencia de conos de abatimiento, estructuras geológicas que cambian la conductividad hidráulica, produciendo condiciones de fronteras entre acuíferos. La profundidad, en algunos sitios llega a ser tan importante que traducida a índices de Vulnerabilidad pueden variar considerablemente sus índices. Este fenómeno adquiere gran importancia en problemas de contaminación como las gasolinas, las cuales tienen menor densidad que el agua, lo que provoca que estas se desplacen sobre el nivel del agua, dándose una mayor movilidad cuando se tienen mayores gradientes hidráulicos (Rodríguez *et al* 2001), lo cual acelera las dimensiones del área contaminada.

En algunos acuíferos se presentan cambios temporales relacionados con los ciclos hidrológicos anuales (Meyboom, 1961; Ryckborst, 1981; Salama *et al* 1993; SAP AL, 2001), esto ocurre principalmente en acuíferos libres

Los cambios temporales pueden verse desde varios aspectos; se consideran a corto plazo en pruebas de bombeo y a largo plazo en las variaciones originadas durante uno o varios años de extracción del agua subterránea.

En la tabla 2 se presenta la escala de valores para **profundidad del agua subterránea**; el peso de importancia (D_w) en DRASTIC de este parámetro es 5 puntos (Aller *et al* 1985).

El método original fue desarrollado para acuíferos cuya profundidad no rebasaba los 30.5 m (100 ft); sin embargo, en situaciones como México se tienen evidencias de contaminación del acuífero a profundidades mayores a los 30.5 m, razón por la cual es muy conveniente

realizar un ajuste de este parámetro para adecuarse a estas condiciones de mayor profundidad del nivel estático (Tabla 2) Una mayor explicación del proceso de ajuste de escala se dará en el apartado de análisis de sensibilidad, variabilidad y asignación de pesos de los parámetros de DRASTIC.

Tabla 2- Evaluación del factor de profundidad af agua subterránea en el DRASTIC

PARÁMETRO	INTERVALO (ft)	INTERVALO (Original) (m)	INTERVALO (Modificado) (m)	CLASE
PROFUNDIDAD DEL AGUA DW = 5	0-5	0-1,5	0-7.5	10
	5-15	1 5-46	7 5-23	9
	15-30	4 6-9 1	23-45.5	7
	30-50	9 1-15,2	45 5-76	5
	50-75	15 2-22 9	76-114 5	3
	75-100	22,9 - 30,5	114,5-152 5	2
	> 100	> 30.5	> 152 5	1

2.2.2 RECARGA NETA

La recarga neta también llamada precipitación eficaz depende de la precipitación y de la evapotranspiración real (Aller *et al* 1985; Civita y De Maío, 1997),

$$RN = P - Er \quad (\text{mm/año}) \quad (2.3)$$

Donde RN es la recarga neta (mm) P es la precipitación media anual (mm) y Er es la evapotranspiración real anual (mm).

La evapotranspiración real se evaluó con la ecuación de LTurc (1954), la cual ésta en función de la temperatura y la precipitación,,

$$Er = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P^2}{L^2}\right)}} \quad (\text{mm/año}) \quad (2.4)$$

Donde el parámetro L depende de la temperatura (T) y se evalúa mediante la siguiente ecuación:

$$L \ll 300 + 25 * /_c + 0.05 * T_c^3 \quad (2.5)$$

La temperatura media anual se calculó con la siguiente expresión (Aller *et al* 1985; Civita y DeMaio, 1997):

$$T_m = \frac{\sum P_m * T_m}{\sum P_m} \quad (2.6)$$

Donde P_m es la precipitación media mensual (mm), T_m , es la temperatura media mensual ($^{\circ}\text{C}$),

El rango de valores obtenido es ponderado de acuerdo a la tabla 3 la cual contiene los intervalos y la clase o valor ponderado para la **recarga neta** y su índice (R_w) de DRASTIC es 4 puntos (Aller *et al* 1985),,

Tabla 3 - Evaluación del factor de recarga neta en el DRASTIC

PARÁMETRO	INTERVALO (in)	(mm)	CLASE
RECARGA NETA $R_w = 4$	0-2	0-50	1
	2-4	50-102,6	3
	4-7	102-178	6
	7-10	178-254	8
	>10	>254	9

Este "parámetro puede presentar también cambios espaciales y temporales, aunque las diferencias espaciales son pequeñas de 1 a 3 índices de vulnerabilidad; sin embargo, las variaciones temporales de un ciclo hidrológico a otro pueden ser muy grandes de extremo a extremo (1 a 10), La influencia de este parámetro radica en el hecho de que el agua de lluvia sirve de transporte de un posible contaminante hacia el acuífero. Desde este punto de vista, en zonas principalmente agrícolas, el proceso de retomo de riego podría tener mayor relevancia que el proceso de recarga neta considerado como tal y éste debería ser redefinido o incorporado en la metodología considerada,

La recarga neta considerada en el método DRASTIC es la diferencia entre la precipitación media anual y la evapotranspiración real, esta diferencia es lo que se supone se infiltra al acuífero; sin embargo, no considera la infiltración de ríos (SAPAL, 2001; CNA-BGS-SAPAL, 1996; Durazo *et al* 2000a, 2000b), presas y canales, por lo que en ciertos escenarios, estos elementos deberían evaluarse para tomarse en cuenta en la construcción de mapas de vulnerabilidad,

2,23 MEDIO ACUÍFERO

El método original fue pensado para un medio homogéneo; sin embargo, en muchos escenarios es común encontrar interdigitación o estratificación de diferentes materiales,

La tabla 4 muestra un esquema de intervalos para la evaluación del medio acuífero, tomado en el método original de Aller *et al*, (1985). El peso de importancia para este factor en el índice (A_w) de DRASTIC es de 3 puntos,

En algunos escenarios es muy común encontrar inter digitaciones de materiales con diferentes permeabilidades que puede producir complicaciones, tales como: una inapropiada selección de material correspondiente al tipo de acuífero, así como cambios laterales importantes en los índices de vulnerabilidad, La presencia de estructuras

geológicas como fallas, fracturas, diques, cuerpos intrusivos pueden provocar cambios importantes en la permeabilidad del medio, debido a que pueden aumentarla o disminuirla, lo cual puede ser traducido como estructuras lineales en los índices de vulnerabilidad. En ocasiones la presencia de cuerpos plutónicos o el contacto interfornacional con rocas metamórficas produce disminuciones abruptas en la vulnerabilidad, debido a diferencia de conductividades hidráulicas de estos,,

Tabla 4 - Evaluación del factor del medio acuífero en el DRASTIC

PARÁMETRO	TIPO DE MATERIAL	CLASE
O f e 3 < O o m S	•i Lutita masiva	1 - 3
	Ígnea/metamórfica	2-5
	Ígnea/metamórfica alterada	3-5
	till glacial	4-6
	Arenisca estratificada, caliza, lutitas	5-9
	Arenisca masiva	4-9
	Caliza masiva	4-9
	Arena y grava	4-9
	Basaltos	2-10
Caliza karstica	9-10	

A corto plazo Gaona *et al.* (1985) han demostrado en pruebas de bombeo en pozos el aporte de agua de diferentes materiales en medios estratificados, lo cual se manifiesta con cambios en la calidad de agua, temperatura y conductividad hidráulica,, Este mismo proceso se origina a largo plazo.

2.2.4 TIPO DE SUELOS

Se considera como suelo, al material no consolidado, localizado a poca profundidad del terreno (1-2 m), contiene la materia orgánica y alimenta la cobertura vegetal (Boulding, 1995), El estado físico del suelo juega un papel muy importante en el transporte de una sustancia, en su interacción con el suelo, una sustancia contaminante puede sufrir procesos de retardación, dilución y en casos especiales su eliminación (Wilson, 1991; Foster e Hirata, 1991), La variación en el tipo de suelo se da espacialmente en forma gradual, los cambios se producen en los valles, algunos cambios importantes se llegan a dar en el piedemonte, en donde de un material fino se puede pasar a la ausencia de éste, lo cual traducido en índices de vulnerabilidad puede alcanzar intervalos extremos. Esto es común en valles limitados sierras con escarpes de fallas, en donde la pendiente topográfica es tan fuerte que los procesos erosivos no permiten el desarrollo de suelos.

En los cambios temporales no son considerados actividades humanas tales como la tala de árboles y la agricultura, las cuales pueden producir a mediano plazo la erosión del suelo y

como consecuencia el incremento del índice de vulneabilidad al tener ausencia de este parámetro (Tabla 5),,

La infbimación para la evaluación de **tipo de suelo** se incluye en la tabla 5, con su peso de importancia (S_w) en el DRASTIC de 2 puntos (Aller *et al.* 1985),

Tabla 5.- Evaluación del factor del tipo de suelo en el DRASTIC

PARAMETRO	MATERIAL	CLASE
TIPO DE SUELO $S_w = 2$	Fino o ausente	10
	Grava	10
	Arena	9
	Agregado arcilloso o comprimido	7
	Arenisca margosa	6
	Marga	5
	Limo margoso	4
	Arcilla margosa	3
	Arcillas no agregadas y material no compacto	1

2.2.5 GRADIENTE TOPOGRÁFICO

La pendiente del teneno influye sobre el escunimiento superficial del agua y sustancias potencialmente contaminantes, debido a que a menor pendiente topográfica mayor posibilidad existe de que el agua superficial o alguna sustancia contaminante se infiltre al subsuelo (Aller *et al.* 1987; Wilson, 1991),

La tabla 6 muestra los intervalos de valores para **topografía** y su peso de importancia (T_w) para este factor en el DRASTIC es de 1 puntos (Aller *et al.* 1985),

En zonas topográficamente abruptas las diferencias en gradientes topográficos se reflejan fácilmente en los índices de vulnerabilidad, la pendiente llega ser constante hacia los valles y presenta cambios muy importantes en las laderas. Es muy difícil tener variaciones temporales, aunque nuevamente en áreas relativamente pequeñas, algunas actividades humanas tales como la minería (tajos a cielo abierto) y la construcción de caminos y puentes pueden producir a corto o largo plazo cambios en este parámetro, aunque cabe aclarar que más que cambios importantes en los índices de vulnerabilidad, son más importantes las depresiones topográficas producidas por estas actividades, ya que en México es muy común el uso de estas depresiones como basureros, lo cual incrementa "exponencialmente" la vulnerabilidad, como es el caso de la mayor parte de los basureros en la Cuenca de México, Estado de México, Michoacán y Guanajuato (Ramos, 1998a, 1998b, 1999b; Silva era/. 1999).

Tabla 6.,- Evaluación de topografía en el DRASTIC.

PARÁMETRO	INTERVALO (% PENDIENTE)	CLASE
TOPOGRAFÍA $T_w = 1$	0-2	10
	2-6	9
	6-12	5
	12-18	3
	>18	1

2,2,6 IMPACTO A LA ZONA VADOSA

Este parámetro tiene un comportamiento temporal y espacial similar al tratado en el medio acuífero, ya que de igual forma, escenarios como sierras y valles presentan complicaciones en la selección de intervalos de material y esto puede producir una toma inapropiada de índices de vulnerabilidad. En escenarios estratificados se aplica la misma expresión utilizada en el parámetro de tipo de acuífero,

La aproximación para la evaluación del **impacto de la zona vadosa** en el DRASTIC se presenta en la tabla 7, con su peso específico $\{fw\}$ para este factor será de 5 puntos (Aller *et al* 1985),

Tabla 7 - Evaluación del factor de impacto a la zona vadosa en el DRASTIC

PARÁMETRO	MATERIAL	CLASE
IMPACTO A LA ZONA VADOSA	Capa confinante	1
	Limo/arcilla	2-6
	Lutita	2-5
	Caliza	2-7
	Arenisca	4-8
	Caliza estratificada, arenisca, lutita	4-8
	Arena, grava con limo, arcilla	4-8
	ígnea/metamórfica	2-8
	Arena y Grava	6-9
	Basalto	2-10
	Caliza karstica	8-10

2.2.7 CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA

La sensibilidad de este parámetro es de tipo espacial. Se presenta principalmente en escenarios en donde se producen interdigitaciones de materiales con diferentes propiedades hidráulicas. Este parámetro es notablemente sensible ante la presencia de estructuras geológicas como fallas, diques y cuerpos plutónicos, que cambian abruptamente la permeabilidad del medio.

La tabla 8 resume información pertinente para la **conductividad hidráulica** del factor acuífero, con su peso de importancia (C_w), el cual será de 3 puntos (Aller *et al* 1985),

Este tipo de estructuras geológicas lineales se ha considerado recientemente como un parámetro adicional, ya que en las metodologías originales no son consideradas debido a las condiciones geológicas en donde fueron desarrolladas. En algunas regiones de México su presencia y manifestación resulta ser más que evidente en las afectaciones de estructuras urbanas y ductos de agua potable, residual, o hidrocarburos (Rodríguez *et al* 2001). Si éstas no son consideradas no revelaría los problemas reales que ya existen en sitios específicos como Morelia, Distrito Federal, Salamanca, Celaya, Irapuato, Aguascalientes, Querétaro, Iteño Rosas y Abasólo (Keller, 1994; Lermo *et al* 1996; Silva y Ramos, 1998a, 1998b; Tmjillo, 1999)

Tabla 8.- Evaluación de conductividad hidráulica en el DRASTIC

PARÁMETRO	INTERVALO (GPD/ft ²)	(m/d)	(m/s)	CLASE
	1-100	0,040746-4,0746	4.6×10^{-7} - 4.7×10^{-5}	1
	100-300	4.0746-12.2238	4.7×10^{-5} - 1.4×10^{-4}	2
	300-700	12.2238-28.522	1.4×10^{-4} - 3.4×10^{-4}	4
	700-1000	28.522-40.746	3.4×10^{-4} - 4.7×10^{-4}	6
	1000-2000	40.746-81.492	4.7×10^{-4} - 9.5×10^{-4}	8
	>2000	> 81,492	> 9.5×10^{-4}	10

La tabla 8 muestra los intervalos asignados por Aller et al (1985) las conductividades hidráulicas, a los valores menores a 4.7×10^{-5} m/s, se le asigna un índice de 1, los valores mayores a 9.5×10^{-4} m/s, se le asigna un índice de 10. Esta tabla de puntuación también presenta limitaciones debido a que en el área se registraron conductividades de $1E-3$ a $1E-9$ m/s y la escala original sólo utiliza el intervalo $1E-4$ a $1E-5$ m/s, en este sentido el método Civitay De Maio (1997) es más amplio ya que utiliza valores de $1E-1$ a $1E-10$ m/s.

Temporalmente se podrían producir cambios importantes en el índice de vulnerabilidad para conductividad hidráulica en zonas muy explotadas debido a la presencia de interdigitaciones de materiales con propiedades hidráulicas diferentes (Crema *et al* 1998; Holmane/¿7/ 2000),

23 USOS DE MAPAS DE VULNERABILIDAD

La mejor manera de representar la vulnerabilidad de un acuífero es en forma de mapas, que muestren la variación espacial de los niveles de riesgo de contaminación del agua

Los mapas de vulnerabilidad son de gran utilidad para la planeación del desarrollo de zonas urbanas, ubicación de basureros, rellenos sanitarios (Rodríguez y Ramos, 1997; Ramos, 1998a, 1999b; Silva y Ramos, 1999), zonas de recarga artificial, monitoreo de calidad del agua subterránea, estudios de calidad del agua en zonas en donde se ubiquen fuentes potencialmente contaminantes como canales de aguas residuales, red de drenaje urbano, gasolineras ductos con hidrocarburos u otras sustancias peligrosas (Vrba, J, y Zaporozec, A, 1994; Hirata, R. y Reboucas, A., 1999, Gogu, R. C. y Dessargues, A, 2000a, 2000b; Rodríguez *et al.* 2001).

3 VALIDACIÓN DE LOS MAPAS DE VULNERABILIDAD

De acuerdo con la "Atomic Energy Control Board",¹²⁰ la validación de modelos varía entre científicos y disciplinas de ingeniería, en algunos campos la validación de modelos se realiza utilizando técnicas estadísticas para examinar el efecto del valor de un parámetro sobre la exactitud de un modelo.,

El glosario de la Agencia Internacional de Energía Atómica para Manejo de Residuos Radioactivos (IAEA Radioactive Waste Management Glossary) define validación como:

"El proceso llevado a cabo para comparar las predicciones de un modelo con observaciones de campo independientes y mediciones experimentales; Un modelo no puede ser considerado validado lo suficiente hasta no tener un nivel aceptable de exactitud predictiva"

La validación también puede ser realizada a modelos que han sido simulados de observaciones empíricas (Flaveüe, 1992).

En la literatura sobre el tema, existe una controversia sobre la validación de modelos geohidrológicos, algunos investigadores como Konikow y Bredehoeft (1992), son de la opinión de abandonar ese término, debido a que durante la aplicación de modelos geohidrológicos a problemas reales de campo, se cometen errores relacionados con las deficiencias conceptuales, errores numéricos y en ocasiones una inadecuada estimación de parámetros hidrológicos del modelo; sin embargo, otros investigadores como Marsily, *et al.* (1992) y Flaveüe (1992), están en desacuerdo con esa propuesta, ya que en la validación de modelos, de lo que se trata es de representar mejor un sistema real y la exactitud de la resolución de los sistemas numéricos forman parte de la verificación del modelo.,

Los modelos de vulnerabilidad no son totalmente modelos matemáticos predictores, dado que parte de su proceso utiliza información geológica de tipo cualitativo, como el tipo de acuífero, las características del suelo y el impacto a la zona vadosa. Sin embargo, éstos necesitan aproximarse a los procesos reales en cuestiones de impacto ambiental.

Normalmente los mapas de vulnerabilidad no son validados y esto puede dar lugar a un mal manejo del uso del suelo, así como un diagnóstico subjetivo de un área contaminada o de una fuente potencialmente contaminante. Para evitar este tipo de malos manejos, es necesario realizar pruebas de autoconelación de parámetros y validación de los planos de vulnerabilidad que den una buena confiabilidad de éstos (Ray y O'dell, 1993; Ramos, 2000, Ramos y Rodríguez, 2001),.

3.1 METODOLOGÍA PROPUESTA PARA VALIDAR MAPAS DE VULNERABILIDAD

Una parte importante de los mapas de vulnerabilidad es la validación, tanto de sus parámetros como del modelo de vulnerabilidad (Ray y O'dell, 1993; Ramos, 2000; Holman *et al.* 2000; Ramos y Rodríguez, 1998),

Tomando en cuenta las definiciones y consideraciones relacionadas con la validación de modelos, a continuación se presenta la propuesta de metodología de validación utilizada en el Valle del Río Turbio y algunos casos ejemplos particulares de otras áreas en las que se

aplico parte de esta metodología en validación de modelos de vulnerabilidad utilizando métodos morfológicos y mapas de zonificación geotécnica.

a) Correlación de parámetros con índices parciales.

Después de la estimación de cada parámetro se puede aplicar una forma cualitativa de verificación de cada parámetro de vulnerabilidad, ésta consiste en la comparación de los modelos de campo de cada parámetro con los modelos de índice parciales de DRASTIG. Las morfologías deberían ser similares, si esto no ocurre, un análisis más detallado debe desarrollarse para identificar la causa de esta escasa correlación (Ramos y Rodríguez, 1998; 1999a; 2001). En algunos parámetros medidos o calculados como: la profundidad del nivel estático, pendiente topográfica, recarga neta y conductividad hidráulica es posible obtener coeficientes de correlación entre éstos y los índices DRASTIC de cada parámetro. Una baja correlación puede producirse por una inadecuada selección de los intervalos asignados a los parámetros (Lodwik *et al* 1990; Napolitano y Fabbri, 1996; Ramos y Rodríguez, 1998; Gogu y Dessargues, 2000a, 2000b), o por una inadecuada asignación de pesos a éstos, un origen también puede darse por la poca o nula influencia de un parámetro en la vulnerabilidad. Esto puede demostrarse en las gráficas de correlación, ya que cuando un parámetro no tiene correlación con sus índices DRASTIC, no influye ni modifica la vulnerabilidad. Esta etapa de validación es importante debido que en ésta se detectan inicialmente las primeras anomalías en los parámetros,,

b) Ajuste de intervalos

Cuando una baja correlación de un parámetro con su índice parcial se debe a una mala asignación de intervalos, es necesario reescalar los intervalos de dicho parámetro, como en el caso del Valle del Río Turbio, en donde las profundidades del nivel estático llegaban hasta 170m de profundidad, se reescalaron los intervalos de profundidad para adaptarse a las condiciones del área, Para hacer el ajuste, se hace uso de un análisis estadístico y funciones de correlación para obtener la mejor distribución de éstos y en consecuencia la escala más adecuada,,

c) Análisis de Sensibilidad y Variabilidad de parámetros

Una vez detectadas las posibles anomalías y efectuado el ajuste adecuado en intervalos de los parámetros en el caso de que el escenario lo requiera, se efectúa un análisis más fino,,

Es difícil generalizar un método, debido a que cada escenario en donde se desea elaborar un mapa de vulnerabilidad es diferente, y los parámetros que intervienen pueden cambiar el grado de influencia sobre la vulnerabilidad de un escenario a otro. Un análisis de sensibilidad nos da información importante sobre la influencia de valores de puntuación y pesos asignados a cada parámetro y nos ayuda a reducir la subjetividad del método (Ramos, 2000). El método de sensibilidad ha sido aplicado en otros métodos de puntuación similares al DRASTIC. El análisis de sensibilidad se realizó en varias etapas, en la primera se evaluó la vulnerabilidad utilizando los siete parámetros. En una segunda etapa se calculó la vulnerabilidad parcial, es decir utilizando solo 6 de los 7 parámetros (Gogu y Dessargues, para conocer el grado de sensibilidad de la vulnerabilidad al omitir un parámetro 2000a, 2000b),,

La sensibilidad del modelo de vulnerabilidad parcial puede expresarse según Lodwik *et al*, (1990):

$$Sxi = \left| \frac{Vi}{N} - \frac{Vxi}{n} \right| \quad (3.1)$$

Donde:

Sxi = es la sensibilidad (para la celda i) asociado con un mapa sin el parámetro xi ,

Vi = índice de vulnerabilidad utilizado en la celda /

Vxi = índice de vulnerabilidad sin considerar uno de los parámetros $X(D, R, A, S, T, I, C)$

N = Número de parámetros considerados en DRASTIC

n = Número de parámetros utilizados en mapas de vulnerabilidad parcial.

Esta expresión nos ayuda a determinar qué tanto influye un parámetro en la vulnerabilidad, es decir, qué tan sensible es la vulnerabilidad si se descarta o suprime un parámetro,

Para evaluar el orden de la magnitud de la variación originada al omitir un parámetro, el índice de variación puede ser calculada de acuerdo con Lodwik *et al.*, (1990):

$$VXi = \frac{Vi - Vxi}{Vi} * 100 \quad (3.2)$$

Donde:

VXi - índice de variación omitiendo un parámetro $X(D, R, A, S, T, I, C)$

Vi = índice de vulnerabilidad calculada en el área /

Vxi = índice de vulnerabilidad calculada en el área z , sin considerar un parámetro $X(D, R, A, S, T, I, Q)$,

d) Análisis de asignación de pesos

La determinación de pesos efectivos de los parámetros, es importante para identificar parámetros mal pesados o con una influencia en la vulnerabilidad diferente a la definida en los pesos originales (Lodwik *et al.* 1990; Gogu y Dessargues, 2000a, 2000b; Napolitano y Fabbri, 1996). Este método es en cierta forma interactivo, permite validar y evaluar¹ la consistencia de los resultados analíticos y proporciona las bases para modificar los pesos y evaluar de nuevo la sensibilidad, la variabilidad y pesos asignados a los parámetros. Cada parámetro tiene una influencia en la vulnerabilidad, expresada en pesos efectivos. El peso efectivo (Wxf) puede ser calculado para cada celda de acuerdo a la ecuación propuesta por Napolitano y Fabbri, (1996):

$$Vxi = \frac{Xri * Xwi}{Vi} * 100 \quad (3.3)$$

Donde Xri y Xwi son las puntuaciones y los pesos para cada parámetro X respectivamente en cada celda y Vi es el índice de vulnerabilidad calculada para cada celda,

Debido a que cada escenario es diferente, la influencia de cada parámetro también debe ser diferente, esto implica que el peso que se debe asignar a cada parámetro puede cambiar de un sitio a otro,

Cuando se desarrolla la ecuación de variabilidad 3.2 (Lodwik *et al.* 1990) se observa que es la misma que la ecuación de pesos 2.6 (Napolitano y Fabbri, 1996); sin embargo, el uso que

le da cada autor es diferente, en el presente trabajo se evaluaron ambas expresiones, no obstante bastará calcular solo una de las expresiones,

e) Correlación de dos métodos diferentes de vulnerabilidad.

La comparación entre dos métodos diferentes es otra forma de evaluar los mapas de vulnerabilidad (Ronnéseth, 1995). Este proceso consiste en obtener los coeficientes de correlación, entre ambos métodos de vulnerabilidad y debe existir cierta correlación; sin embargo, también se esperaría cierta dispersión de los puntos, debido a que los parámetros utilizados no necesariamente deben ser los mismos. Este tipo de validación ha sido utilizada en algunas regiones del mundo con muy buenos resultados (Napolitano y Fabbri, 1996; Ramos, 1998) Ésta se puede realizar aplicando dos métodos de vulnerabilidad diferentes a una misma región y comparar los resultados (Ronnéseth, 1995; Ramos y Rodríguez, 1998, 2001), los cuales deben ser muy similares en caso de que ambas técnicas estén bien aplicadas, si éstas difieren, existe la posibilidad de que alguno de los parámetros esté mal evaluado.,

f) Correlación de la vulnerabilidad con componentes químicos.

Otra forma de complementar la validación de un mapa de vulnerabilidad, es analizando el comportamiento de los componentes químicos como son los iones mayores del agua subterránea de la región, de tal manera que si una misma fuente contaminante está actuando en áreas con diferente vulnerabilidad, se debería obtener concentraciones químicas altas en las zonas más vulnerables. La distribución de los componentes fisicoquímicos es función de los campos de velocidades del flujo subterráneo y la ubicación de la fuente contaminante. En algunos escenarios es posible encontrar una correlación entre la distribución de algún parámetro fisicoquímico y la vulnerabilidad (Bencini *et al* 1993; Ramos y Rodríguez, 1998, 1999a, 2001; Ramos, 2000),

S.2 CASOS PREVIOS DE VALIDACIÓN

La propuesta metodológica final para validar los mapas de vulnerabilidad que se hace en el presente trabajo ha pasado por varias etapas, a continuación se hace una breve descripción de algunos trabajos en donde se han hecho intentos de validación de mapas de vulnerabilidad.

Si bien el método DRASTIC considera a la topografía como un parámetro que influye muy poco en la vulnerabilidad del acuífero, la pendiente topográfica es un factor que influye en el escurrimiento superficial de agua y no se ha considerado el proceso erosivo al relieve terrestre, lo cual resultaría muy útil en la ubicación de basureros,

En casos particulares en donde es importante conocer el impacto erosivo sobre una fuente potencialmente contaminante (basurero), se han utilizado mapas morfométricos para validar, complementar y reforzar los mapas de vulnerabilidad (Silva *et al* 1998a, 1998b; Silva y Ramos, 1999).

En el Valle de Tangancicuaro y Valle de Zamora (Silva *et al* 1998a, 1999), se fueron utilizados mapas morfométricos (disección general de relieve y densidad de lineamientos) para reforzar la ubicación de rellenos sanitarios en mapas de vulnerabilidad DRASTIC, dado que éste no considera escenarios altamente erosivos y fracturados (Fig. 3.1),

La densidad de disección del relieve, también llamado de disección horizontal del relieve en planta, representa en sí la erosión de la superficie terrestre en cuanto a la longitud del Talweg por km² (Ray y Fisher, 1960). Esto adquiere una mayor relevancia si se consideran fuentes superficiales de contaminación natural ubicadas en zonas con alta probabilidad de ser erosionadas e incorporadas al acuífero, así como sitios probables para ubicación de rellenos sanitarios, industrias u otras fuentes potenciales de contaminación ubicados en áreas altamente fracturadas o sujetas a procesos erosivos. Uno de los factores más importantes que intervienen en la densidad de la disección es el estado de las fracturas, y su importancia radica en el hecho de que las fracturas constituyen zonas de debilidad, las cuales favorecen el encauzamiento del agua u otras sustancias contaminantes y en consecuencia la disección del relieve. Los valores de vulnerabilidad son mayores en áreas montañosas con rocas fracturadas (Silva *et al.* 1998a)

Con estos métodos morfoométricos, es posible diferenciar zonas en las que los procesos erosivos son más importantes que los acumulativos (Silva *et al.* 1999), lo cual puede contribuir a la toma de decisiones para la ubicación de basureros y rellenos sanitarios.

En la Sierra de Santa Catarina se utilizó el proceso empírico de comparación de un mapa de vulnerabilidad DRASTIC, con un mapa de zonificación geotécnica de la Cuenca de México, la cual es agrupada en tres grandes regiones: Lomas, Lacustre y de Transición (Marsal y Mazari, 1969). La primera corresponde principalmente a las Sierras circundantes y aparatos volcánicos ubicados dentro de la cuenca, se caracteriza por ser material fracturado con valores altos de conductividad hidráulica. La segunda está representada por los sedimentos de origen lacustre, alternancias de limos, arcillas y arenas finas, con valores bajos de conductividad hidráulica (Ramos, 1998a, 1998b) y la última como su nombre lo indica, representa a las áreas de transición entre las dos primeras. Generalmente se le asignan valores medios de conductividad hidráulica. Los valores obtenidos por el método DRASTIC van de 85 a 130 (Rodríguez y Ramos, 1997; Ramos, 1999b), desde el punto de vista de afectación al acuífero, los valores mayores a 120 indican zonas riesgosas y corresponden a la zona de lomas, en tanto que valores menores a 105 indican zonas de mínima afectación a las aguas subterráneas y concuerdan con la zona lacustre, Los valores de 105 a 120 coinciden con la zona de transición (Fig. 3.2),

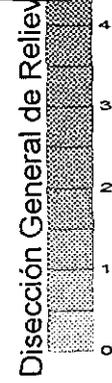
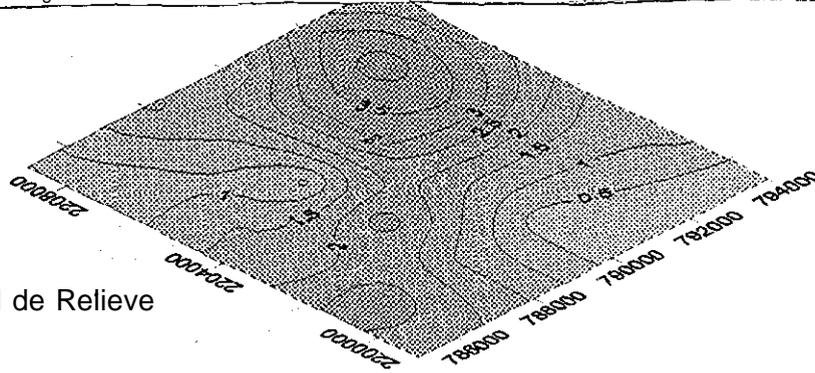
3.3 VALIDACIÓN Y GRADO DE CONFIABILIDAD DE MAPAS DE VULNERABILIDAD

La fuente de información es un factor muy importante que debe tomarse en cuenta para confiar en un mapa de vulnerabilidad, ya que deben tener mayor peso los datos generados en campo que los obtenidos de literatura. Dependiendo del tipo, cantidad y calidad de información utilizada para la confección de mapas de vulnerabilidad, así como del proceso de validación, éstos pueden ser clasificados en diferentes grados de confiabilidad (Ramos, 1999a, 1999b, 2000) como son:

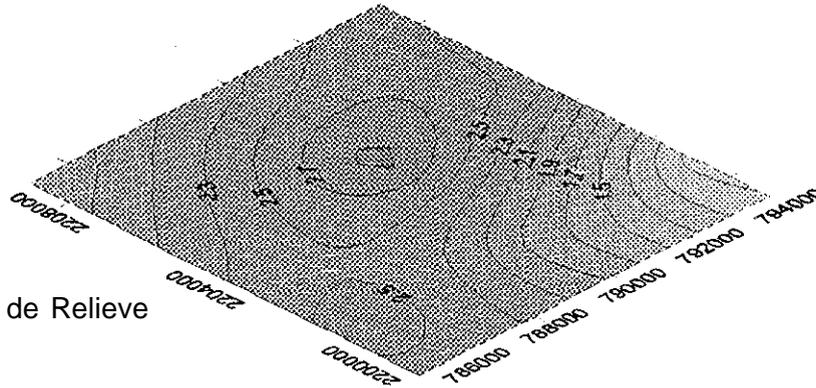
- > Los de baja confiabilidad no tienen un proceso de validación no cuentan con exploración del subsuelo de ningún tipo, tan solo cuentan con reconocimiento geológico superficial, y los datos de campo son escasos,

- > Los de media o regular confiabilidad solo cuentan con estudios indirectos del subsuelo, como la prospección geofísica (SEV, TEMS, radaí) y la información del subsuelo es escasa, pueden tener un proceso parcial de validación.
- > HJn mapa de vulnerabilidad con alta confiabilidad cuenta con gran cantidad de investigaciones del subsuelo, ya sean directas (cortes litológicos) o indirectas con métodos geofísicos, estudios hidrogeoquímicos y tienen un proceso de validación.

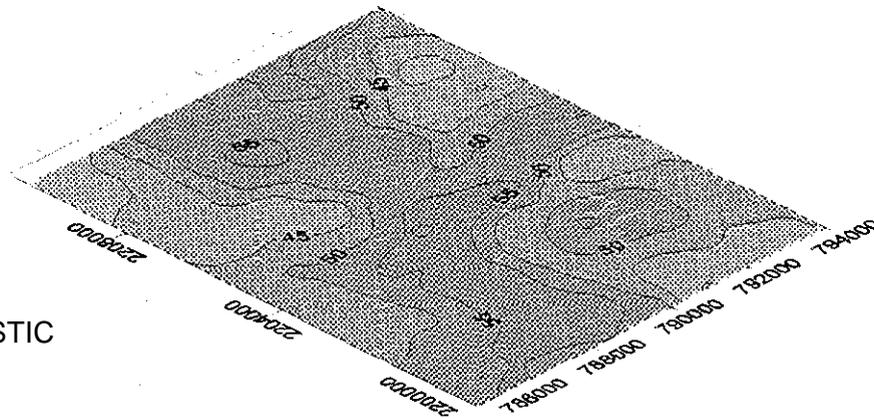
Disección General de Relieve



Disección Horizontal de Relieve



índice DRASTIC



Topografía del área de Tangancicuaro

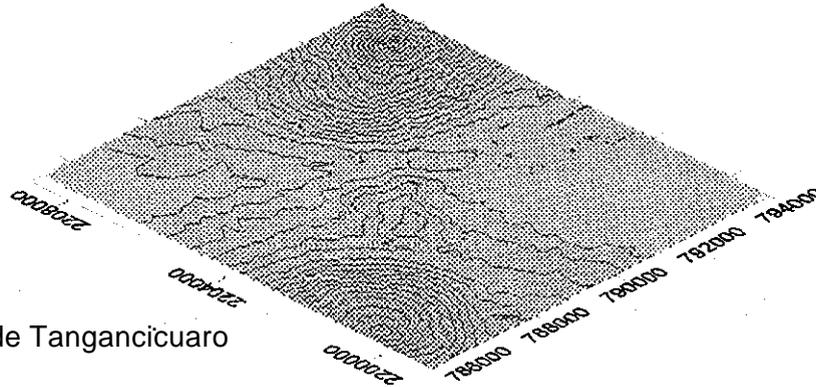


Figura 3 1 Comparación entre mapas morfométricos, topografía y vulnerabilidad de acuíferos (DRASTIC) en el área de Tangancicuaro

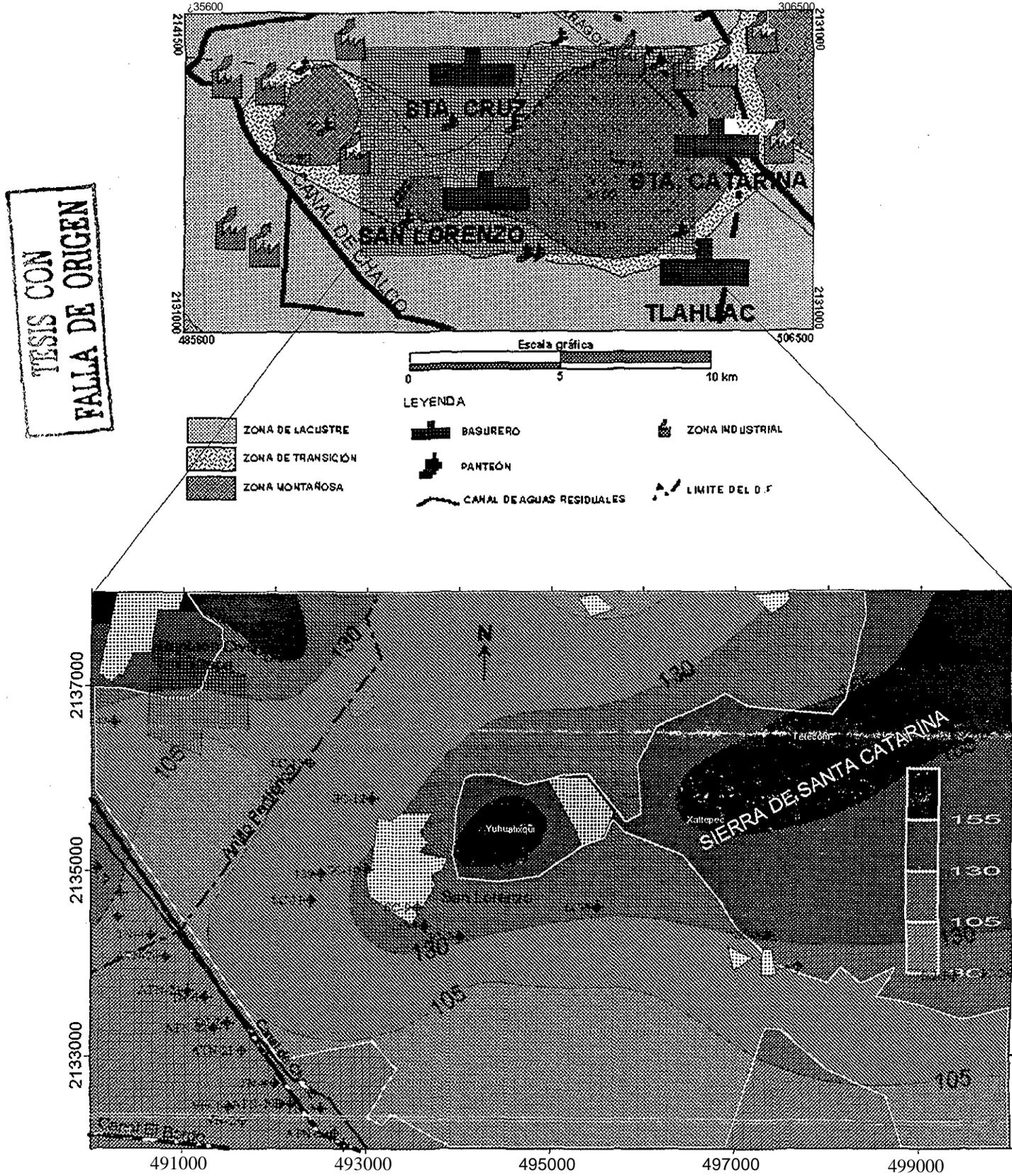


Figura 3,2- Correlación entre la vulnerabilidad de acuíferos utilizando DRASTIC y zonas geotécnicas en la Sierra de Santa Catarina.

4. CASO RÍO TURBIO

4.1 ESTRATIGRAFÍA

En el área se encuentran distribuidas rocas volcánicas y rocas sedimentarias, cuyas edades van del Terciario (Oligoceno) al reciente (Figs 4,1, 4,2 y 4.3)..

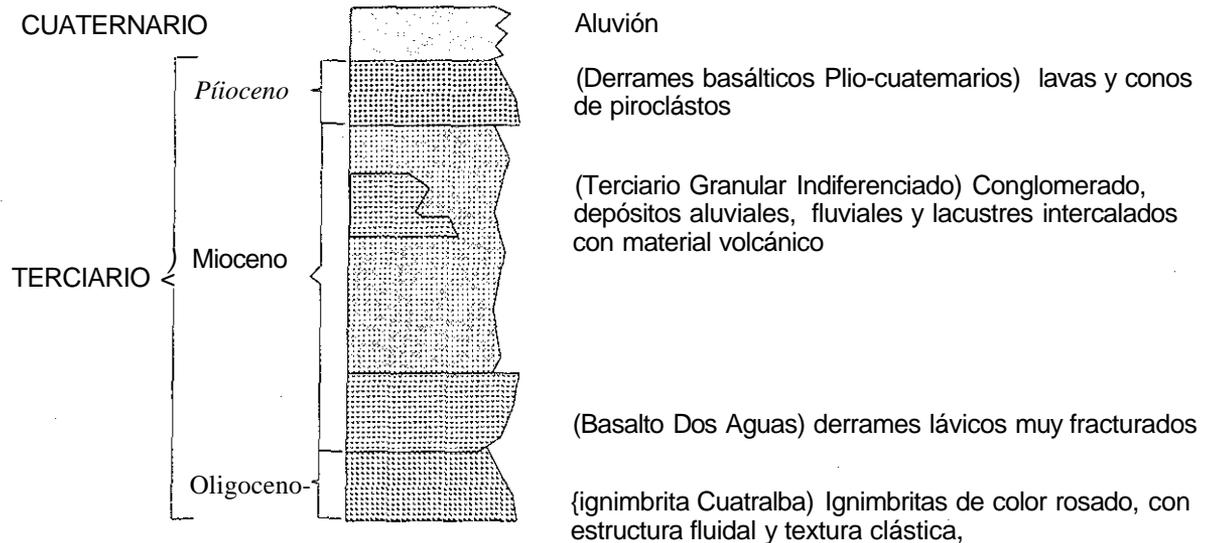


Figura 4,1.- Columna estratigráfica en el Valle del Río Turbio

Ignimbrita Cuatralba **Tic**

Definición y Distribución

El nombre de Ignimbrita Cuatralba, fue propuesto por Quinteto (1986) para referirse a todo aquel material volcánico, principalmente ignimbrítico depositado sobre las rocas antiguas de la Sierra de Guanajuato y que ahora en la Sierra Cuatralba, en las mesetas que están en la cercanías de León y Lagos de Moreno y en el borde sudoccidental de la Sierra de Guanajuato.

Esta unidad está ampliamente distribuida en el área de estudio, se encuentra en algunos afloramientos dentro del valle y bordea la parte sur del Valle del Río Turbio, donde constituyen amplias mesetas.

Dentro del Valle del Río Turbio se reporta en los pozos del CE AG, principalmente en la zona sur del valle y al oriente de éste en la zona de la Muralla. En la zona norte y Valle de León se reporta a profundidades de entre 100 y 200 metros.

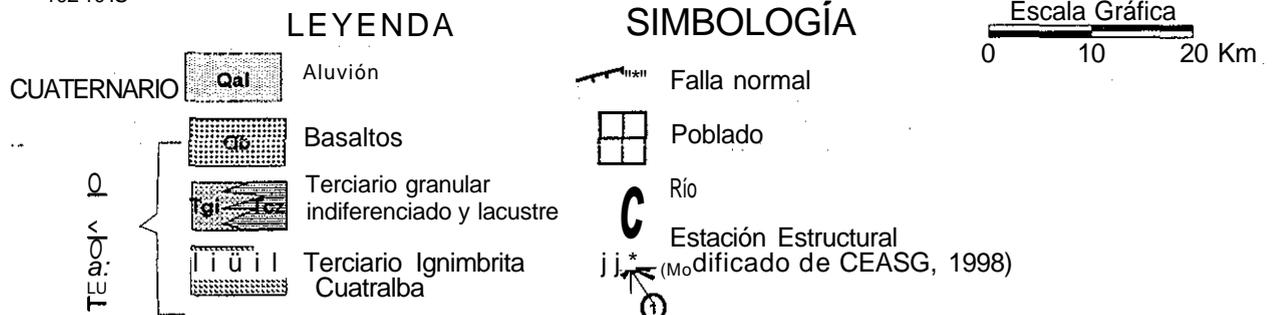
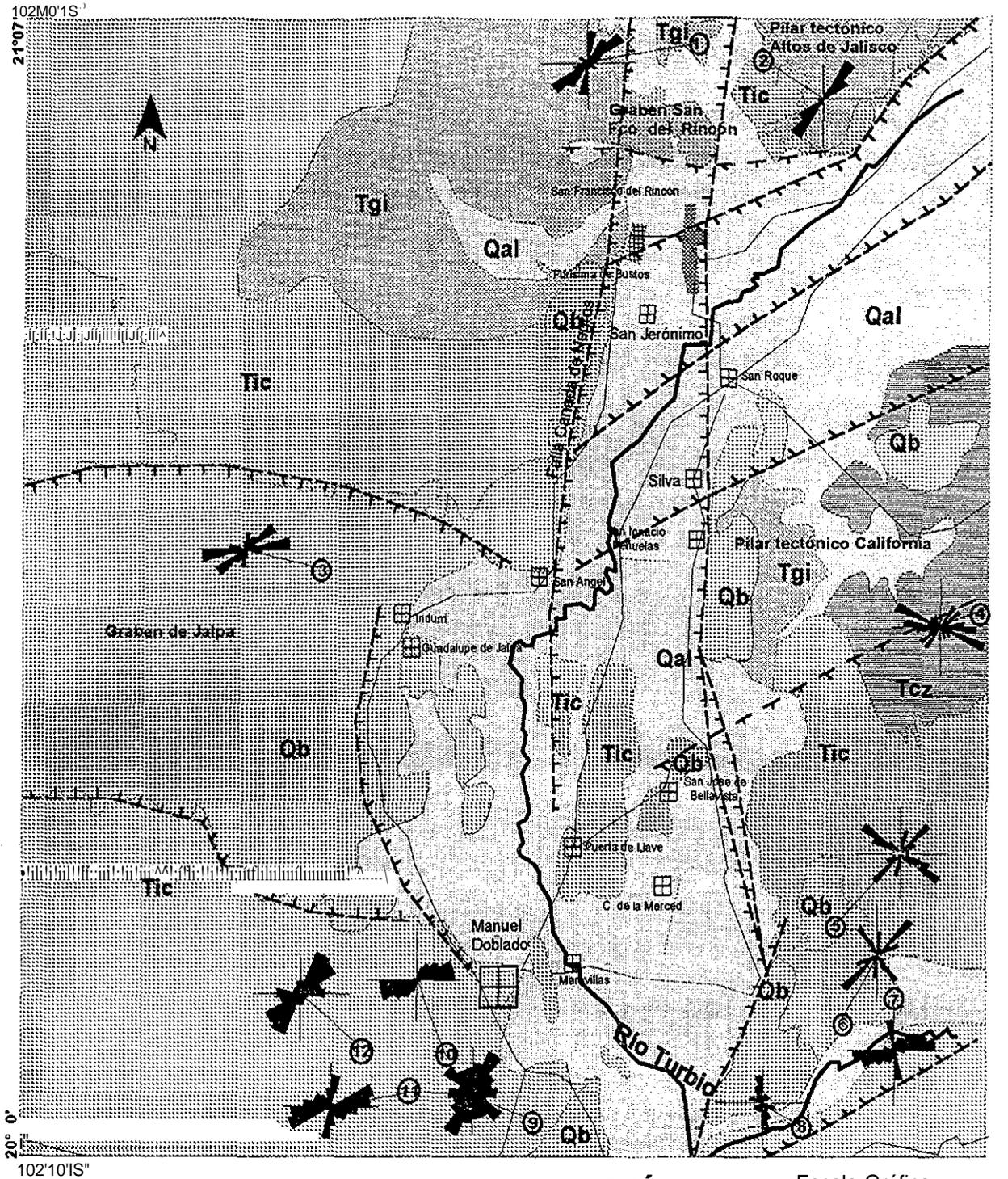
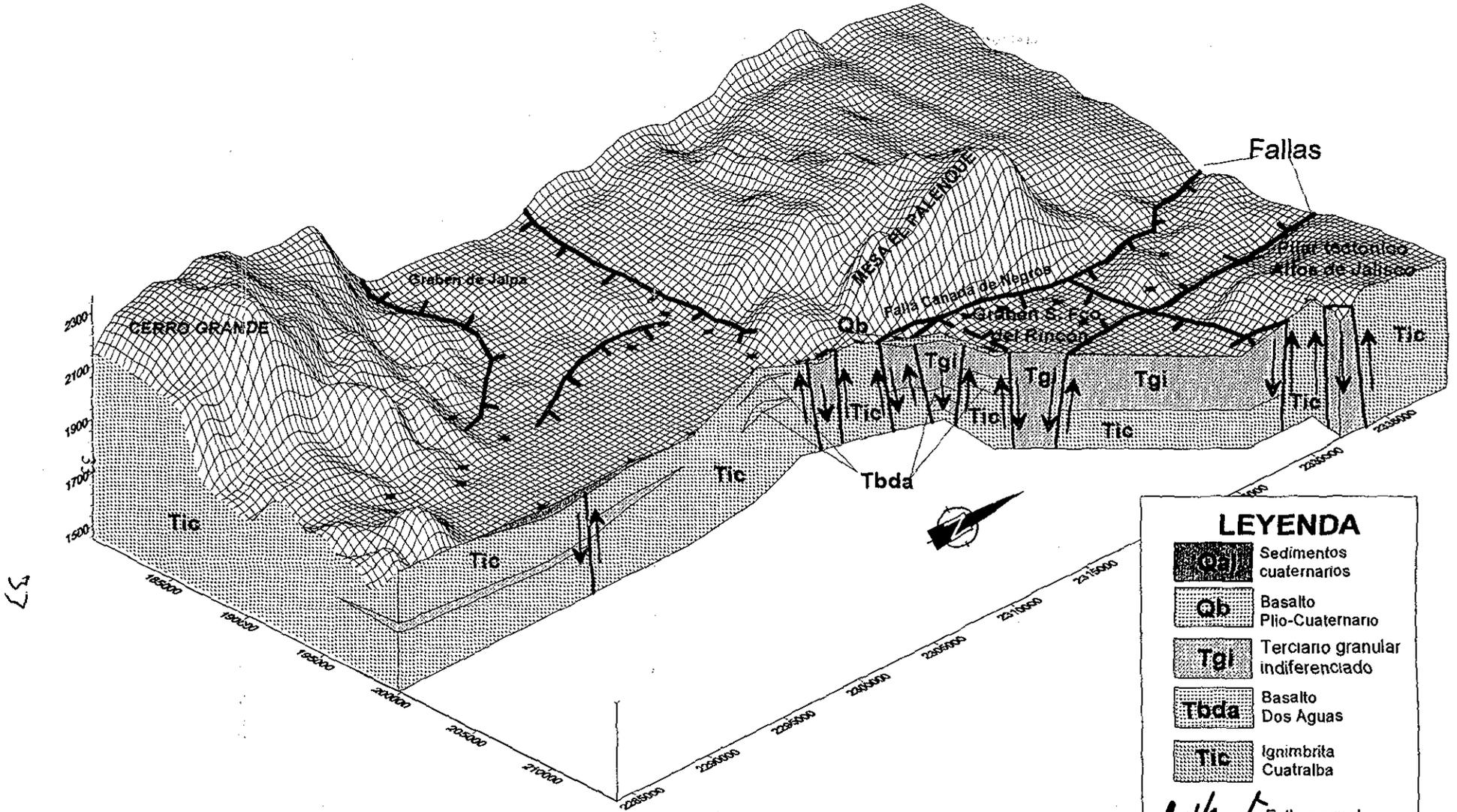


Figura 4,2 - Geología del Valle del Río TObio y estaciones estructurales,



LEYENDA

- Qa Sedimentos cuaternarios
- Qb Basalto Plio-Cuaternario
- Tgi Terciario granular indiferenciado
- Tbda Basalto Dos Aguas
- Tic Ignimbrita Cuatralba
- Falla normal
- Pozo con corte litológico

57

a. 2. 0. 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. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.

El modelo fue construido con información antigua reportada en estos cortes correspondiente a la zona norte del valle es cortado por sistemas de fallas N-S y NE-SW, que de material sedimentario (Tgi).

Litología

Es la ioca más antigua reconocida en los afloramientos del Valle del Río Turbio, su coloración es rosácea, presenta estructura fluidal, vesicular y de flama, fragmentos líticos y comprende todas las rocas de naturaleza piroclástica y composición félsica.

Hernández (1991) lo separa en dos miembros, el miembro inferior consiste de una toba masiva, félsica, de color café claro a crema, poco consolidada, los materiales predominantes son cenizas con escasos fragmentos uticos y pómez.,

El miembro superior está compuesto principalmente por ignimbrita bien consolidada de espesor variable y textura clásica con fenocristales de cuarzo y escasas plagioclasas inmersas en una matriz muy fina, en ocasiones vitrea y presenta abundante brechamiento y fracturamiento (CEASG, 1999; Ramírez *et al* 1999, 2000),

En la zona de la Muralla se encuentra a partir de los 60 m de profundidad, con espesores de hasta 110m..

Relaciones Esttatigráficas y Edad

La base de la Ignimbrita Cuatralba no es observada en los afloramientos que bordean al Valle del Río Turbio; sin embargo, ésta es reportada en los diferentes cortes litológicos de pozos de la Comisión Estatal de Agua de Guanajuato (CEAG) de la zona de la Muralla al oriente del valle, en donde descansa sobre el Conglomerado Guanajuato del Eoceno Medio ~ Oligoceno Temprano (Fenusquía-Villaftanca 1987), En la Sierra Cuatralba, Quintero reporta ese contacto en discordancia angular (1986),

Basado en correlación litológica con rocas similares que afloran en el límite sudoccidental de la Siena Madre Occidental, Quintero (1992) le asigna una edad miocénica; sin embargo, Nieto-Samaniego *et al.* (1996) fecharon por el método K-Ar, una muestra de la parte más alta de la secuencia ignimbrítica, la edad resultante fue de $28,2 \pm 0,7$ Ma, la cual la ubica en el Oligoceno tardío; se correlaciona con la ignimbrita La Virgen y la Andesita Presa manantiales (las cuales afloran en la región de San Miguel de Allende, Gto., Nieto-Samaniego *etal.* 1996)

Basalto Dos Aguas Tbd

Definición y Distribución

El término Basalto Dos Aguas es utilizado por Quintero (1986) para referirse a una unidad de lava basáltica que afora al norte de la ciudad de León en el cerro Dos aguas, del cual toma el nombre, se distribuye en un área de aproximadamente 100 Km².,

En los bordes del Valle del Río Turbio no se observan afloramientos de esta unidad; sin embargo, algunos cortes litológicos de CEAG, reportan la presencia del basalto en el Valle del Río Turbio

Litología

Esta unidad tiene una coloración gris oscura, con textura microcristalina con escasos fenocristales de olivino, muy densa y compacta, está acompañada por otros productos volcánicos de la misma composición, El espesor de esta unidad es variable, identificándose en los cortes litológicos en el Valle del Río Turbio espesores de hasta 75 m.

Relaciones Estratigráficas y Edad

Se encuentra interstratificado con la Ignimbrita Cuatralba, su emplazamiento es contemporáneo a la Ignimbrita Cuatralba

Martínez (1989, 1992) le asigna tentativamente una edad Pliocénica; sin embargo, dado que se encuentra intercalado con la Ignimbrita Cuatralba es del Oligoceno tardío.

Terciario Granular Indiferenciado Tgi

Definición y Distribución

Con el término de Terciario Granular Indiferenciado, Hernández (1991) se refiere a una unidad sedimentaria clástica de origen continental que rellena los valles del Río Turbio y León,

Esta unidad es ampliamente expuesta en la parte-norte y not oriental del Valle de Río Turbio, Es identificada en los registros litológicos de pozos del CEAG en el Valle de León y en la zona norte del Río Turbio.

Litología

Presenta una gran heterogeneidad en cuanto a su composición litológica, ya que incluye conglomerados característicos de abanicos aluviales, rellenos fluviales y depósitos lacustres con productos volcánicos intercalados,,

Esta unidad consiste de conglomerados polimícticos masivos con clastos subredondeados, pobremente clasificados, con grado de consolidación variable, los fragmentos están compuestos de ignimbrita, granito, andesitas y algunos fragmentos de calizas. Al parecer estos depósitos sedimentarios rellenan las depresiones tectónicas presentes en el valle formando abanicos aluviales,

La variación textural de esta unidad depende de su ubicación con respecto a la zona de aporte,, Así por ejemplo, en la parte norte, en las inmediaciones de la carretera que une a San Francisco del Rincón y la ciudad de León, se aprecian paquetes de flujos de pómez retrabajados, tobas limo-arenosas poco compactas, con horizontes retrabajados de material depositados en un medio acuoso,,

En esta misma porción se tienen 20 metros de unidad fluvio-lacustre, en las que se observan estratos gruesos y delgados. Los estratos gruesos son irregulares y presentan arenas de grano grueso con cantos hasta de 10 centímetros, los cuales están soportados grano a grano, por lo tanto es escasa la matriz. Los horizontes finos están constituidos en un 80% por una matriz limo arcillosa que soporta clastos de arena gruesa y clastos hasta de 4 cm, En general la unidad es poco compacta,

Al sudoeste de San Francisco del Rincón; se encuentra una secuencia continental conglomerática de abanicos aluviales y depósitos fluviales, constituidos principalmente por clastos de ignimbrita contenidos en una matriz arenosa. La secuencia se encuentra basculada aproximadamente 24° al NE por efecto de una falla con dirección N-S (CEASG, 1998; CEASG, 1999; Ramírez, *etal.* 1999;2000);

El conglomerado representa la erosión de las unidades ignimbríticas de la Siena Madre Occidental y en general manifiesta basculamiento en las direcciones NE y NW, con ángulos

de inclinación entre 24° y 45° respectivamente. Los máximos espesores de esta unidad son reportados al sur de San Francisco del Rincón, en donde alcanza espesores de hasta 400 m

Relaciones Estratigráficas y Edad

El Terciario Granular Indiferenciado yace sobre la Ignimbrita Cuatralba y subyace concordantemente al Basalto El Cubilete, al norte del área de estudio

En cortes litológicos de CEAG se reportan intercalaciones de basaltos y tobas riolíticas, como ocurre en paquetes sedimentarios que rellenan cuencas de otras regiones como San Miguel de Allende, en donde un paquete sedimentario se intercala con la Ignimbrita San Nicolás (24.8 ± 0.6) de finales del Oligoceno (Nieto-Samaniego *et al*, 1996), El depósito de estas cuencas se llevó a cabo desde finales del Oligoceno y probablemente hasta el Cuaternario (Nieto-Samaniego *et al*, 1999),

Rocas Volcánicas del Terciario-Guaternario Qb

Dentro de esta unidad se incluye una serie de conos de escoria y derrames basálticos (Qb), que afloran en el extremo noroeste de la región de estudio, Es la unidad más joven de la zona y se encuentra rellenando las partes bajas del área.

Morfológicamente son conos bien conservados, constituidos por una alternancia de escoria basáltica color negro que intemperizan a rojizo, con derrames de lava ocasionales que manifiestan abundantes fracturas de enfriamiento,

Sedimentos Cuaternarios Qal

En esta unidad se incluyen todos los depósitos continentales clásticos no consolidados (gravas, arenas, limos, arcillas y suelo residual), se localizan en la planicie y pie de monte de las partes altas (Qal) Presenta heterogeneidad en cuanto a su granulometría, dependiendo de la región de aporte. En las partes cercanas a las sierras circunvecinas se desarrollan amplios abanicos aluviales constituidos esencialmente por conglomerados. En las partes centrales de la región se presentan canales de corte y relleno, meandros abandonados, planicies de inundación y depósitos lacustres.

4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Estructuralmente el área se encuentra influenciada por la Provincia de Sierras y Valles y los sistemas de fallamiento propios de la Faja Volcánica Transmexicana (Pasquáre, *et al*, 1987),

La Provincia de Sierras y Valles representa la prolongación hacia nuestro país de su similar en los Estados Unidos, está caracterizada por una serie de fallas con dirección N-S. La segunda es un conjunto de fallas con dirección E-W y E-NE, propias de la Faja Volcánica Transmexicana,

Existen algunas estructuras interpretadas dentro de este sistema, como es el caso del sistema Taxco-Querétaro y el Graben de Penjamillo, este último queda interrumpido por la Sierra de Penjamo y puede tener continuación en el Valle del Río Turbio,,

Del análisis de la imagen de satélite y el levantamiento de estaciones estructurales reportadas por CEASG (1998) y otras medidas en campo realizadas en el presente estudio (Estaciones 4 y 5), se puede observar claramente que existen varios sistemas de fracturas,

así como fallas normales., Se presentan importantes estructuras formadas por¹ estos sistemas de fallas (Figs. 4.2 y 4.3): N-S (Graben de San Francisco del Rincón y Pilar tectónico Altos de Jalisco), E-W (Graben de Jalpa), y NE-SW (Graben Plan de Ayala y Pilar tectónico California),

Graben San Francisco del Rincón, Esta formado por dos grandes fallas con orientación N-S, que delimitan el Valle de Río Turbio. Al lado izquierdo del valle se observan los lincamientos de la mesa El Palenque, esta falla se reconoce desde el norte de San Francisco del Rincón hasta Cañada de Negros. En el lado oriental se localiza una falla normal con el bloque caído hacia el W, se localiza al Norte del valle y se prolonga hasta Las Adjuntas, en cortes litológicos-de pozos se registran saltos de 60nx

Pilar Tectónico Altos de Jalisco Se ubica entre San Francisco de Rincón y León, tiene orientación N-S, es formado por una de las fallas que forman el Graben de San Francisco y la falla normal del bloque caído al E que pasa al poniente de la ciudad de León, Al norte de San Francisco del Rincón prevalecen los sistemas N-S y NE-SW (Estaciones 1 y 2).

Graben de Jalpa. Se localiza al W del valle, tiene una orientación E-W, y es formado por dos fallas normales que se prolongan hasta los poblados de Manuel Doblado y San Ángel,, Dos sistemas de fracturamiento predominan, con orientación NE-SW (Estación 3).

Pilar tectónico California,. Es formado por dos falla normales que pasa cerca de los poblados de Peñuelas y San José Bellavista, tiene una orientación NE-SW,, Dos sistemas de fracturamiento con orientaciones E-W y NW-SE predominan.,

4.3 HIDROGEOLOGÍA

En general el Valle del Río Turbio, funciona como un acuífero libre, con algunas áreas de semiconfinamiento, principalmente en la zona centro - oriental del valle, debido a la presencia de un potente paquete de sedimentos lacustres, CEASG (1998) reporta para el un coeficiente de almacenamiento de 0,016.

En el Valle del Río Turbio se tienen dos tipos de acuíferos, uno granular y otro fracturado, el primero se distribuye hacia la parte norte del área en los alrededores de los poblados San Francisco del Rincón, Dolores, San Bernardo, Silva, Morelos y Plan de Ayala se encuentran distribuidas gruesos paquetes de material sedimentario, gravas, arenas, limos y arcillas con espesores de hasta 400 m relleno estructuras tectónicas con intercalaciones de rocas volcánicas en la periferia del valle (Fig. 4.3)..

El medio fracturado se distribuye en la parte centro y sur del valle,, El espesor de los materiales sedimentarios disminuye considerablemente e incluso, se tienen zonas en donde no se presentan y predominan principalmente las rocas volcánicas como tobas, ignimbritas y basaltos (Ramos y Rodríguez, 1998), Sin embargo, los paquetes de roca volcánica no son continuos y se presentan intercalados y acuñaos (Fig, 4.3) Los espesores de estas rocas volcánicas rebasa los 500 m como lo indican los numerosos cortes litológicos en esa zona,,

En la configuración de la elevación del nivel estático- puede verse claramente el comportamiento del sistema acuífero (Fig. 4.4), con la distribución del medio granular y fracturado y la presencia de importantes estructuras, como son los sistemas de fallas dentro del valle de Río Turbio mismas que originan dos superficies piezométricas principales, la

de mayor elevación se encuentra en la zona comprendida entre San Francisco del Rincón y Plan de Ayala, la de menor elevación se localiza en la parte sur del valle, en zonas como Manuel Doblado, Maravillas, San José Bellavista, Calzada de la Merced, etc , (Fig. 4,4).

El comportamiento hidrodinámico del acuífero en el Valle del Río Turbio se ve reflejado en la distribución de elementos conservativos como el ion cloruro, el valor de fondo en la región para cloruros oscila entre 10 y 20 mg/L, estos valores son reportados en la zona sur del Valle (CEASG, 1995; CEASG, 1999; Cortes *et al.* 1999, 2000; Ramos *et al.* 2001), En la zona norte los valores oscilan entre 20 y 500 mg/L, lo cual es indicativo de la influencia de las aguas residuales infiltradas del el Río Turbio (CNA-BGS-UACH-SAPAL, 1996; CEASG, 1999; Ramos y Rodríguez, 2001; SAPAL, 2001),.

La zona norte se recarga principalmente de los Altos de Jalisco, por lo que los flujos están orientados de norte a sur (CEASG, 1998, 1999; Ramos *et al.* 2001; Cortes *et al.* 1999; 2000a, 2000b; Johannesson *et al.* 2000,2001),

La presencia de un gran cono de abatimiento en el Valle de León, contiguo al Valle del Río Turbio, indica que no hay recarga provenientes de la Sierra de Guanajuato (CEASG, 1999; SAPAL, 2001),.

La zona sur se recarga principalmente al W a través del Graven de Jalpa y en menor proporción por El Cerro Grande al sur del Valle (CEASG, 1998; Ramos y Rodríguez, 1998, 2001). La recarga procedente de la porción sur y poniente del valle hacia la zona de Jalpa de Cánovas, se identificó de los gradientes piezométricos y de valores bajos de cloruros característicos de las zonas de recarga (Dettinger, 1989; CEASG, 1999; Cortes *et al.* 1999, 2000, 2000; Toth, 2000; SAPAL, 2001).

La presencia de manantiales asociados a fallas normales con orientación E-W al sur del valle son indicios de la baja permeabilidad de estas estructuras, lo cual disminuye la recarga en la zona sur; sin embargo, se esperaría un mayor potencial en los bloques sur de estas estructuras (CEASG, 1999, Ramírez *et al.* 1999, 2000),

Se descartan recargas provenientes del lado Este del Valle, debido a la presencia de una falla normal con orientación N-S.

La presencia de manantiales asociados a fallas N-S, el comportamiento de líneas equipotenciales (perpendiculares a las estructuras) y las diferencias piezométricas entre el Valle del Río Turbio y la zona de la Muralla; así como presencia de un cono de abatimiento en las proximidades de las estructuras N-S, indica una reducida conexión hidráulica entre ambas zonas (CEASG, 1999; Ramírez *et al.* 1999, 2000; Cortes *et al.* 1999, 2000; SAPAL, 2001; Johannesson *et al.* 2000,2001),.

4.4 CONDICIONES DE FLUJO EN LAS ESTRUCTURAS PRESENTES

El medio geológico determina las zonas en las que circula el agua, controla las magnitudes y direcciones de flujo, así como el volumen y distribución del agua almacenada (Toth, 2000),. En este caso, el comportamiento geohidrológico del Valle de Río Turbio es controlado por las condiciones estructurales y la distribución de materiales geológicos en la

Rodríguez, 1998; Cortes y Ramos, 1999; CEASG, 1999; Ramírez *et al.* 1999, 2000; Cortés *et al.* 1999, 2000; Ramos *et al.* 2001; Durazo *et al.* 2000a, 2000b) Los sistemas de fallas actúan como harteras hidrológicas (sistema N-S) o como zonas permeables (sistema E-W, y NE-SW) que permiten la recarga subterránea del sistema acuífero (Fig 4.4).

Las dos estructuras principales con orientación N-S que forman el graben de San Francisco de San Francisco del Rincón, se comportan como fronteras de baja conductividad hidráulica, esto puede apreciarse en el comportamiento de las líneas equipotenciales perpendiculares a la estructura en las proximidades de ésta

La falla que va de Cañada de Negros a León, es otra estructura geológica de baja conductividad hidráulica, como se ve en el comportamiento del acuífero entre ambas zonas,

Otras estructuras de baja conductividad hidráulica se ubican al sur del área de estudio en donde se tiene la presencia de manantiales alineados con dichas estructuras

Las fallas con orientación E-W al norte de San Francisco de Rincón tienen un carácter permeable, esto se deduce del paralelismo que guardan las líneas equipotenciales con las estructuras,

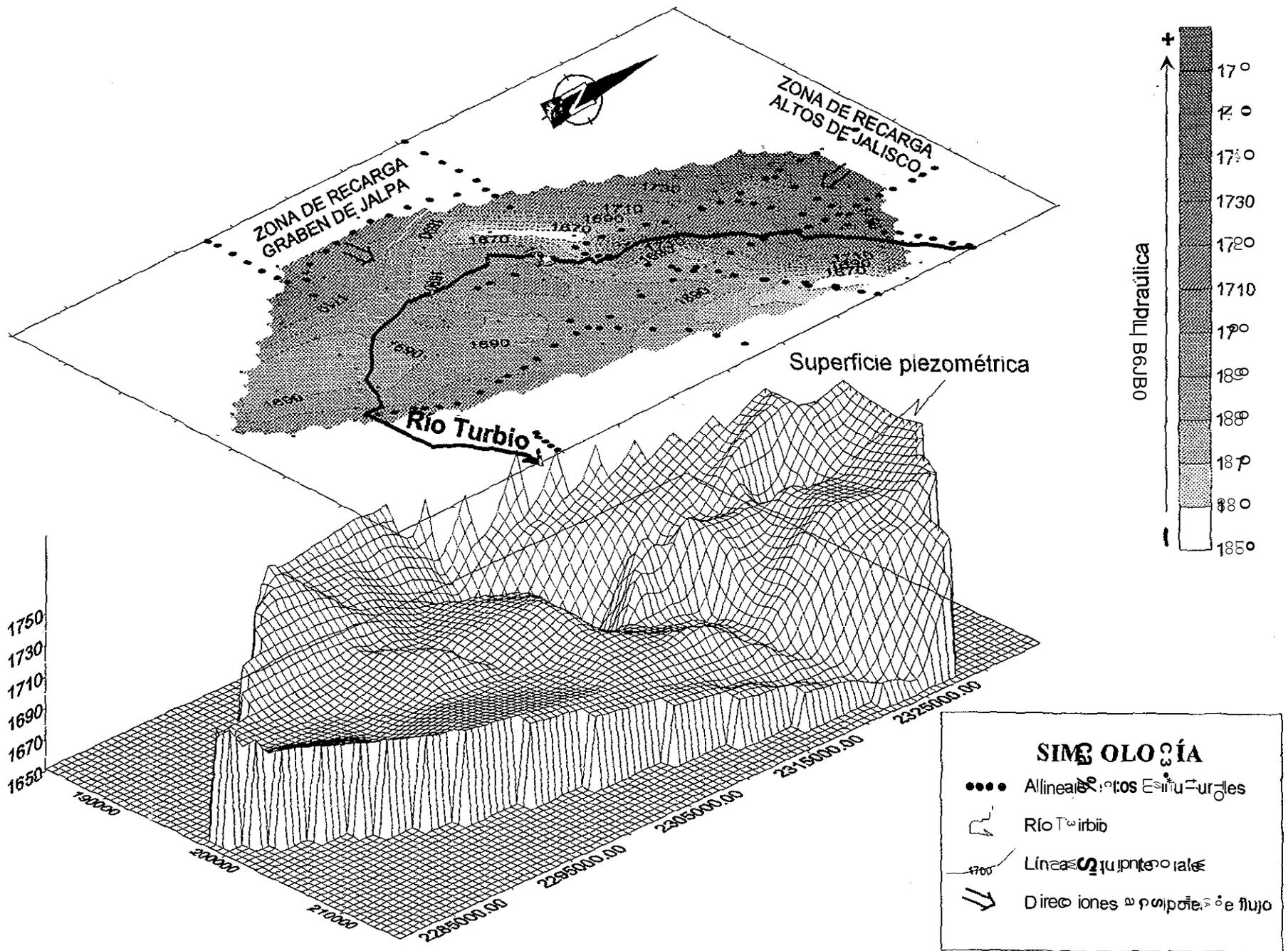


Figura 4.4.-Piezometría del Valle del Río Turbio para el año 1995. Se observa una diferencia piezométrica muy marcada en las zonas norte y sur, la primera es alimentada por flujos procedentes del norte (Altos de Jalisco), la segunda es alimentada por flujos procedentes del este (Graben de Jalpa).

5. OBTENCIÓN Y CORRELACIÓN DE PARÁMETROS DE VULNERABILIDAD EN EL VALLE DEL RÍO TURBIO.

La vulnerabilidad evaluada se basa en el método DRASTIC; sin embargo, en el proceso se realizaron algunas modificaciones tales como la utilización de funciones de transformación, para los parámetros de profundidad del nivel estático, recarga neta, gradiente topográfico y conductividad hidráulica. Las escalas de puntuación para los parámetros transformados con funciones utilizados son continuas,,

Otra modificación empleada fue el ajuste en la escala de las profundidades del nivel estático para incorporar las profundidades presentes en la zona.

En las zonas estratificadas se utilizó una media aritmética de materiales ponderados,

Cada parámetro obtenido, fue comparado (calibrado) con los valores de la tabla de puntuación del método original,

La metodología DRASTIC y otros métodos similares como SINTACS (Civita y De Maio, 1997), EPIK (Doerfliger y Zwahlen, 1999) se pueden expresar en términos matemáticos como una función (Rosen, 1994):

$$U(x_1, \dots, x_n) = f[u_1(x_1), \dots, u_n(x_n)] \quad (5,1)$$

Donde el índice DRASTIC o índice potencial de contaminación u , es una función de una serie de parámetros críticos (x_i $i = 1, \dots, n$), x_j representa los parámetros de DRASTIC (profundidad del nivel estático, recarga neta, acuífero, tipo de suelo, topografía, impacto a la zona vadosa y conductividad hidráulica),

El procedimiento para la aplicación del DRASTIC y otros métodos similares pueden ser descritos por una ecuación matricial (Rosen, 1994):

$$\begin{bmatrix} T_{11} & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & T_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ A_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ C_n \end{bmatrix} \quad (5,2)$$

La matriz T representa las transformaciones que son aplicadas a una serie de datos, la matriz columna A representa los intervalos asignados a los parámetros críticos C . La serie de datos (A) puede ser profundidad del nivel estático, recarga neta, mapas geológicos, topografía, registros de pozos, resultados de pruebas de bombeo, etc.

Las funciones de transformación (T) fueron obtenidas utilizando diferentes tipos de regresiones a los intervalos reescalado y originales (Fig 5, a, b, c, d). La matriz de transformaciones T , es una de las modificaciones que se le puede hacer al método original de Aller *et al*, (1985), ya que inicialmente se utilizaba tablas de ponderación. La ventaja que se tiene al utilizar las funciones de transformación es que se le aplica al vector A que contiene cientos o miles de datos con parámetros como: la profundidad del nivel estático, la recarga neta, el gradiente topográfico y la conductividad hidráulica que sería muy lento el proceso de asignación de dato por dato con las tablas de ponderación.

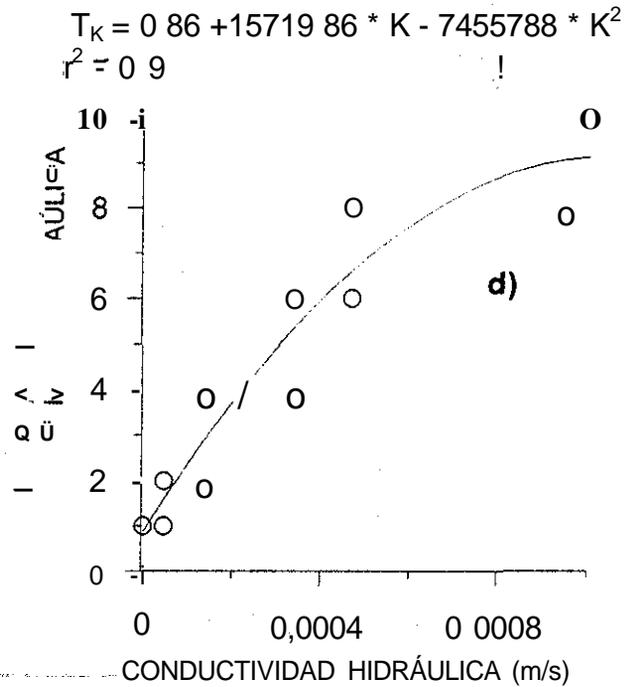
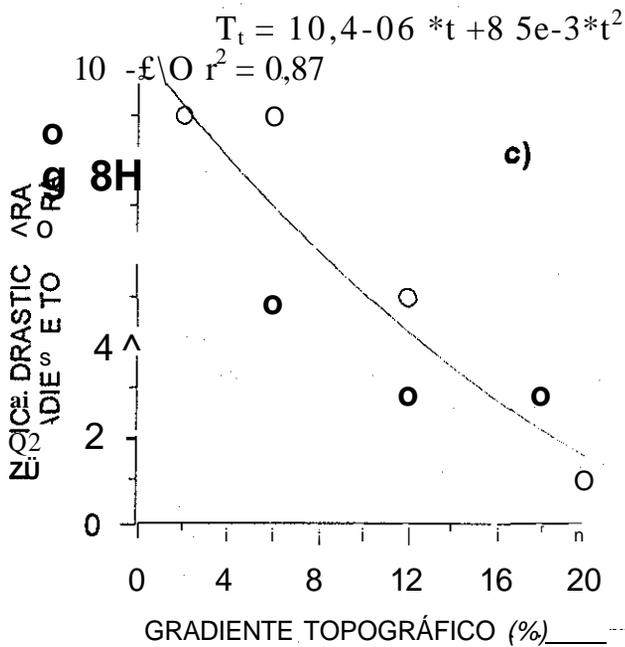
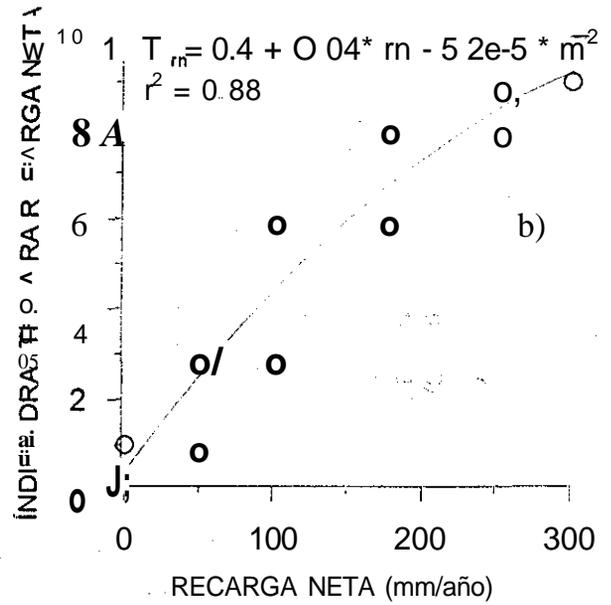
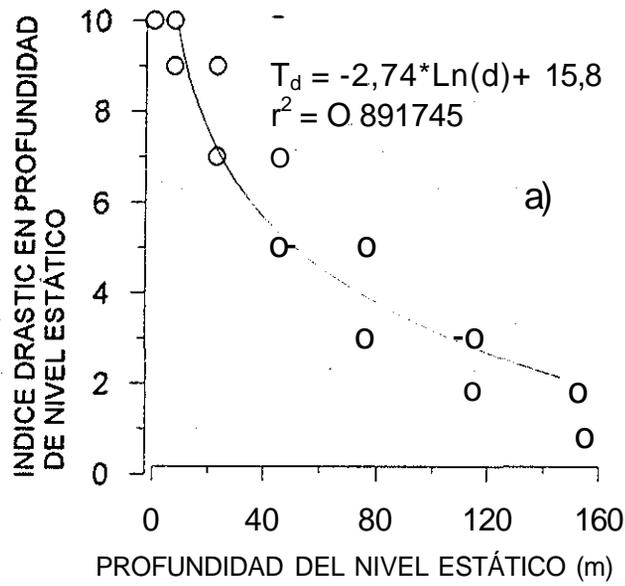


Figura 5.1 - Funciones de transformación para parámetros de DRASTIC a) Profundidad del nivel estático, b) Recarga neta, c) Gradiente topográfico y d) Conductividad Hidráulica,

En el método original de DRASTIC, los intervalos de parámetros críticos O tienen valores de 1 a 10, a mayor índice mayor será la vulnerabilidad parcial. Una desventaja que tienen las tablas de puntuación original del método DRASTIC es que el incremento de puntuación no es continuo y en el momento de interpolación si se consideran. En el caso de las funciones de transformación, las puntuaciones que se obtienen pueden ser continuas.

El valor obtenido $[O]$ es pesado por $[W]$ como se indica en la siguiente expresión:

$$[w_1, \dots, w_n] * \begin{bmatrix} C_1 \\ \dots \\ C_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h \\ \dots \\ I_m \end{bmatrix} \quad (53)$$

Donde w_1, \dots, w_n corresponde al peso asignado, para cada parámetro de acuerdo al grado de influencia en la vulnerabilidad, // I_m es el índice resultante para cada parámetro pesado.

Cada parámetro tiene una influencia en la vulnerabilidad, ésta es expresada en pesos efectivos. El peso efectivo (W_{xi}) puede ser calculado para cada celda usando el método propuesto por Napolitano y Fabbri, (1996):

$$W_{xi} = \frac{X_{ri} * X_{wi}}{V_i} * 100 \quad (33)$$

Donde X_{ri} y X_{wi} son las puntuaciones y los pesos para cada parámetro X respectivamente en cada celda y V_i es el índice de vulnerabilidad calculada para cada celda.

Los mapas de vulnerabilidad dependen de 7 parámetros, los cuales no se consideran estacionarios, ya que algunos de éstos varían con el tiempo, como es el caso de la profundidad del nivel estático, la recarga neta y otros como es el tipo de acuífero y la zona vadosa, que dependen de la velocidad con la que evolucionan del nivel estático. Los mapas de vulnerabilidad tampoco pueden considerarse como definitivos, ya que dependerán de la velocidad de variación de alguno de sus parámetros, por lo que éstos tendrán un periodo de validez.

5.1 PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO

Para el caso del Río Turbio se analizó la variación espacial y temporal de la profundidad del nivel estático y dinámico, a fin de conocer las tendencias principalmente temporal de éste parámetro y tener idea de como puede ir evolucionando la vulnerabilidad en el valle.

Para la construcción espacial y el análisis temporal de este parámetro, se contó con una red piezométrica de 75 pozos de operación del CEASG (1995, 1998), así como el censo de pozos realizados por la SARH (1979, 1982).

a) Evolución del Nivel Estático y Rapidez de Cambio

Considerando la media para cada periodo, se puede observar que la profundidad en el NE se incrementó 6 m de 1979 a 1982 y se incrementó poco más del doble (10 m) de 1982 a 1995, teniéndose máximos de hasta 170 m en el año de 1995 (Tabla 9 y Fig. 5 2).

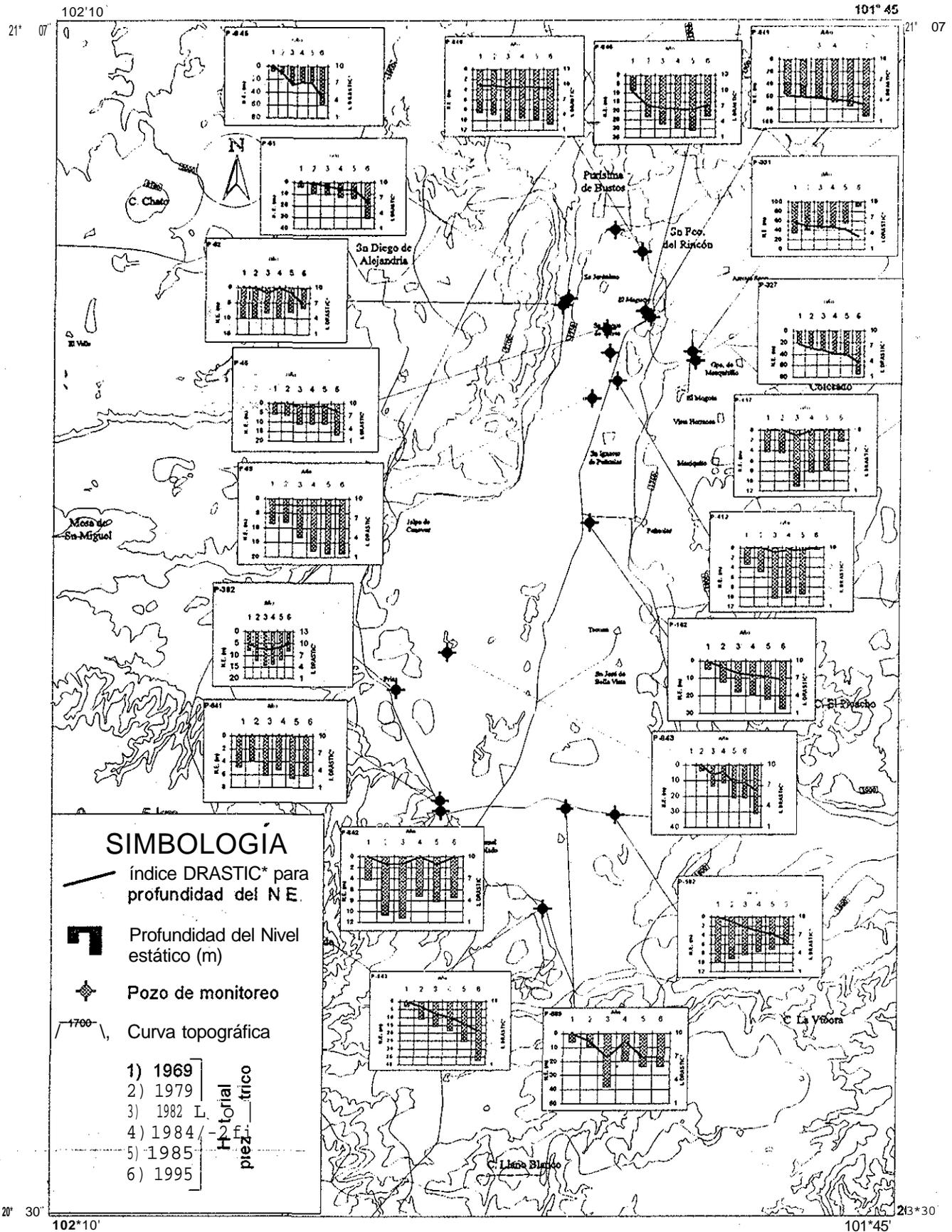


Figura 5,2- Distribución de la variación temporal de la piezometría y el índice DRASTIC* para profundidades (mapa base CEASG,1995)

TES S CON
 FALLÁ DE ORIGEN

Tabla 9.- Datos estadísticos de la evolución del nivel estático de 1969 a 1998,.

ESTADÍSTICAS	NE-1969 ¹	NE-1979 ¹	NE-1982 ¹	NE-1995 ²	NE-1998 ²
Número de pozos	20	165	33	75	54
Mínimo	0	1,2	4,2	4	5,5
Máximo	91,4	61,1	69,8	170,4	140,5
Media	19,7	148	200	420	47,5

Fuente ¹ SARH, 1969; SARH, 1979; SARH, 1982; ² CEASG, 1995; CEASG, 1998

Para analizar la evolución del nivel estático con su respectivo índice DRASTIC*, se utilizó una base de datos de 20 pozos con hidrógrafos que comprende de 1969 a 1995 (CEASG, 1995), Del periodo de 1969 a 1995, el Río Turbio se ha abatido en promedio, 20 m; sin embargo, existen zonas en donde el abatimiento ha sido mucho mayor alcanzando valores de hasta 90 m, En términos de índice DRASTIC*, éste ha evolucionado para el mismo periodo de valores de 9,3 a 7,3 (Tabla 10 y Fig. 5,2),.

Tabla 10.- Datos estadísticos de los abatimientos del nivel estático y su correspondiente índice DRASTIC*, durante el periodo de 1979-1995 para pozos con hidrógrafos (CEASG, 1995).

ESTADÍSTICAS	Abatimiento del nivel estático (m)	NE-1969(m)	NE-1995 (m)	DRASTIC 1969	DRASTIC 1995
Número de valores	120	20	19	20	20
Mínimo	0	0	0,3	4,7	3,4
Máximo	91,4	56,4	89,4	10	10
Media	19,7	10,0	27,8	9,3	7,3

b) Cambios Bruscos de la Profundidad Durante el Bombeo.

En datos de la SARH (1982), el valor más somero del nivel estático en los pozos de prueba fue de 4,2 m y el más profundo de 69,9 m. El nivel dinámico, varía de 12 m a 97 m, durante las pruebas de bombeo los abatimientos son de 0,94 a 78,19 m, En términos de índice DRASTIC* para profundidad, varía de 4,1 a 10 al iniciar el bombeo y de 3,2 a 8,9 al finalizar el bombeo (Tabla 11 y Fig. 5,3),.

Por lo tanto el índice DRASTIC* no debe ser considerado estático y debe tener un rango de validez ya que al incrementarse la profundidad disminuye la vulnerabilidad,.

c) Transformación del nivel estático a índice DRASTIC

Los datos de piezometría utilizadas corresponden al año 1998, en donde las profundidades variaron de 5,5 a 140,5 m, la media se encuentra en 47,5 m (CEASG, 1998), éstas se incrementaron hacia las zonas de mayor elevación y parte poniente, disminuyendo hacia el centro del valle, a lo largo del Río Turbio (Tabla 9 y Fig. 5,4),.

TEJOS CON
FALLA NE 0 > N

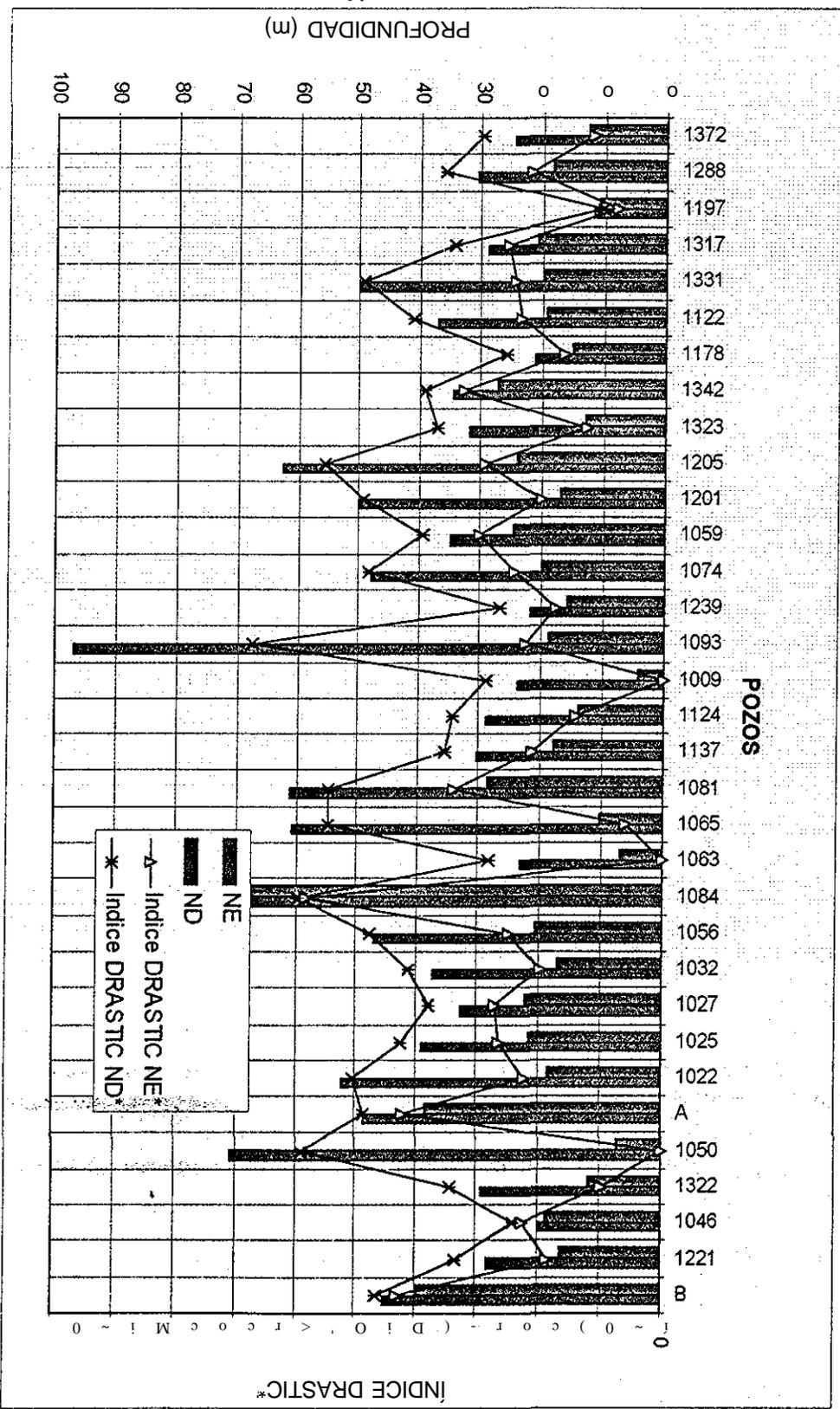
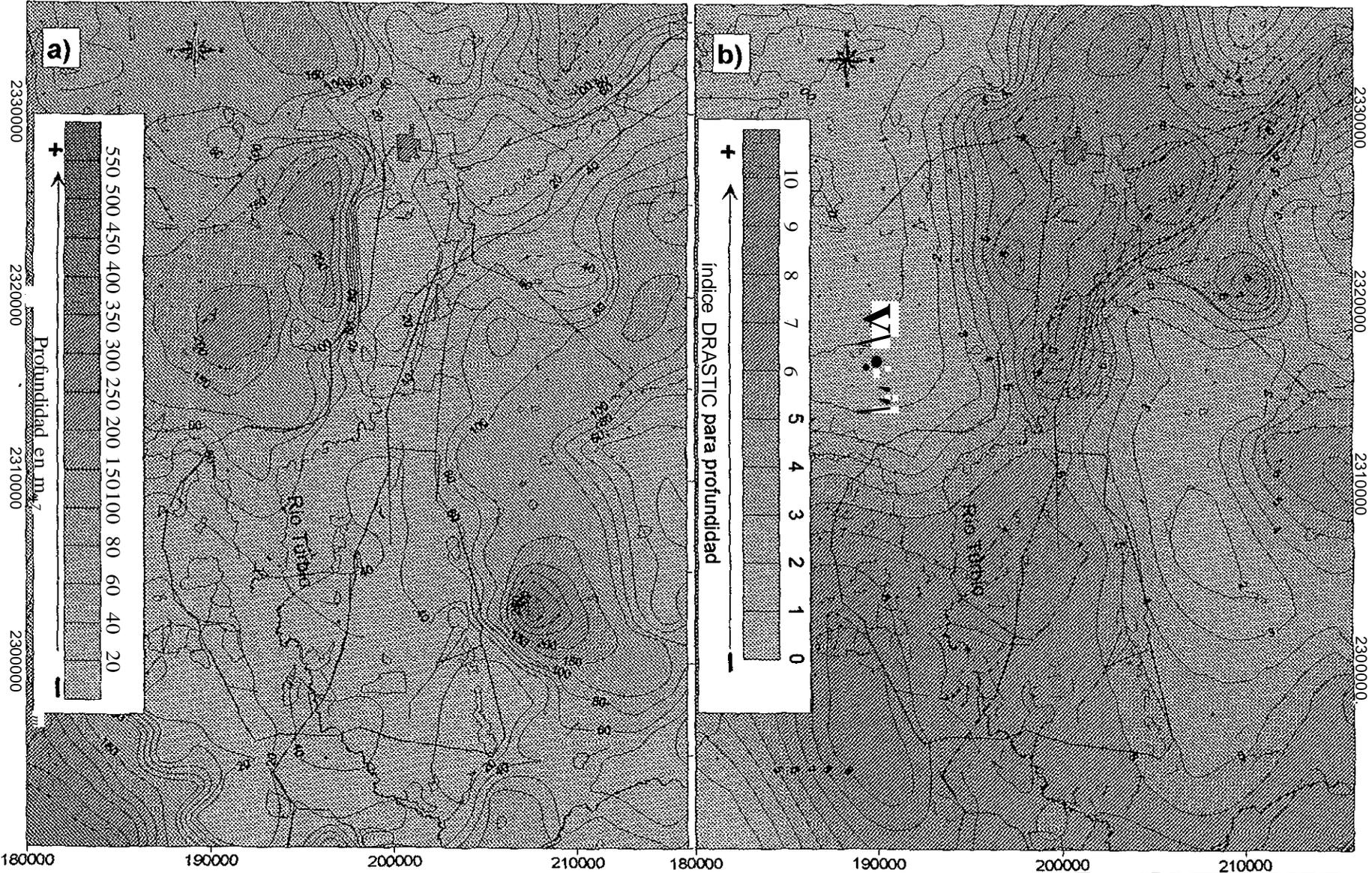


Fig. 5.3. Variación del Índice DRASTIC NE* y ND* con la Profundidad (m) y el Índice DRASTIC NE* y ND*.



47

LEGENDA

- Línea de contorno
- Río
- Población

o. las una

del Valle de

registro

profundidad. Los

en las periferias

el mismo.

entre ambos.

de profundidad

profundidad, la

en el valle y los valores

entre ambos.

vel estático e

registro

profundidad

del índice

registro

en las periferias

el mismo.

entre ambos.

La función de transformación utilizada para este parámetro se obtuvo aplicando técnicas de regresión no lineal de tipo logarítmica a los datos de puntuación y profundidad del nivel estático (Tabla 2, Intervalo modificado) del método DRASTIC (Auer et al, 1985),

Tabla 11. - Datos estadísticos para profundidades e índice DRASTIC* del nivel estático (NE) y del nivel dinámico (ND).

ESTADÍSTICAS	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Media
Nivel estático	69,9	4,2	11,7	20,1
Ind. DRASTIC* para profundidad en NE	10	4,1	1,2	7,8
Nivel dinámico	97	12	18,4	40,2
Ind. DRASTIC* para profundidad en ND	8,9	3,2	1,2	5,9
Abatimiento	78,1	0,9	17,4	20,4

La función de transformación T_d obtenida para pasar de valores de profundidad del nivel estático a valores de índice DRASTIC* para este parámetro es de la siguiente forma (Fig. 5,1a),

$$T_d = a * \ln(d) + b \quad (5,4)$$

Donde a y b son constantes y d es la profundidad del nivel estático ($a = -2,7$ y $b = 15,79$).

Para comparar los resultados derivados a partir de la tabla 2 y los obtenidos por medio de la función se calculó el factor de correlación entre los índices de la tabla de DRASTIC original y la función, éste fue de 0,942 (Anexo A 1),

d) Correlaciones y ajuste de la profundidad del nivel estático

El método original incluye profundidades hasta 30,5 m, después de esta profundidad, los autores Alier *et al.* (1985), consideran que este parámetro no influye en la profundidad, por lo que valores mayores a este le asignan un índice parcial de 1. En la zona de estudio se tienen profundidades de 4 a 170m (CEASG, 1998), si se considerara la escala original se tendría una frecuencia predominante de 1 en el índice parcial; sin embargo, existen evidencias de la contaminación del acuífero del Valle del Río Turbio a profundidades mayores a 30m, por lo que es necesario hacer ajustes a la escala original

La variación espacial de los parámetros es muy importante, ya que existen zonas en donde el impacto de los parámetros es mayor que en otros. Cuando es poca la variabilidad, es posible que en realidad el parámetro no influya en la vulnerabilidad o que los intervalos de ponderación nos sean aplicables para ese escenario, esto ocurre cuando se tienen profundidades del nivel estático mayores a 30 m, para lo cual se propone un ajuste de los intervalos y se hará uso de un análisis estadístico y funciones de correlación para obtener la mejor distribución de éstos y en consecuencia la escala más adecuada.

Para llevar a cabo las correlaciones de profundidad del nivel estático con el índice DRASTIC* de profundidades, se utilizaron primero gráficas de frecuencia para seleccionar los intervalos que estén mejor distribuidos y posteriormente se hicieron las correlaciones. Considerando las frecuencias para profundidades, se encontraron dos valores de frecuencia predominantes, uno se encuentra entre 10 y 15 m y otro entre 50 y 60 m, los valores de profundidad se distribuyen de forma normal bimodal; sin embargo, considerando los intervalos originales de 0 a 30 m, la distribución resultante es de tipo lognormal y el valor de frecuencia predominante es de 1. Se aplicaron escalonamientos de 5 y 10 veces la escala original, encontrándose la mejor distribución para el ajuste de 5. Para las correlaciones de profundidad del nivel estático con el índice DRASTIC* para profundidades se utilizaron primero gráficas de frecuencia, para seleccionar los intervalos que estén mejor distribuidos y posteriormente se hicieron las correlaciones (Fig 5.5)

Con los datos de los pozos del CEASG (1998) se realizó un análisis geoestadístico, en donde la distribución para la profundidad del nivel estático y su respectivo índice DRASTIC* se ajustó a un modelo exponencial (Anexo B),

5.2 RECARGA NETA

Para la evolución de la recarga neta se utilizó la información climatológica de 5 estaciones distribuidas en el Valle del Turbio, los registros de temperatura y precipitación comprenden desde 1961 a 1992 (Tabla 12),. Los valores más altos de precipitación y temperatura se producen en la zona sur del Valle del Río Turbio (Estación Adjuntas) y los valores más bajos de precipitación y temperatura se presentan en la parte central del valle,

Tabla 12. Precipitación y temperatura media anual de estaciones climatológicas en la subcuenca de Río Turbio,.

ESTACIÓN METEOROLOGICA	PRECIPITACIÓN (mm)	TEMPERATURA (°C)	AÑOS	No., AÑOS
GUANAJAL	625,93	17,75	1961-1986	26
PEÑUELAS	575,11	18,89	1981-1989	9
HUIZACHE	665,18	19,01	1962-1988	27
M. DOBLADO	580,43	17,75	1970-1990	21
ADJUNTAS	710,18	18,93	1961-1992	32

a) Variación Temporal de la Recarga Neta

Basados en el análisis de recarga neta para 14 años en las estaciones meteorológicas de la región, se encontró que la precipitación, temperatura y evaporación, puede presentar cambios abruptos de un año hidrológico a otro. La recarga puede variar de más de 300 mm a menos de 10 mm de un año hidrológico a otro, en consecuencia, los intervalos del factor DRASTIC* pueden cambiar de 9 a 1,

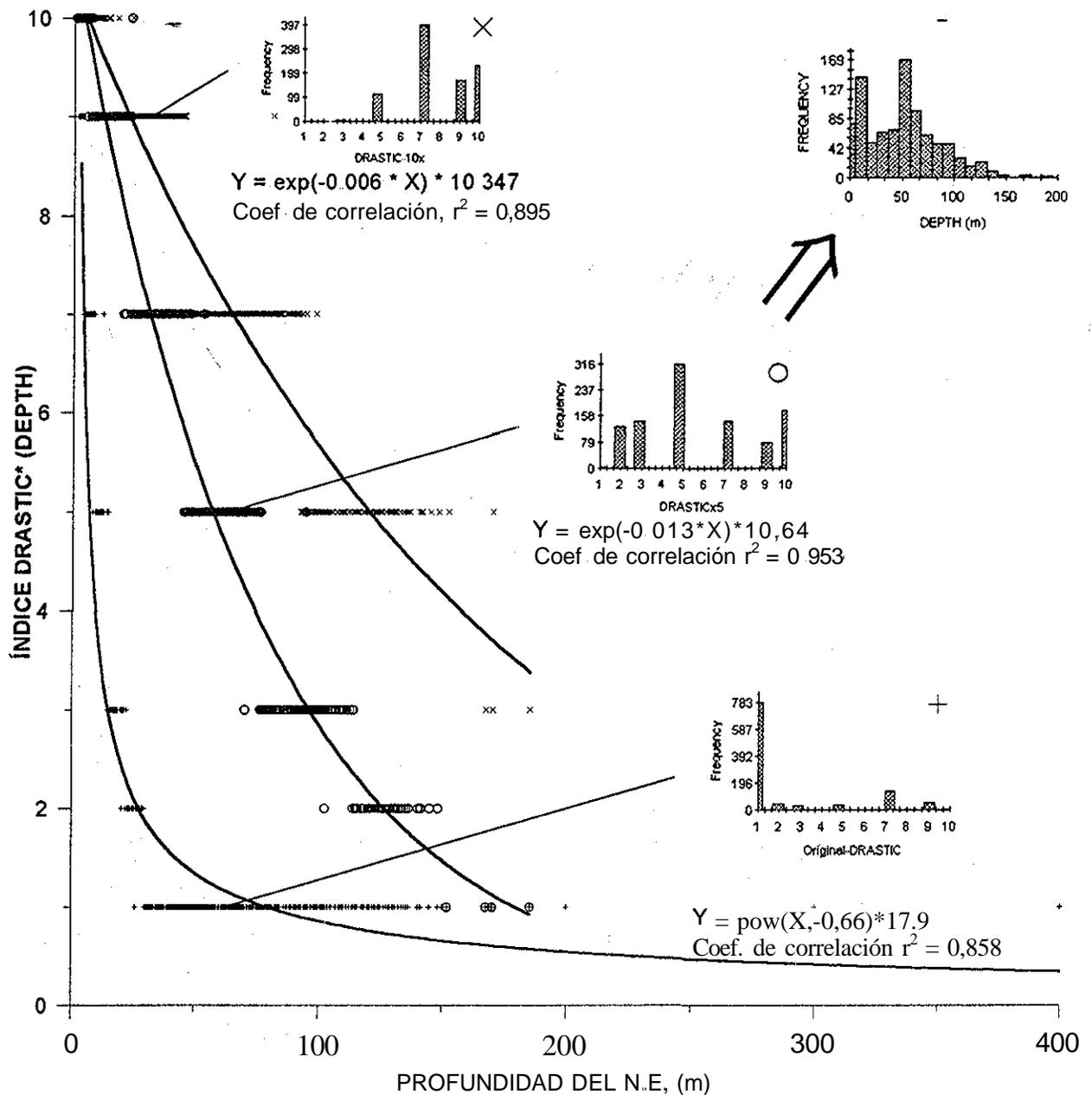


Figura 5.5- Correlación de profundidad del nivel estático con su respectivo índice parcial

- 1. Considerando la escala de puntuación original La mayor distribución de frecuencias para esta escala se concentra en índices de 1.
- v. Considerando una escala 10 veces la original se tiene una mejor distribución y se alcanzan puntuaciones de 5, 7, 9 y 10.
- o. Para una escala 5 veces la escala original se obtienen mejores resultados en la distribución de frecuencias de índices parciales, La distribución de este ajuste tiene un valor similar a la distribución bimodal de profundidades del nivel estático

b) Variación Espacial de la Recarga Neta

Las condiciones climáticas afectan a la región tienen poca variabilidad y éstas son graduales y están relacionadas al relieve topográfico de la región (Fig. 5.6).

Los valores más bajos de recarga neta se encuentran en el orden de 100 a 120 mm y se registran en la parte central del valle, hacia la periferia se presentan valores de hasta 260 mm,

En términos de índice DRASTIC*, la parte central del valle presenta valores de 3 a 4 y de 6 a 8 en las proximidades del mismo, lo cual indica que para éste parámetro la mayor vulnerabilidad se da en los altos topográficos (Fig. 5.7).

Las variaciones de recarga neta son graduales, no presentan fuertes irregularidades y un comportamiento muy similar a la distribución de la precipitación,

Por el método de balance de cloruros se ha estimado que hasta un 10% de la precipitación se infiltra en la zona sur del valle y hasta un 30% en La Zona de la Muralla, para las áreas cercanas al Río Turbio, el método no se puede aplicar cuando hay fuentes externas de cloruros como en el caso de la infiltración de aguas residuales con altos contenidos de este ion (CEASG, 1999; SAPAL, 2001),

c) Correlación de la Recarga Neta con su índice parcial

Para la recarga neta se analizaron registros de 6 estaciones con datos de 1965 a 1978 (CEASG, 1995), la recarga neta anual más frecuente es de 100 mm y la distribución es asimétrica, los correspondientes índices DRASTIC* de estos valores de recarga tienen una distribución normal; sólo en dos estaciones (Jalpa y Cueiámaro) la distribución es asimétrica, el índice más frecuente corresponde a valores de 6.

La función de transformación utilizada para este parámetro se obtuvo aplicando técnicas de regresión no lineal de tipo polinomial a los datos de puntuación y recarga neta (Tabla 3) del método DRASTIC (Aller et al., 1985)

La correlación de parámetros se ajusta a una función polinomial (Fig. 5.8), La función de transformación T_r obtenida para pasar de valores de recarga neta a valores de índice DRASTIC* para este parámetro es de la siguiente forma (Fig. 5.1b).

$$T_m = a_0 + a_1 * rn - a_2 * rn^2 \quad (5.5)$$

Donde \bar{UQ} , a_j y $\bar{u}2$ son constantes y rn es la recarga neta ($a_0 = 0.4$, $a_1 = 0.04$ y $\bar{U}2 = 5.2 \times 10^{-5}$).

Para comparar los resultados derivados a partir de la tabla 3 y los obtenidos por medio de la función se calculó el factor de correlación entre los índices de la tabla 3 de DRASTIC original y la función, éste fue de 0,79 (Anexo A.2).

5.3 UTOLÓGIA DEL ACUÍFERO

El análisis de las variaciones verticales y laterales en la litología del acuífero y de la zona vadosa, fue apoyado con cortes litológicos de los pozos ubicados en el valle (Fig. 2,1),

Por el origen de depósito de los sedimentos, la región es considerada muy heterogénea. El valle es de origen tectónico (CEASG, 1999), presenta en sus bordes importantes variaciones de materiales, producidas por interdigitaciones de abanicos aluviales y ambientes fluviales (Figs. 2.1 y 4.3).

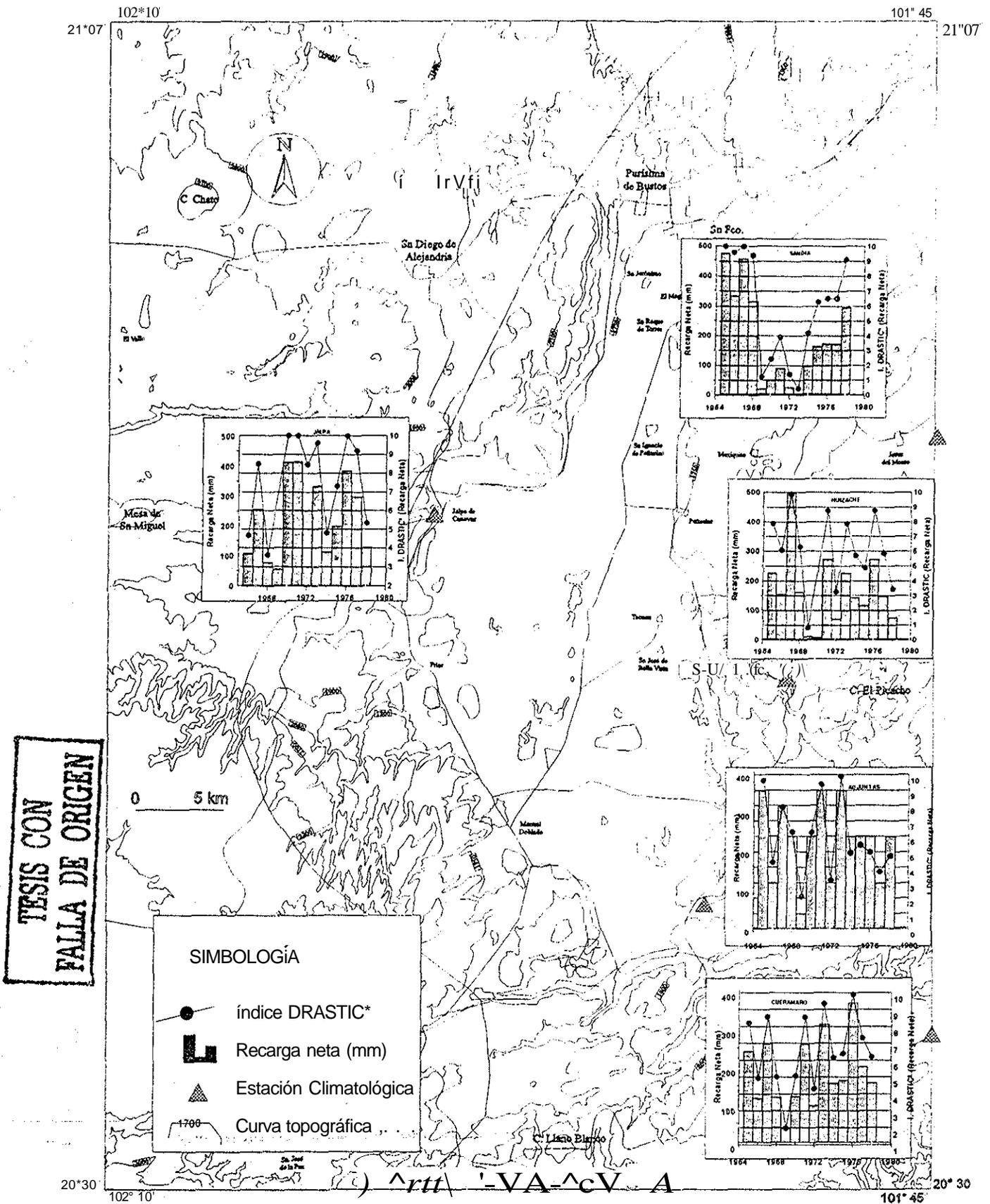


Figura 5 6 - Variación temporal del índice DRASTIC* con la recarga neta en el Valle del Río Turbio Se analizaron 5 estaciones climatológicas, los índices parciales pueden variar del mínimo de 1 a un máximo de 10 (Plano base CEASG, 1995)

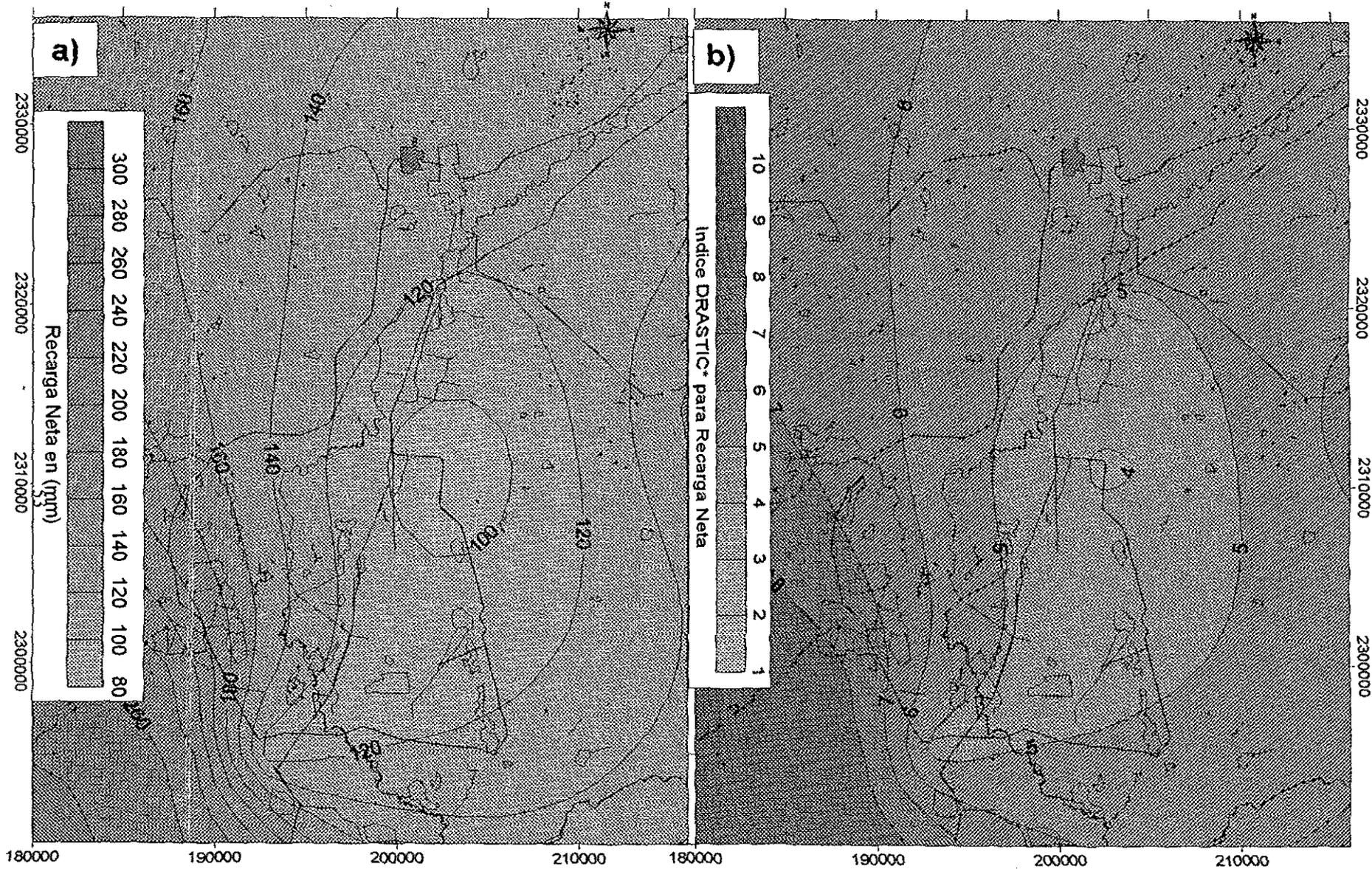
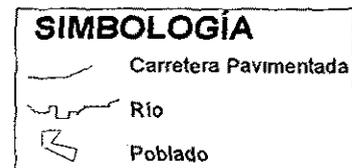


Figura 5.7.- Comparación de la recarga neta y la transformación del mismo parámetro, en índices parciales en el Valle del Río Turbio. a) Distribución del recarga neta en mm, b) Distribución de índice DRASTIC* para recarga neta. Se tiene una buena correlación espacial entre la recarga neta y su índice parcial. La mayor recarga neta es en las áreas montañosas y la menor así como el índices parciales se registra en el Valle del Río Turbio.



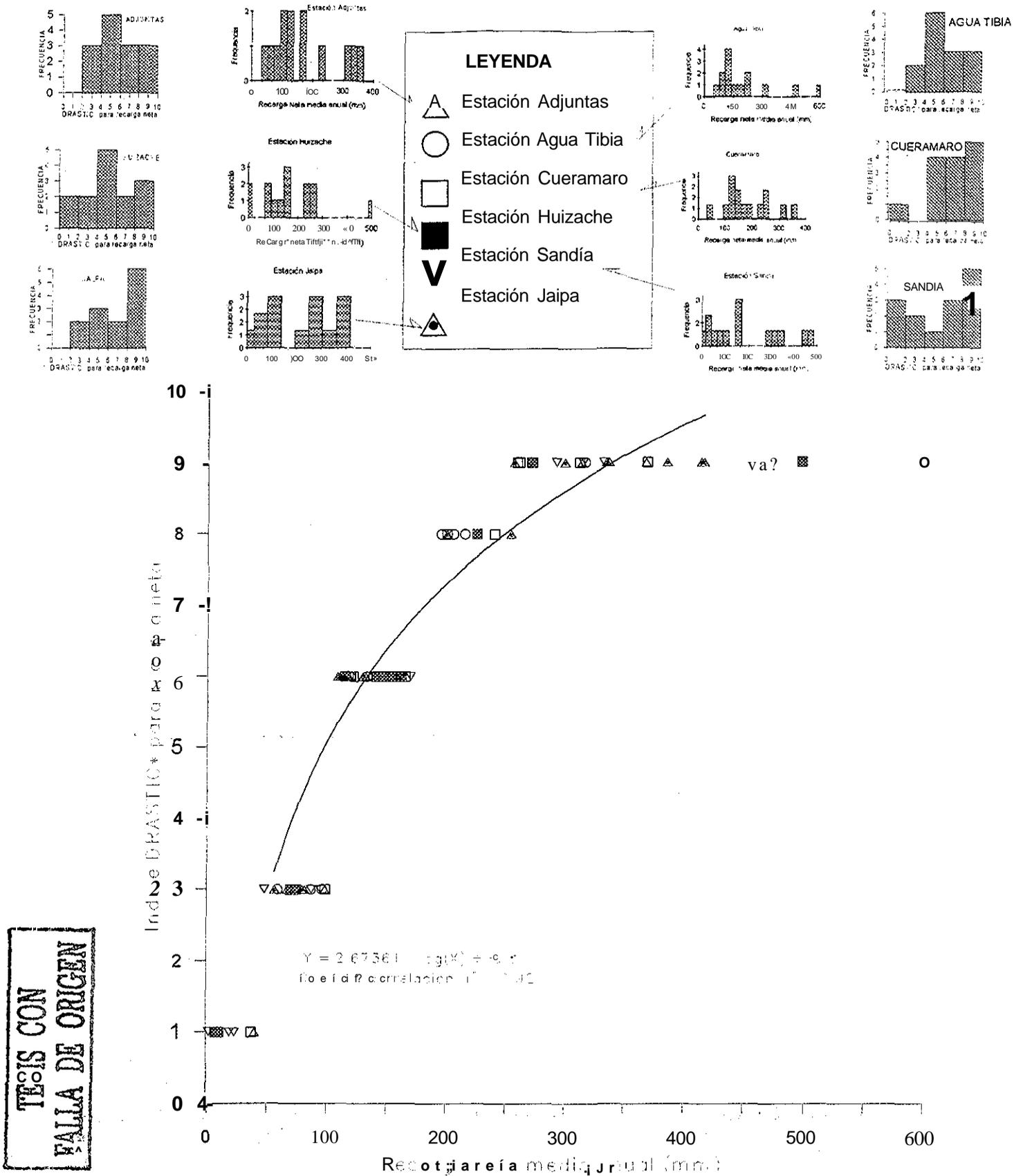


Figura 5.8 - Correlaciones y frecuencias entre recarga neta y su correspondiente índice DRASTIC*, en estaciones climatológicas en el Valle del Río Turbio.

Cuando se tiene un medio estratificado cada parámetro es dividido en intervalos, los cuales son traducidos a valores que van del 1 al 10; sin embargo, en el método original, parámetros como tipo de acuífero e impacto a la zona vadosa, la selección de este valor no siempre resulta fácil, debido a la heterogeneidad espacial de los materiales en algunas regiones. Cuando esto sucede es necesario calcular¹ una media ponderada que considere todos los materiales mediante la siguiente expresión (Leonard, 1962; Civita y De Maio, 1997):

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n b_i r_i}{\sum_{i=1}^n b_i} \quad (5.6)$$

en donde b_i representa el espesor de cada capa y r_i es el valor asignado de acuerdo al tipo de material. N representa la media ponderada del sitio. Con esto se tiene un mayor grado de certidumbre que en el método original, en la asignación de puntuación en este parámetro. Esta tiene una buena aplicación cuando se tiene información del subsuelo (cortes litológicos y métodos geofísicos).

En el caso del parámetro acuífero, se llega a presentar una mayor variabilidad lateral, debido a las características de permeabilidad de los diferentes materiales que rellenaron las fosas tectónicas. Los valores altos (9 y 10) de índice DRASTIC* para tipo de acuífero se obtuvieron para áreas con basaltos fracturados ubicados al poniente del valle, esto indica su alta vulnerabilidad. Valores de 4 y 5 se definieron para materiales arcillosos en la parte central del valle y hacia el oriente del mismo. La región sur del valle constituido principalmente por ignimbritas presenta valores entre 5 y 6 (Figs. 4.3 y 5.9)

5.4 TIPOS DE SUELOS

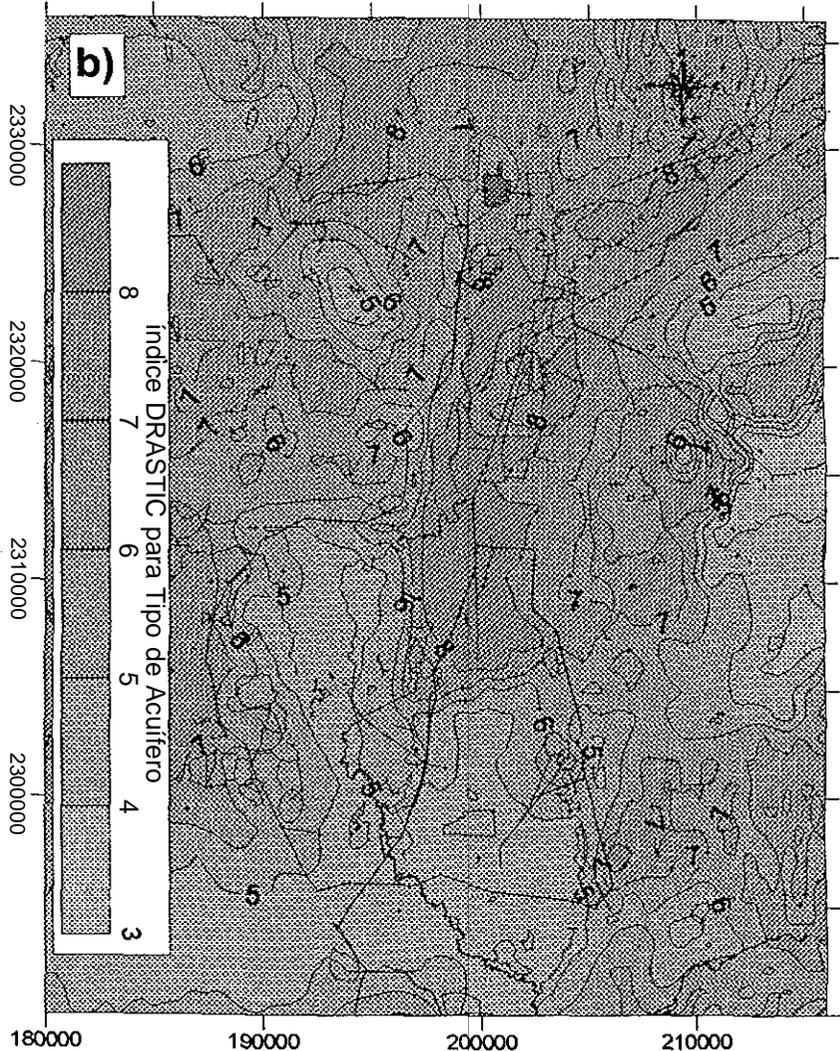
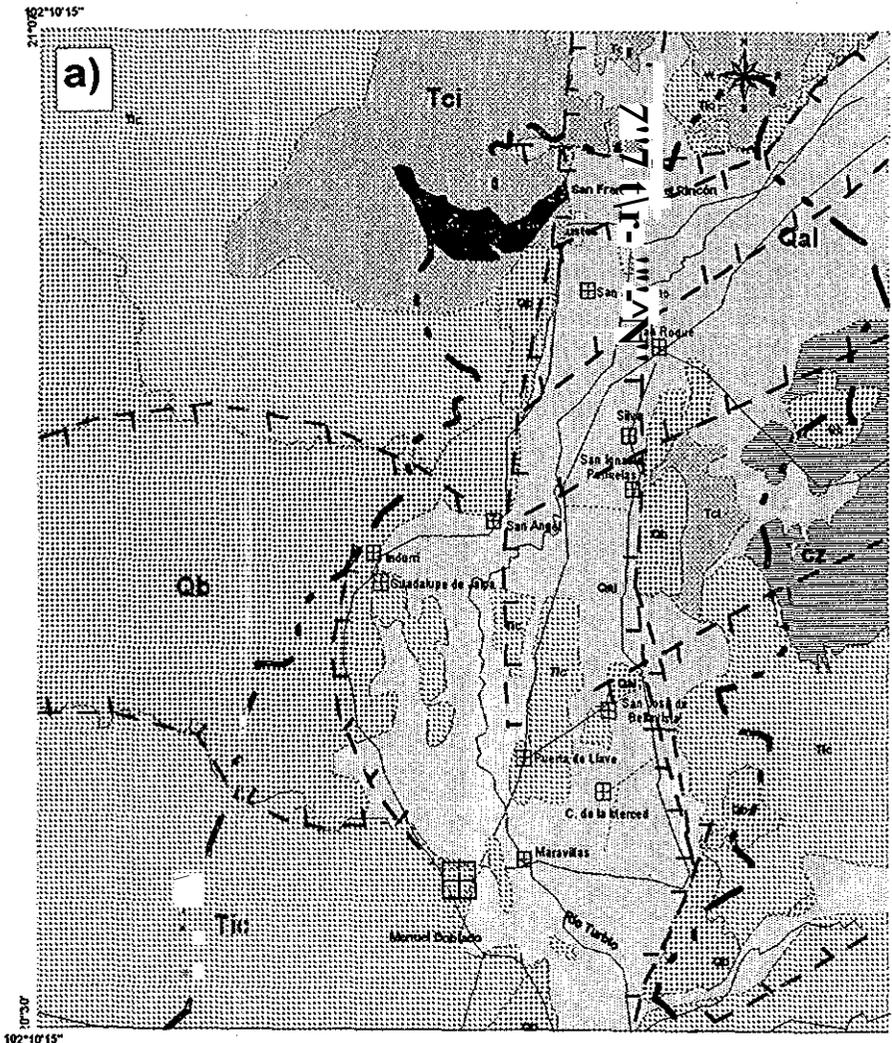
Basados en el análisis de las cartas edafológicas del INEGI escala 1:50,000 (F14-C41 y F14-C51), así como en verificaciones de campo, se constató que existe poca variación en los índices del suelo, aunque en las cercanías de las laderas se tienen fuertes variaciones por los cambios en la textura del material y por la ausencia de suelo (Fig. 5.10). Los índices DRASTIC* más bajos se encuentran en las proximidades del Río Turbio, en donde se asignaron valores de 3 y 4 y los valores más altos de 9 y 10 se registran en las sierras circundantes del valle, en donde se tiene ausencia de suelo.

15 GRADIENTE TOPOGRÁFICO

La pendiente del terreno se define como el desnivel dividido entre la distancia dada por cien, a fin de poder expresarla en porcentaje. Para este parámetro se utilizaron las cartas topográficas del INEGI 1:50,000 (F14-C41 y F14-C51),

En la mayor parte del valle se tiene un gradiente topográfico tan pequeño, que no produce variaciones en el índice DRASTIC* para topografía en donde se tienen intervalos de 10. Las variaciones importantes se presentan en las laderas de las sierras que bordean al valle, en donde se tienen fuertes gradientes topográficos, los cambios en índice DRASTIC* van de 5 a en distancias relativamente cortas (Fig. 5.11)

El gradiente topográfico más frecuente corresponde a valores entre 0 y 2 %, la distribución del gradiente topográfico es de tipo lognormal, el índice DRASTIC* más frecuente para



- Alluvión
- Terciario clástico indiferenciado
- Terciario Ignimbrita Cuatralba
- Basaltos
- Terciario lacustre
- Falla Normal

BOLOO

- Río Turbio
- Carretera
- Límite de propiedad

Mapa de distribución del Índice DRASTIC para tipo de acuífero en el valle del Río Turbio. Se observan los valores más altos en las unidades de ignimbrita y basaltos, y los más bajos en las unidades de aluvión y terciario lacustre.

Mapa de distribución del Índice DRASTIC para tipo de acuífero en el valle del Río Turbio. Se observan los valores más altos en las unidades de ignimbrita y basaltos, y los más bajos en las unidades de aluvión y terciario lacustre.

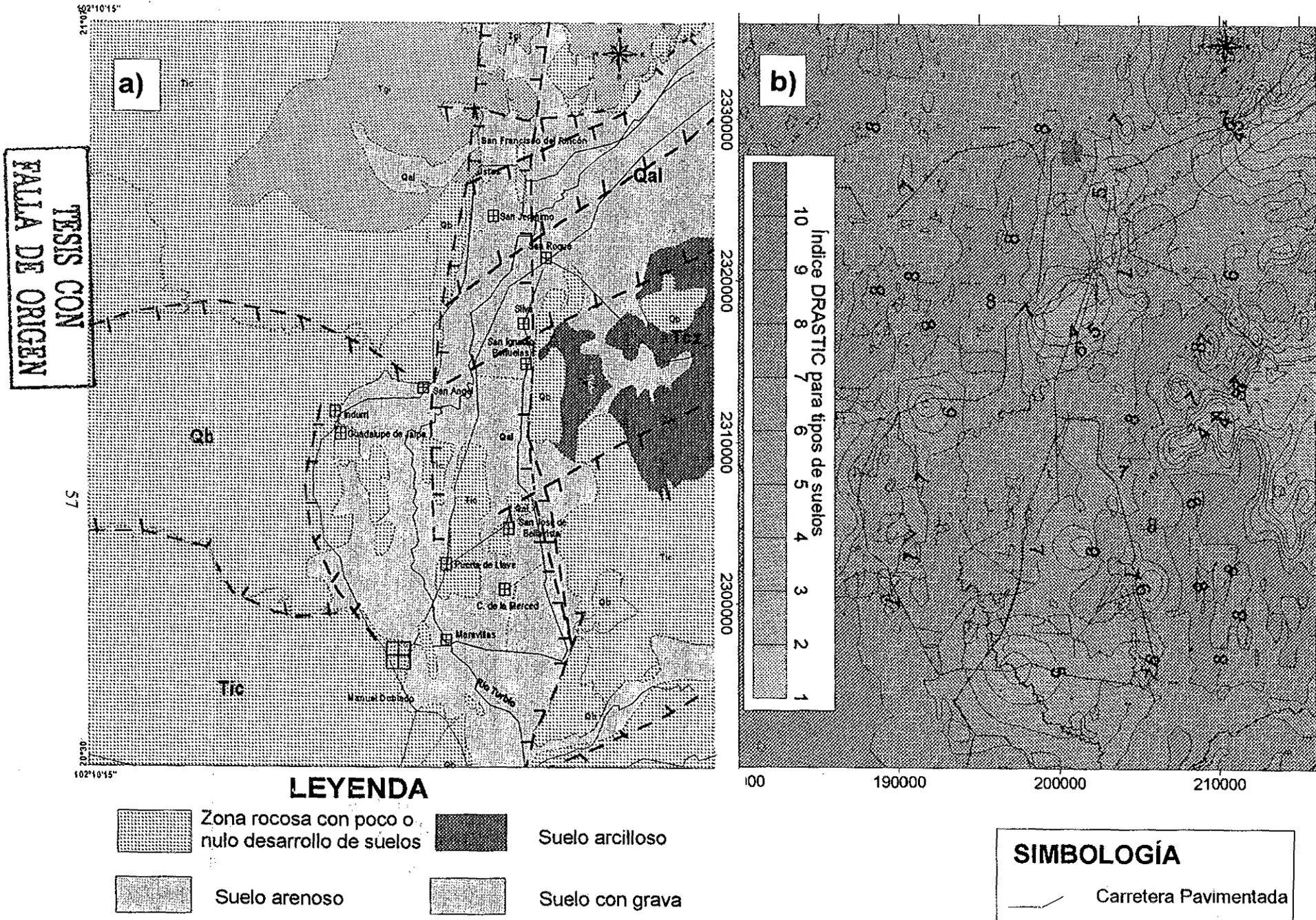


Figura 5.10.- Comparación entre a) Distribución de suelos y b) Distribución del índice DRASTIC para tipo de suelo en el Valle del Río Turbio. Se tiene buena correlación entre ambos. Los suelos arcillosos se distribuyen en el valle, éstos tienen los índices parciales más bajos. La ausencia de suelos en los bordes del valle obtienen los índices más altos.

57

gradiente topográfico corresponde a 10 y su distribución es asimétrica, la correlación de parámetros se efectuó ajustándose a una función logarítmica (Fig. 5.12),

La función de transformación utilizada para este parámetro se obtuvo aplicando técnicas de regresión no lineal de tipo polinomial a los datos de puntuación y gradiente topográfico (Tabla 6) del método DRASTIC (Alleí et al, 1985),

La función de transformación T_i obtenida para pasar de valores de gradiente topográfico a valores de índice DRASTIC* para este parámetro es de la siguiente forma (Fig. 5.1e).

$$T_i = a_0 + a_1 \cdot a_2^t \quad (5.7)$$

Donde a_0 , a_1 y a_2 son constantes y t es el gradiente topográfico ($a_0 = 10.4$, $a_1 = 0.6$ y $a_2 = 8.5 \times 10^{-3}$).

Para comparar los resultados derivados a partir de la tabla 3 y los obtenidos por medio de la función se calculó el factor de correlación entre los índices de la tabla 6 de DRASTIC original y la función, éste fue de 0.79 (Anexo A.3)

5.6 IMPACTO A LA ZONA VADOSA

En la zona vadosa, los cortes litológicos de pozos en su gran mayoría, no muestran gran variabilidad de materiales; sin embargo, a mayores profundidades la heterogeneidad de materiales está presente; como consecuencia los índices DRASTIC para la zona vadosa no refleja mucha variación. Los valores más bajos se ubican al sur de San Francisco del Rincón y en la parte sur del valle, en donde se alcanzaron horizontes arcillosos. En general el valle tiene poca variación del índice DRASTIC para este parámetro; sin embargo, en las periferias de los valles presenta una mayor variación debido a los cambios abruptos de materiales litológicos, originados por las estructuras tectónicas (Figs. 2.1, 4.3 y 5.13),

5.7 CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA

Los valores de conductividad hidráulica fueron obtenidos de la reinterpretación de pruebas de bombeo, utilizando los métodos de Thies (1935), Neumann (1975) y Hanthush (1956) y de la realización de pruebas de permeabilidad "in situ", en donde se utilizó un permeámetro de Guelp con carga constante. En el medio granular la conductividad hidráulica varía de 3.89×10^{-5} m/s a 1×10^{-9} y en medios fracturados de 191×10^{-5} a 3.7×10^{-5} , como se ve en la tabla 16 (Fig. 5.14)

El valor mínimo obtenido fue para arcillas de 2×10^{-9} m/s, el valor más alto del medio granular en pruebas de bombeo fue para gravas (389×10^{-5} m/s), En pruebas de permeabilidad se alcanzaron valores más altos en basaltos fracturados (1×10^{-3} m/s), como se presenta en la tabla 13 (Fig. 5.15).

En el valle no se detectaron variaciones de conductividad hidráulica importantes y como consecuencia, la distribución de índice DRASTIC* para este parámetro es muy homogénea, teniendo valores de 1, En el medio fracturado distribuido en las periferias del valle se le asignó valores de hasta 10;

Tanto la conductividad hidráulica como su índice DRASTIC* tienen una distribución lognormal, siendo los valores de 10^{-6} m/s y 1, los valores más frecuentes respectivamente, la correlación entre ambos parámetros se ajustó a una función exponencial (Fig. 5.15).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

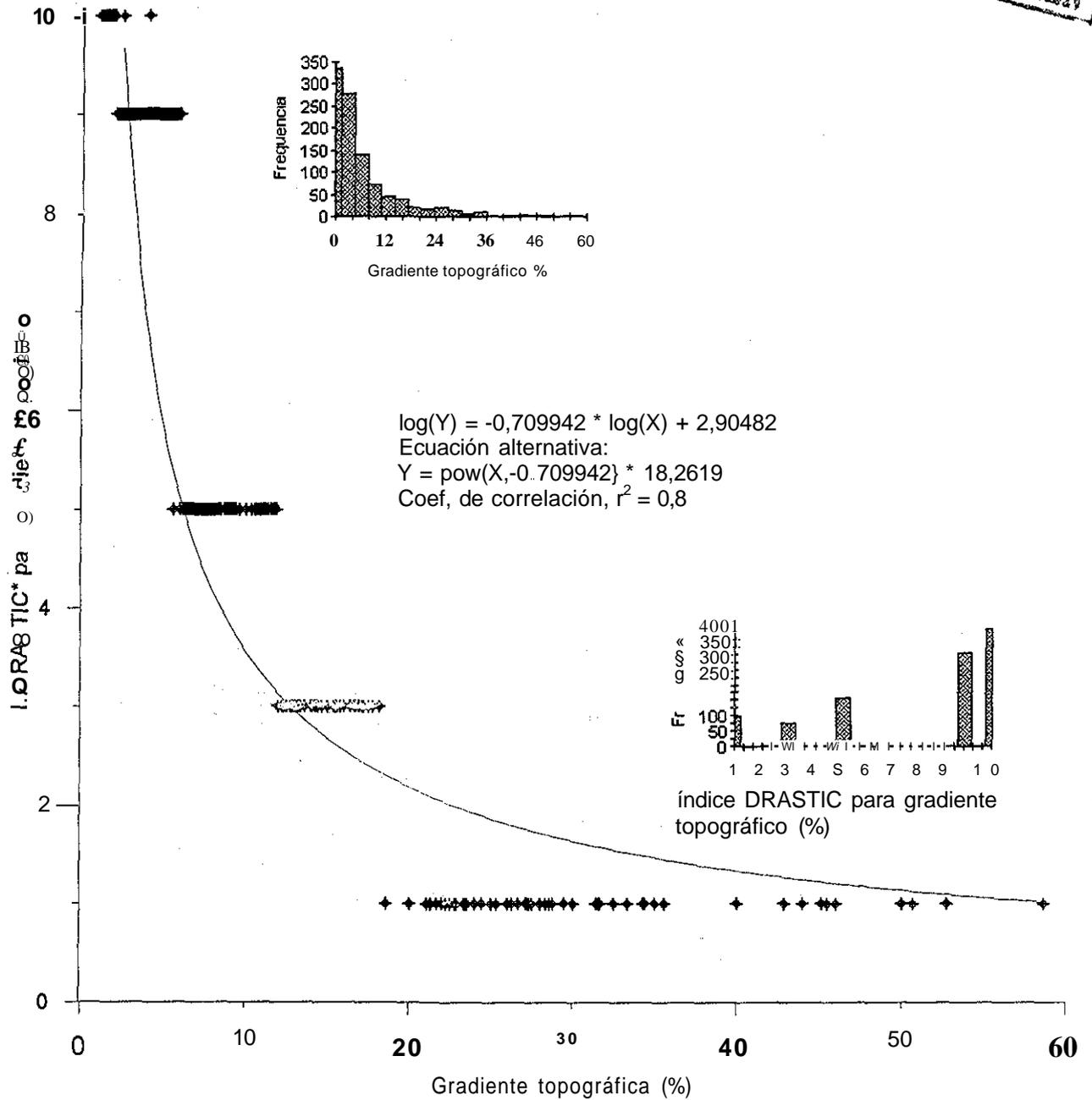


Figura 5.12- Correlaciones y frecuencias entre gradiente topográfico y su corespondiente índice DRASTIC*, en el Valle del Río Turbio.

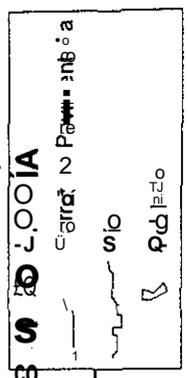
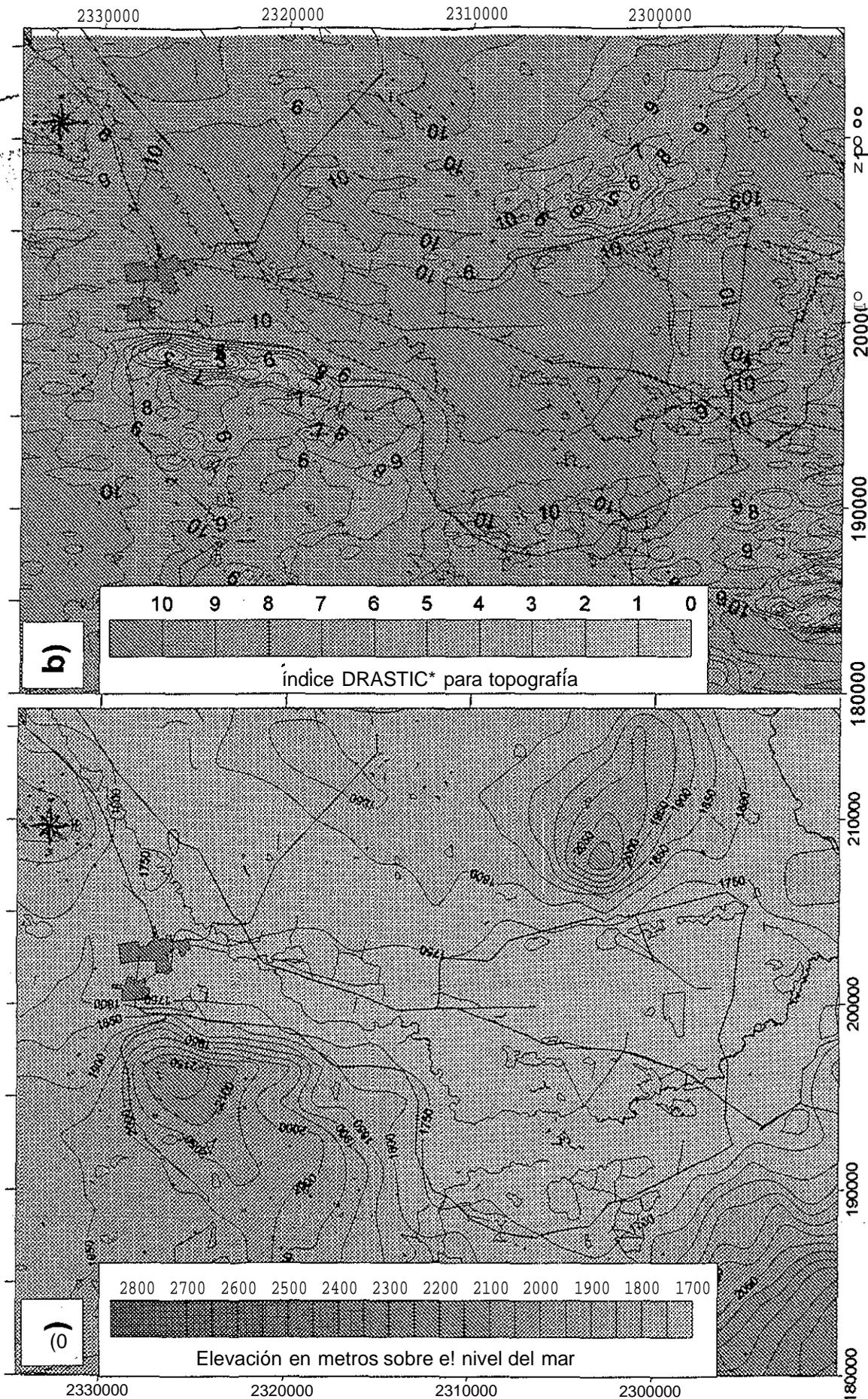


Figura 5.11. (a) Topográfico y (b) Índice DRASTIC* para topografía. Se muestra la correlación entre los valores de elevación y el índice DRASTIC* para topografía. Los valores de elevación se muestran en metros sobre el nivel del mar.

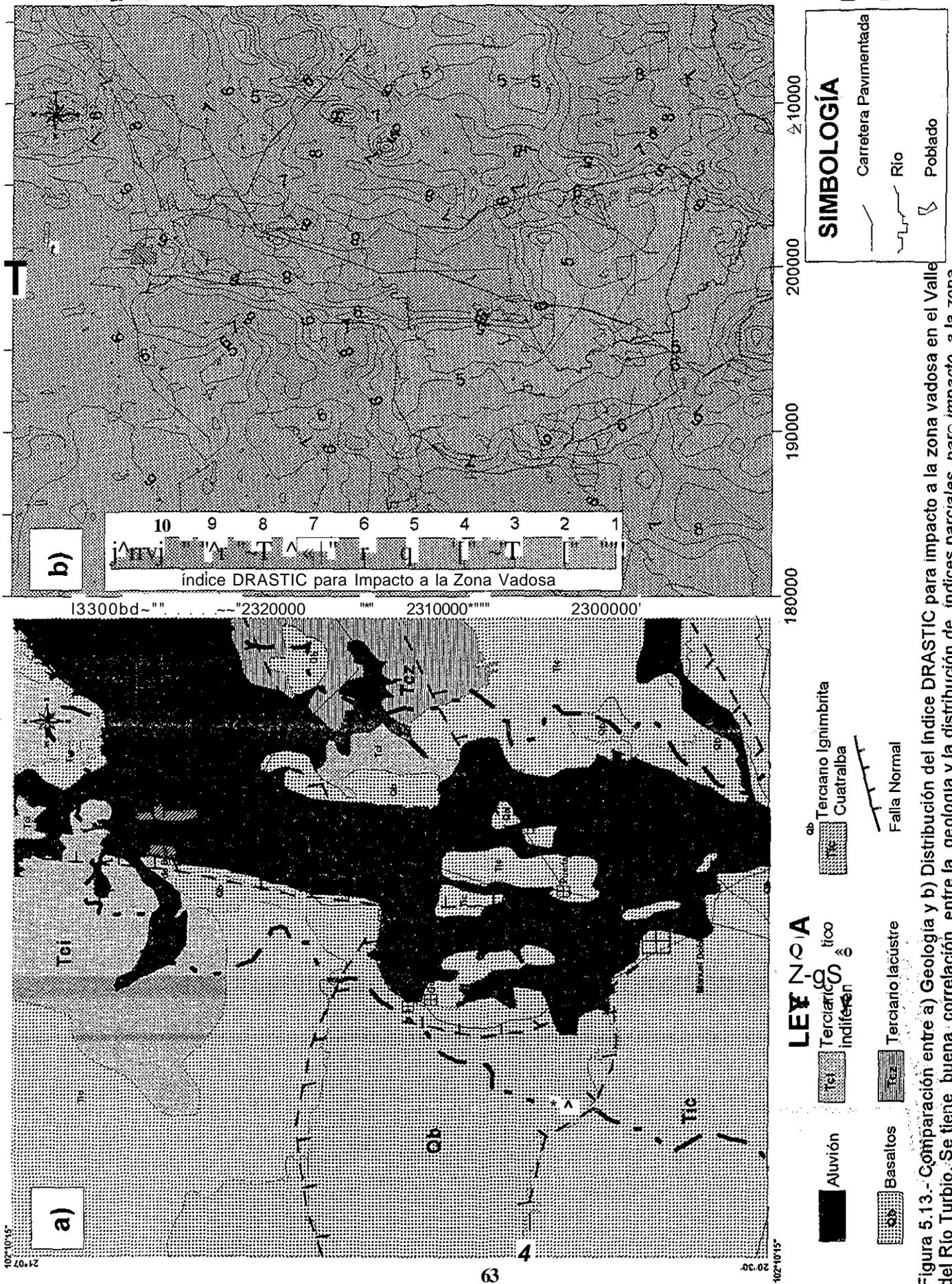
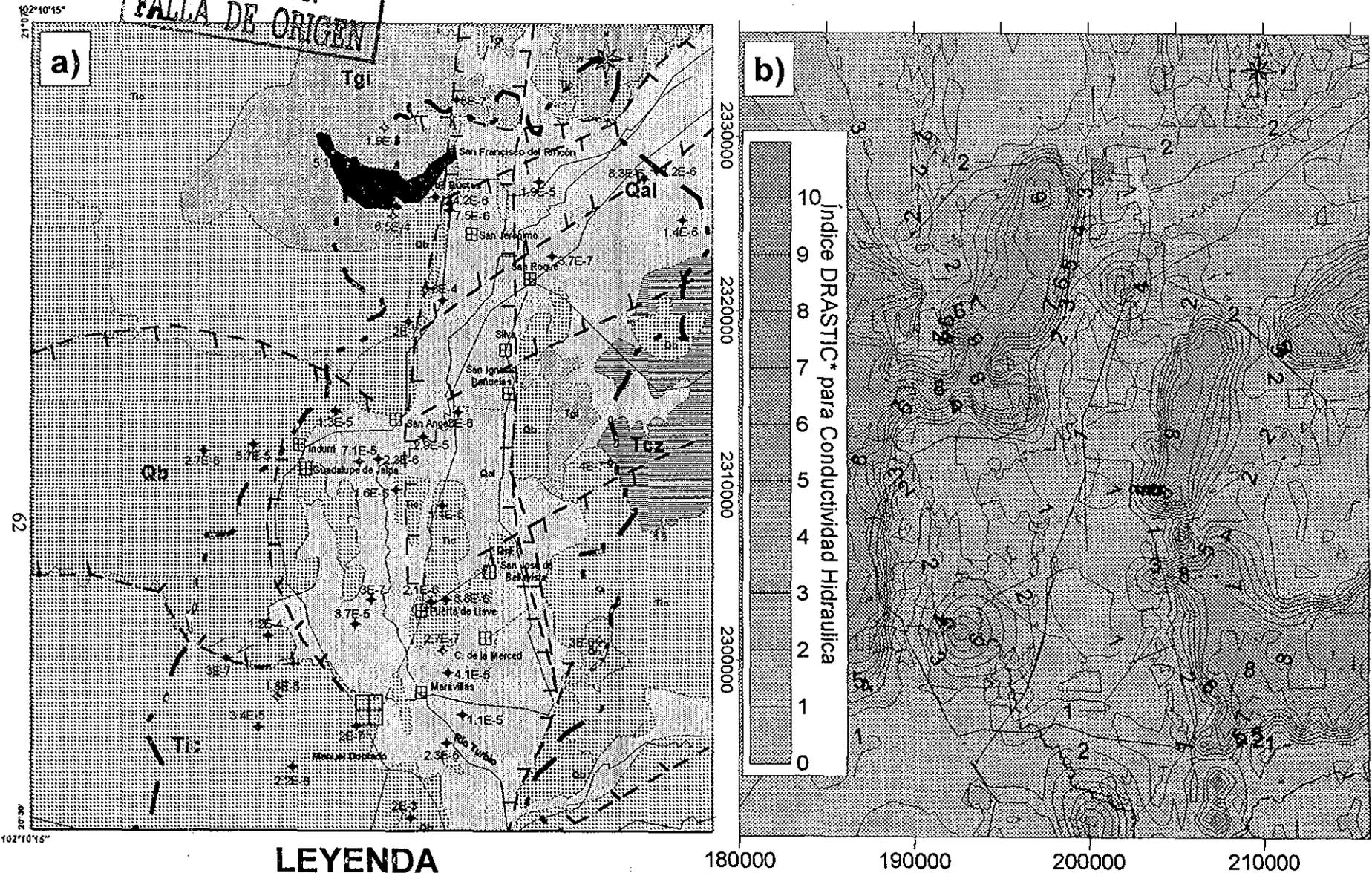


Figura 5.13.- Comparación entre a) Geología y b) Distribución del índice DRASTIC para impacto a la zona vadosa en el Valle del Rio Turbio. Se tiene buena correlación entre la geología y la distribución de índices parciales para impacto a la zona vadosa. Los valores más bajos se en zonas con presencia de material arcilloso.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



LEYENDA

- Qal Aluvión
- Tgl Terciario granular indiferenciado
- Tic Terciario Ignimbrita Cuatralba
- Qb Basaltos
- Tcz Terciario lacustre
- Falla Normal
- $1.9E-5$ Conductividad Hidráulica (m/s)
- POZO

SIMBOLOGÍA

- Carretera Pavimentada
- Río
- Poblado

Figura 5.14.- Comparación entre a) Geología y b) Distribución del Índice DRASTIC* para conductividad hidráulica en el Valle del Río Turbio. Los índices parciales más altos corresponden a basaltos fracturados en la periferia del valle y a basaltos corresponden a tobas de la Ignimbrita Cuatralba y Terciario granular indiferenciado.

29

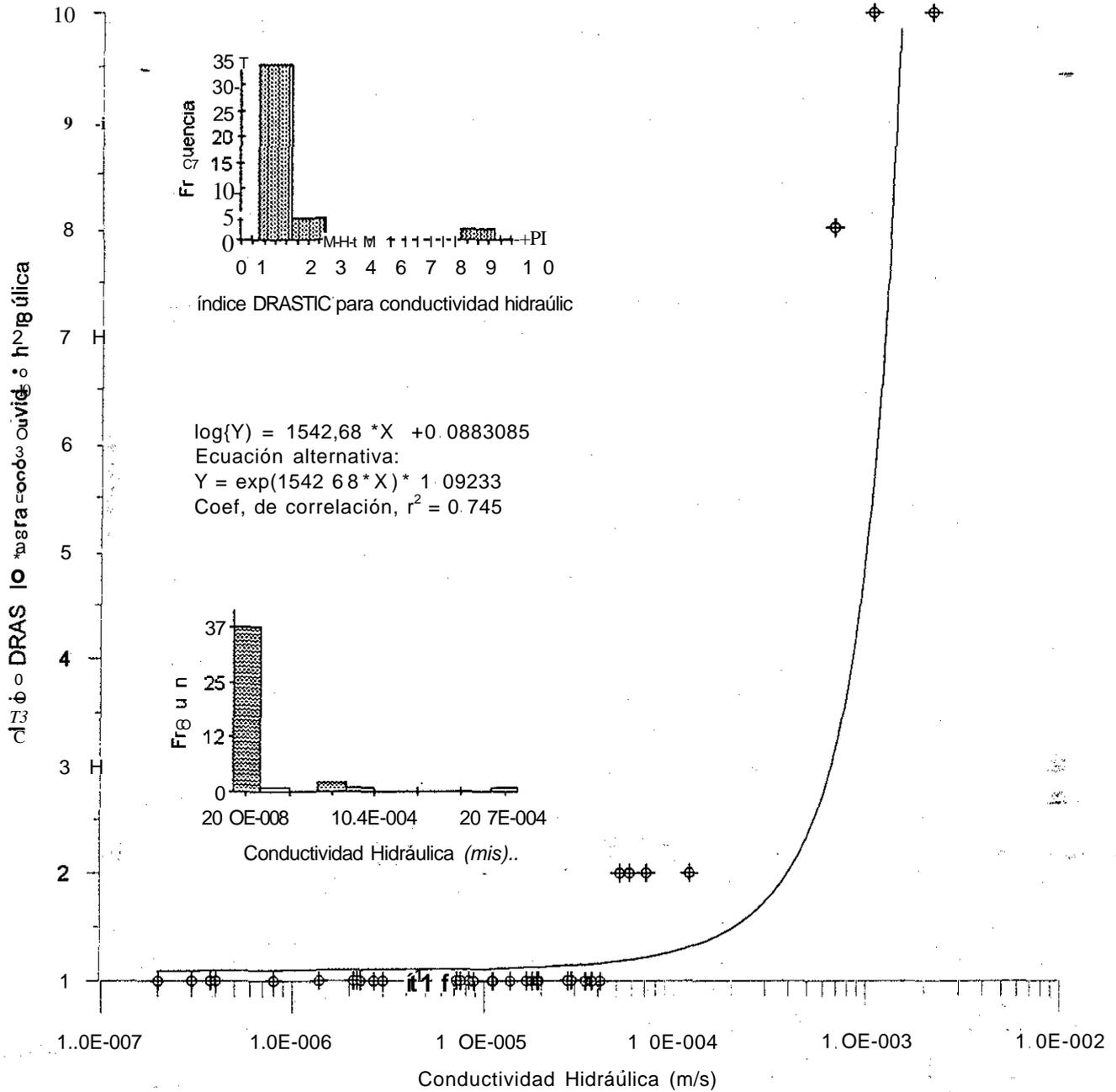


Figura 5.15.- Correlaciones y frecuencias entre conductividad hidráulica y su correspondiente índice DRASTIC*, en el Valle del Río Turbio.

Tabla 13- Valores de conductividad hidráulica obtenidos de pruebas de bombeo utilizados para los diferentes materiales geológicos en el área, (Ramos y Rodríguez, 1998),

Tipo de material	Conductividad hidráulica (m/s)
Gravas*	$14 \times 10^{-3} - 3.89 \times 10^{-5}$
Gravas/arenas/arcillas**	$3.7 \times 10^*$
Arenas**	$3.63 \times 10^*$
Arenas/arcillas**	6.1×10^6
Arcillas/arenas*	$3 \times 10^{''}$
Arenas/Hmos/ar cillas*	$3 \times 10^{''}$
Arcillas*	1×10^y
Tobas y Basaltos fracturados*	$1.3 \times 10^{13} - 1.91 \times 10^{15}$
Ignimbritas fracturadas*	$6.5 \times 10^{1j} - 1.91 \times 10^*$
Tobas*	$3.1 - 3.7 \times 10^{''}$

(*Valores obtenidos de pruebas de permeabilidad **valores obtenidos de pruebas de bombeo)

La función de transformación utilizada para este parámetro se obtuvo aplicando técnicas de regresión no lineal de tipo polinomial a los datos de puntuación y conductividad hidráulica (Tabla 8) del método DRASTIC (Aller et al, 1985).

La función de transformación T_K obtenida para pasar de valores de conductividad hidráulica a valores de índice DRASTIC* para este parámetro es de la siguiente forma (Fig 5,Id),

$$T_K = a_0 + a_1 * K - a_2 * K^2 \quad (5.8)$$

Donde a_0 , a_1 y a_2 son constantes y K es la conductividad hidráulica ($a_0 = 0.86$, $a_1 = 15719.86$ y $a_2 = 7455788$).

Para comparar¹ los resultados derivados a partir de la tabla 3 y los obtenidos por medio de la función se calculó el factor de correlación entre los índices de la tabla 8 de DRASTIC original y la función, éste fue de 0,999 (Anexo A 4).

6 VALIDACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EL VALLE DEL RÍO TURBIO

Para la validación de la vulnerabilidad se realizó inicialmente un análisis cualitativo de comparación de gráficas para cada parámetro, el cual consistió en analizar cada gráfica del parámetro sin la penalización del DRASTIC y se comparó con otro gráfico con penalización DRASTIC*, en parámetros como: profundidad, recarga neta, gradiente topográfico y conductividad hidráulica se obtuvieron coeficientes de correlación. En el caso de que los resultados de alguno de los parámetros no fuera representativo y no mostrara variaciones importantes se hicieron algunas modificaciones en los pesos de los parámetros para ajustados a un modelo más representativo.

6.1 VULNERABILIDAD CON DRASTIC*

El índice DRASTIC* se obtuvo de la suma de todos los parámetros pesados y multiplicados por el factor de peso de cada parámetro para índice DRASTIC* (Fig. 6,1)

En la zona del valle los valores más altos se ubican en los alrededores de San Francisco del Rincón y el Poblado de Morelos, San Bernardo y Manuel Doblado, los valores más bajos se ubican en los alrededores de los poblados de Indurri y San Pablo, lo anterior concuerda con el modelo geohidrológico estructural, en donde se tiene la presencia de materiales más finos.

Los valores de vulnerabilidad DRASTIC* más altos (150 a 170) en el valle se ubican en las proximidades del Río Turbio, Esto es congruente con el modelo geohidrológico, debido a que en el valle se ubican dos importantes fosas tectónicas rellenas con material granular de alta permeabilidad. Otras zonas con valores altos de vulnerabilidad se asocian con la distribución del basaltos e ignimbritas en la porción sur del área. Valores bajos de vulnerabilidad (100 a 120) se ubican hacia la parte nororiente del Río Turbio, en donde se reportan en los cortes litológicos, materiales granulares más arcillosos con menor permeabilidad. Las áreas que bordean el Valle del Río Turbio, registra valores de índice DRASTIC* altos debido a la alta permeabilidad de los basaltos fracturados en la zona vadosa.

6.2 VULNERABILIDAD CON AVI (AQUIFER VULNERABILITY INDEX)

Para la aplicación de este método, se dividió el espesor de cada capa, entre la conductividad hidráulica asociada para cada uno de los diferentes materiales que se encuentran sobre el nivel estático, para ello se utilizó la información de los cortes litológicos y se emplearon los valores de conductividad hidráulica de la tabla 16, obteniéndose un parámetro de resistividad hidráulica, Los valores más altos obtenidos por este método se ubican en los alrededores del poblado de Maravillas,, Los valores más bajos se ubican en los alrededores de San Francisco de Rincón, Morelos, Plan de Ayala y Manuel Doblado (Fig. 6,2), La zona con índices AVI menores a 1 es de muy alta vulnerabilidad (EAV, < 10 años) y se localiza en la parte norte (San Feo del Rincón, Cañada de Negros, Palenque), occidental del Valle (Guadalupe Jalpa, La Ladera) y partes altas de la zona de recarga que bordean al valle (Figs, 4.3 y 4.4) La zona con índices AVI de 1 a 2 de alta vulnerabilidad (AV, 10-100 años)

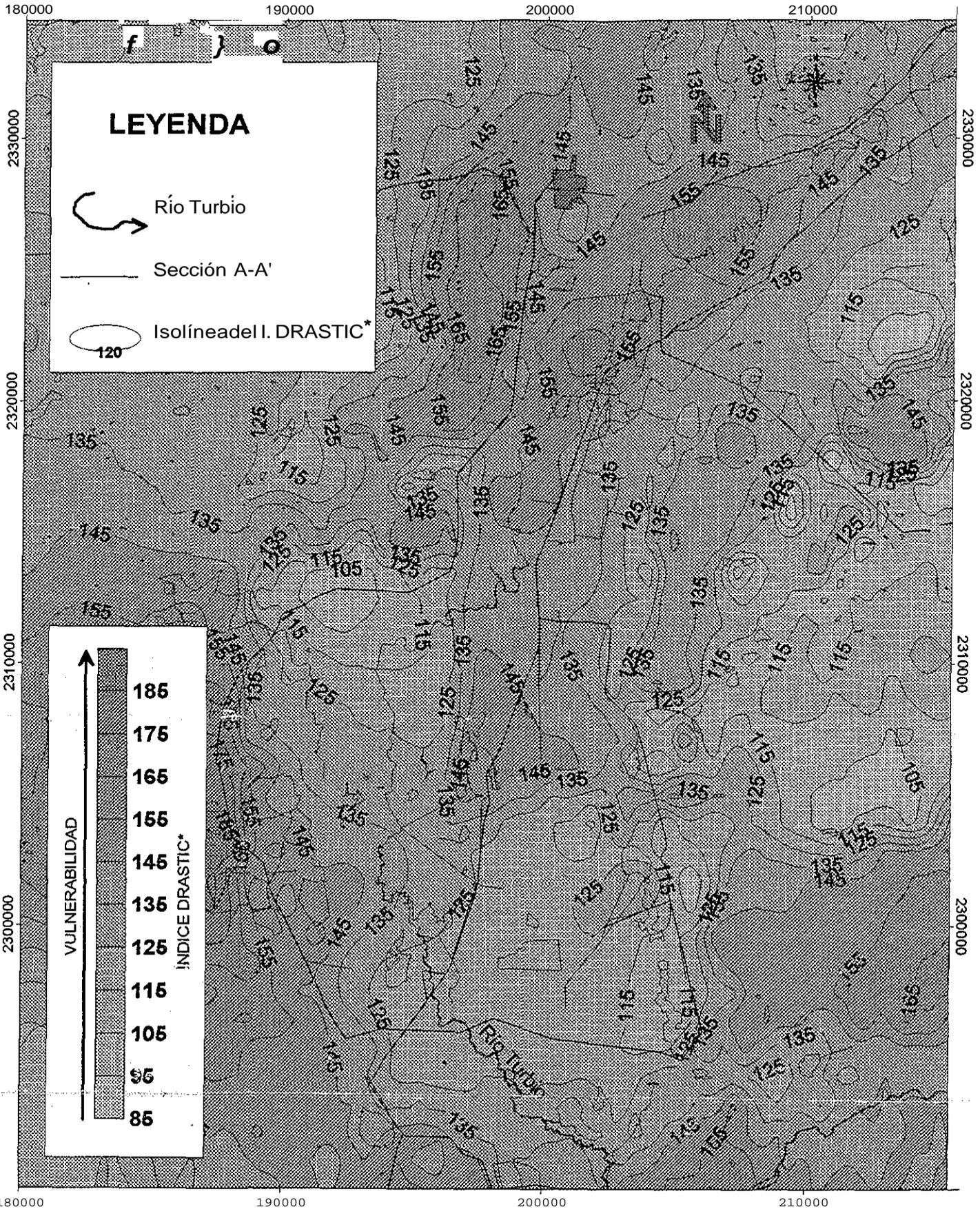


Figura 6.1.- Mapa de índice DRASTIC* del Valle Río Turbio, Los valores más altos se encuentran al sur del valle, los valores más bajos se registran al oriente y poniente del mismo.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

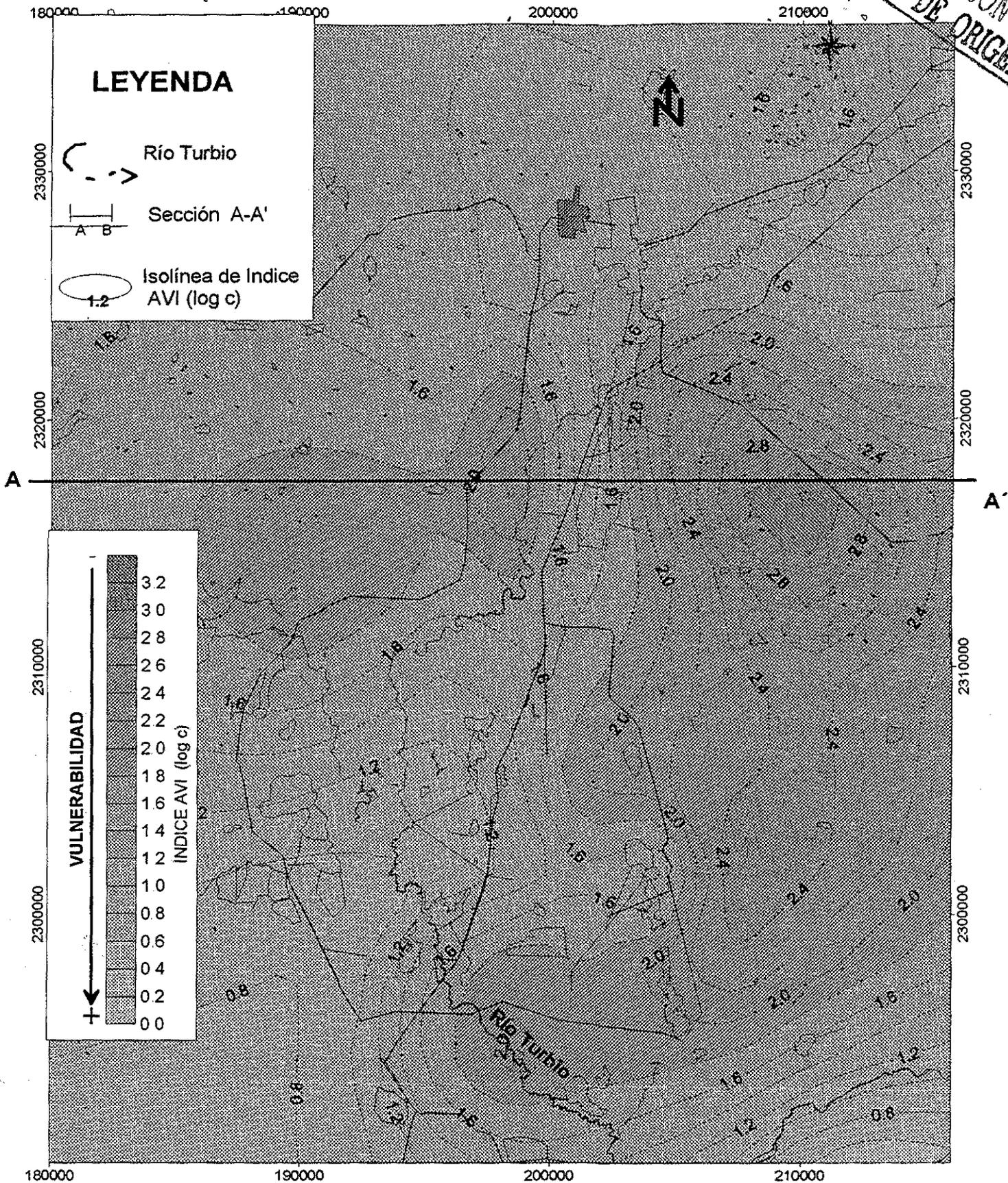


Figura 6.2.- Mapa de Índice de Vulnerabilidad de Acuíferos (AVI) en log c del Valle Río Turbio. Los valores de mayor vulnerabilidad se ubican en la parte central del valle, la menor vulnerabilidad se registran en las periferias del mismo

se localiza en una franja en la parte central del valle, cabe mencionar que la mayor trayectoria del Río Turbio se localiza en esta zona (Fig., 6,3). Los intervalos con índices AVI 2 a 3 son de mediana vulnerabilidad (MV, 100-1000 años) y ocupan la mayor parte central del valle (Fig, 6,3).

63 SENSIBILIDAD DE PARÁMETROS DEL MÉTODO DRASTIC*

El método DRASTIC requiere de una buena selección de puntuaciones en 7 parámetros; sin embargo, la subjetividad de algunos de ellos (tipo de acuífero, tipo de suelo e impacto a la zona vadosa), en algunos casos es inevitable; debido a los amplios intervalos en los que se puede clasificar un tipo de material, esta subjetividad afecta fuertemente al mapa de vulnerabilidad final,

Un análisis de sensibilidad nos da información importante sobre la influencia de valores de puntuación y pesos asignados a cada parámetro y nos ayuda a reducir la subjetividad del método.

El método de sensibilidad ha sido aplicado en otras técnicas de puntuación similar al DRASTIC (Lodwik *et al.* 1990; Gogu y Dessargues, 2000; Napolitano y Fabbri, 1996),

El análisis de sensibilidad se realizó en varias etapas, en la primera de ellas se evaluó la vulnerabilidad utilizando los siete parámetros, En la segunda etapa se calculó la vulnerabilidad parcial, es decir utilizando solo 6 de los 7 parámetros,

La sensibilidad de un mapa de vulnerabilidad parcial puede expresarse de acuerdo con (Lodwik *et al.* 1990):

$$S_{xi} = \left| \frac{V_i}{N} - \frac{V_{xi}}{n} \right| \quad (31)$$

Donde:

S_{xi} = es la sensibilidad (para la celda i) asociado con un mapa sin el parámetro xi

V_i = índice de vulnerabilidad utilizando en la celda i

V_{xi} = índice de vulnerabilidad sin considerar uno de los parámetros $X(D, R, A, S, T, I, C)$

N = es el número de parámetros considerados en DRASTIC

n = es el número de parámetros utilizados en mapas de vulnerabilidad parcial,

Se llevó a cabo un ajuste en los intervalos del DRASTIC debido a que el valor máximo del nivel estático considerado en la metodología original es de 30 m; sin embargo, en la zona entre San Francisco del Rincón y la ciudad de León, la profundidad del nivel del agua se encuentra por encima de ese valor y ya hay evidencias de contaminación de los pozos cercanos al Río Turbio (BSG-CNA-UACH-SAPAL, 1996) el cual actúa como una potencial fuente contaminante,,

Por otro lado, la presencia de materiales granulares y medios fracturados con valores de conductividad muy altos, nos permite justificar empíricamente el ajuste en los intervalos originales para la profundidad, Estadísticamente esto es posible, si tomamos en cuenta la distribución de frecuencias de los índices DRASTIC* para este parámetro, Basado en prueba y error se probaron varias escalas para profundidad, resultando la escala de 5, la que

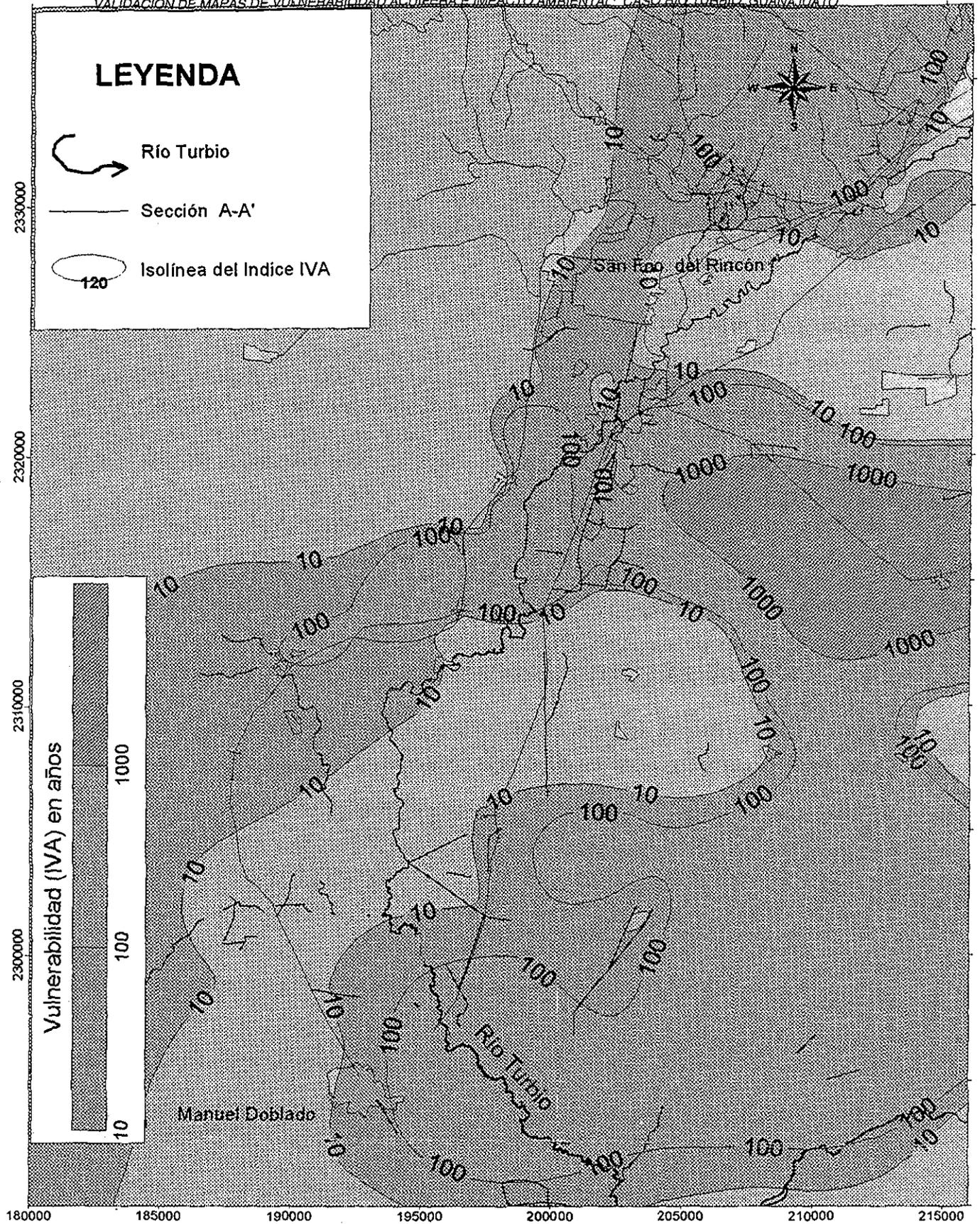


Figura 6.3 - Mapa del Índice de Vulnerabilidad de Acuíferos (AVI) en años en el Valle del Río Turbio. Valores mayores a 1000 años se ubican al oriente del valle en donde se encuentran paquetes arcillosos. Los valores menores a 10 años se asocian a rocas fracturadas y paquetes con conglomeráticos.

mejor representó al parámetro, ya que ésta mostró una mejor distribución de los índices, como se aprecia en la gráfica de I DRASTIC* vs profundidad del nivel estático (Fig. 5,4).

Las frecuencias se obtuvieron utilizando los intervalos originales (0 a 30 m), intervalos de 0 a 150 m (xango original x 5) e intervalos de 0 a 300 m (rango original x 10)

El rango original para profundidad del nivel estático (Aller et al, 1985), tienen una distribución asimétrica hacia la derecha con predominio principal de frecuencia de 1 (Fig. 54),.

La gráfica de frecuencias con reescalamiento de 10, tiene una distribución normal con predominio de índices de 7, 10, 9 y 5 (Fig, 54)..

Se seleccionó el rango reescalado a 5, debido a que presenta una mejor distribución de frecuencia de sus valores, esto tiene una razón lógica debido a que profundidades del nivel estático del área oscilan de 0 a 170 m y su distribución de frecuencias es similar al reescalamiento en 5 (Fig. 5 4) Resultados similares se pueden observar en la gráfica de correlación entre la profundidad del agua y su correspondiente índice de vulnerabilidad (Fig, 5 4)

Otra forma estadística para justificar el reescalamiento para el parámetro de la vulnerabilidad, fue realizando el análisis de sensibilidad para cada uno de los parámetros y se obtuvieron sus estadísticas para sensibilidad, variabilidad y factores de peso (Tabla 14). Este proceso se realizó utilizando el rango original y el reescalado a 5 (Tabla 15)

Como se puede observar, el impacto a la zona vadosa es el parámetro más sensible, seguido de la profundidad del nivel estático y la topografía, los menos sensibles, son el tipo de suelo y tipo de acuífero,

Tabla 14- Datos estadísticos de sensibilidad de parámetros, utilizando la escala original para profundidades,

Intervalos de D Original	SX-D	SX-R	SX-A	SX-S	SX-T	SX-I	SX-C
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,00
Máximo	383	3,48	2,78	156	3,26	5,42	2,67
Media	1,77	1,04	0,75	0,46	1,73	2,80	101
Varianza	0,74	0,85	0,25	0,08	0,45	1,46	0,48
Desviación estándar	0,86	0,92	0,50	0,29	0,67	1,21	0,70

En la tabla 15 se observa que la conductividad es de mayor sensibilidad, la topografía y el impacto a la zona vadosa también tienen alta sensibilidad, los parámetros de menor sensibilidad son el acuífero, tipo de suelo y la recarga neta; sin embargo, en un análisis temporal de variabilidad de la recarga neta para el Valle del Turbio se observó que este parámetro es altamente variable de un año hidrológico a otro.

Tabla 15- Estadísticas de sensibilidad de parámetros utilizando un ajuste en el parámetro de profundidades,

Intervalos de <i>D</i> Modificado	<i>SXD</i>	<i>SXR</i>	<i>5X4</i>	<i>SXS</i>	<i>SXT</i>	<i>SXI</i>	<i>SXC</i>
Mínimo	0,00	0,00	0 00	0,00	047	0,00	1,06
Máximo	5.06	281	243	2 13	3,87	4,92	40.53
Media	1,79	0,77	0.56	0,68	2 28	2 26	13.44
Varianza	097	0.55	0.15	0 20	0,50	1,50	69,88
Desviación Estándar	0 98	0,74	0.39	0,45	0,71	1 22	8 36

6.4 ANÁLISIS DE VARIABILIDAD DE PARÁMETROS DEL MÉTODO DRASTIC

Para evaluar el orden de la magnitud de la variación originada al omitir un parámetro, el índice de variación puede ser calculada como (Lodwik *et al.* 1990):

$$VXi = \frac{Vi - Vxi}{Vi} * 100 \quad (3.2)$$

Donde:

Vxi = índice de variación omitiendo un parámetro X(D, R, A, S, T, I o C)

Vi = índice de vulnerabilidad calculada en el área i,

Vxi = índice de vulnerabilidad calculada en el área i, sin considerar un parámetro X(D, R, A, S, T, I o C).

Para cada parámetro se evaluó su variabilidad al omitir uno de ellos y se obtuvieron sus estadísticas (Tabla 16),

Tabla 16- Estadísticas de variabilidad de parámetros utilizando las escalas originales,

intervalos de <i>D</i> Original	VX-D	VX-R	VX-A	VX-S	VX-T	VX-I	VX-K
Mínimo	0 26	7,44	8,99	4 57	1,29	7 79	1.19
máximo	32,93	34 34	32,14	22,99	14 83	38 25	23,06
Media	6,90	18,56	17 17	1408	6,51	27,10	9 68
Varianza	24 38	30.85	11,37	7,19	458	20 10	21,68
Desviación Estándar	494	5.55	3.37	2 68	2,14	4,48	4 66

Como se puede observar en los intervalos originales, la profundidad tiene muy poca variabilidad y es muy similar a la topografía. El parámetro que tiene mayor variabilidad es el impacto a la zona vadosa y la variabilidad del resto de los parámetros tienen un orden decreciente, lo cual es lógico por su orden de importancia. El mismo procedimiento se llevó a cabo después de reescalar el parámetro de profundidad (Tabla 17).

Tabla 17.- Estadísticas de la variabilidad con intervalos de profundidad modificados.

intervalos de <i>D</i> Modificado	VXD	VXR	VXA	VXS	VXT	VXI	VXC
Mínimo	4,74	6.80	733	3,59	101	5,83	0.97
máximo	37.17	26.99	27.82	19.52	11,08	37.03	21,98
Media	2138	15.53	1451	11,84	549	22.96	8,29
Varianza	24,01	16,76	8.33	4,05	3.03	1815	1778
Desviación Estándar	4,90	4,09	2.89	2,01	1,74	4,26	4,22

Luego de realizar el ajuste de los parámetros, los de mayor variación con esponden (como era de esperarse) a la profundidad y zona vadosa, además hay una mejor correlación entre la variabilidad de éstos y su influencia esperada, La menor variabilidad corresponde al gradiente topográfico y conductividad hidráulica, ésta última originalmente se encontraba sobrevaluado,

65 ANÁLISIS DE PESOS DE PARÁMETROS DEL MÉTODO DRASTIC*

Cada parámetro tiene una influencia en la vulnerabilidad, ésta es expresada en pesos efectivos, El peso efectivo (W_{xi}) puede ser calculado para cada celda como (Napolitano y Fabbri, 1996):

$$W_{xi} = \frac{X_{ri} * X_{wi}}{V_i} * 100 \quad (3,3)$$

Donde X_{ri} y X_{wi} son las puntuaciones y los pesos para cada parámetro X respectivamente en cada celda y V_i es el índice de vulnerabilidad calculada para cada celda,

Para el análisis de los pesos se calculó el peso efectivo con los intervalos originales de D (Tabla 17) y con rango leescalado a 5 en D (Tabla 18),

Tabla 18.- Estadísticas de los pesos asignados a los diferentes parámetros considerando los intervalos originales.

Intervalos de <i>D</i> Original	WX-D	WX-R	WX-A	WX-S	WX-T	WX-I	WX-K
Mínimo	0.26	7,44	8.99	4,57	1.29	7,79	1.19
Máximo	32.93	34,34	32,14	22,99	14,83	38.25	23,06
Varianza	24.38	3085	11,37	7,19	4.58	20,10	21,68
Desviación Estándar	4.94	5,55	3,37	2,68	2,14	4.48	4.66
Media	6.90	18,56	1717	14.08	651	27,10	9,68
Peso calculado X_{wi}	1.6	43	3.9	3,2	1,5	62	2.2
Peso teórico	5	4	3	2	1	5	3
% peso efectivo	21,74	17,39	13,04	8,7	4,35	2174	13.04

En teoría los parámetros de profundidad e impacto a la zona vadosa tienen mayor peso; sin embargo, utilizando la escala original, la profundidad y la topografía, tienen los menores pesos y sólo la zona vadosa tiene mayor peso. La gráfica de frecuencia mostró que los índices que más prevalecieron fueron los valores de 1, en la gráfica de I. DRASTIC* versus profundidad

En la tabla 17 se muestra la comparación de la variabilidad, pesos y porcentaje asignados a cada parámetro. La profundidad (WX-D) y la Conductividad Hidráulica (WX-C) se encuentran sobrestimadas, el resto de los parámetros están subestimados,

En la tabla 18, se muestra la comparación de la variabilidad, pesos y porcentaje asignados y los calculados para cada parámetro después de reescalar los rangos originales para profundidad. Los pesos calculados se aproximan más a los asignados. El peso evaluado para impacto a la zona de vadosa tiene el mayor peso, seguido de la profundidad del nivel estático. El parámetro con menor peso es el gradiente topográfico. La conductividad hidráulica también tiene poco peso en la vulnerabilidad.

Con este ajuste se calcularon nuevamente los pesos de los parámetros y se encontró una buena correlación entre la media de pesos y los pesos teóricos, esto se observa en el orden decreciente y el grado de influencia de cada parámetro en la vulnerabilidad (Tabla 19)

Tabla 19.- Estadísticas de las funciones de peso considerando el ajuste de la profundidad del nivel estático,

ESTADÍSTICAS	WXD	WXR	WXA	WXS	WXT	WXI	WXC
Mínimo	4.74	6.80	7.33	3.59	101	5.83	0.97
Máximo	37.17	26.99	27.82	19.52	1108	37.03	21.98
Varianza	2401	16.76	8.33	4.05	3.03	18.15	1778
Desviación Estándar	4.90	4.09	2.89	2.01	1.74	4.26	4.22
Media	21.38	15.53	14.51	11.84	549	22.96	8.29
Peso Calculado Xwi	4.9	3.6	3.3	2.7	1.3	5.3	1.9
PESO TEÓRICO	5	4	3	2	1	5	3
% PESO EFECTIVO	21.74	17.39	13.04	8.70	4.35	21.74	13.04

6.6 CORRELACIÓN DE DOS MÉTODOS DE VULNERABILIDAD

La correlación se llevó a cabo utilizando los índices de vulnerabilidad de dos métodos que consideran en su desarrollo diferentes parámetros. La gráfica de correlación entre el mapa DRASTIC* y AVI indica que los valores bajos en resistencia hidráulica y tiempo de tránsito corresponden a valores altos en índices de vulnerabilidad DRASTIC* (Fig. 6.4). La dispersión que se observa es debido a la diferencia de los parámetros considerado en ambos métodos, 7 para DRASTIC* y 2 para AVI.

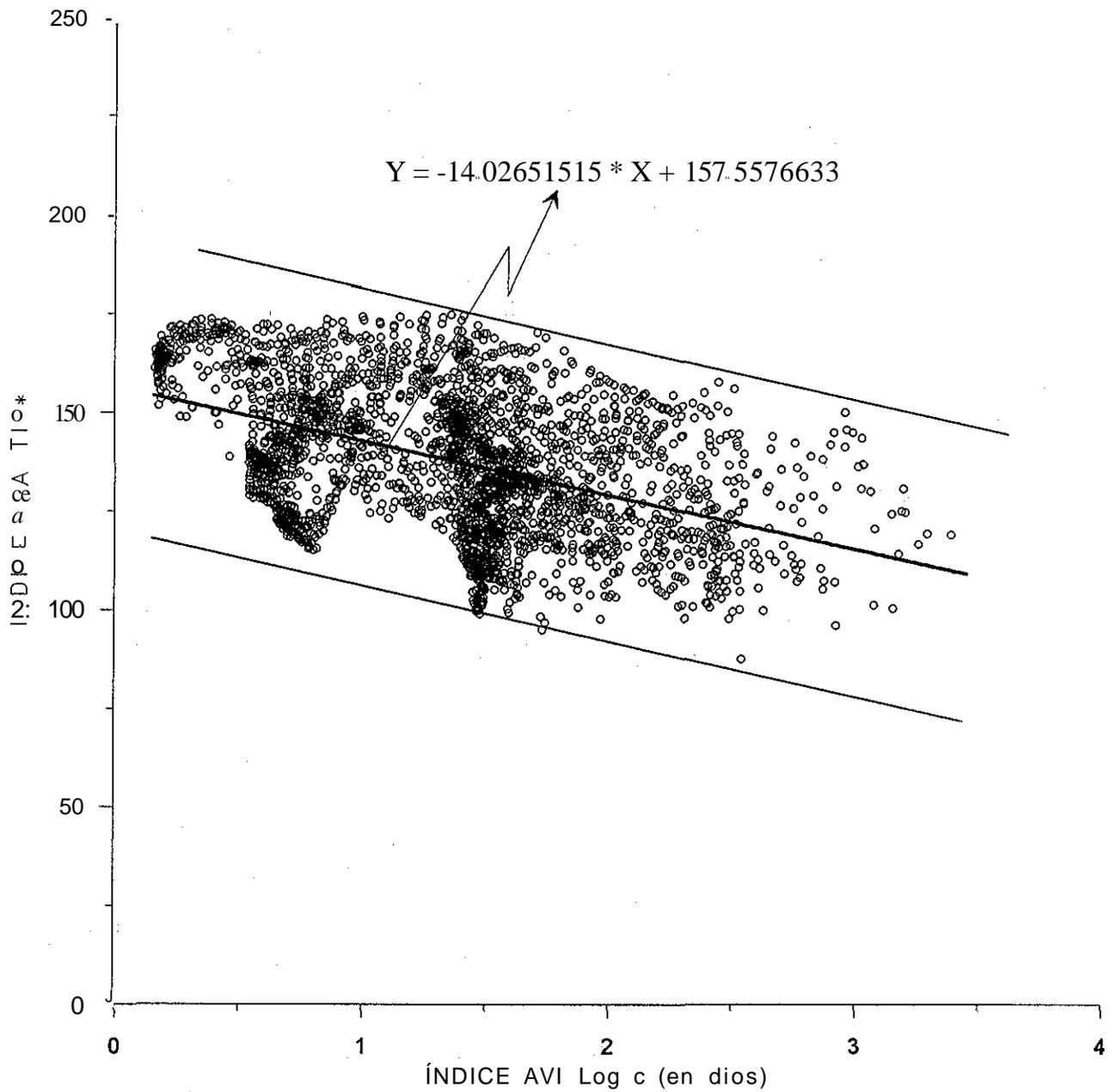


Figura 6.4.- Correlación entre índices de Vulnerabilidad Acuffera (AVI) y DRASTIC.



Existe una gran similitud en los resultados obtenidos en los métodos DRASTIC* y AVI, ya que en zonas con alta vulnerabilidad con DRASTIC* tienen valores (log c) bajos para el índice de AVI y viceversa (Fig 6.4)

6.7 CORRELACIÓN DE LA VULNERABILIDAD CON COMPONENTES QUÍMICOS

Esta etapa consistió en la comparación del mapa de vulnerabilidad con la zonificación hidrogeoquímica de componentes, tales como cloruros, sulfatos y sólidos totales disueltos dentro del valle, los cuales son producidos por una fuente lineal (Río Turbio).

Para ilustrar la buena correlación entre los modelos de vulnerabilidad, el modelo geológico y la distribución de algunos componentes químicos, se realizó una sección geológica, de vulnerabilidad y química; así como una sobreposición por capas de la distribución espacial de estos elementos (Figs 6 5, 6 6 y 6 7)

Las tendencias para cloruros, sólidos totales y sulfatos, reflejan, como era de esperarse, las zonas más vulnerables definidas por DRASTIC* y AVI, que corresponden preferencialmente al cauce del sistema fluvial León - Turbio (fig 6 5 y 6.6)



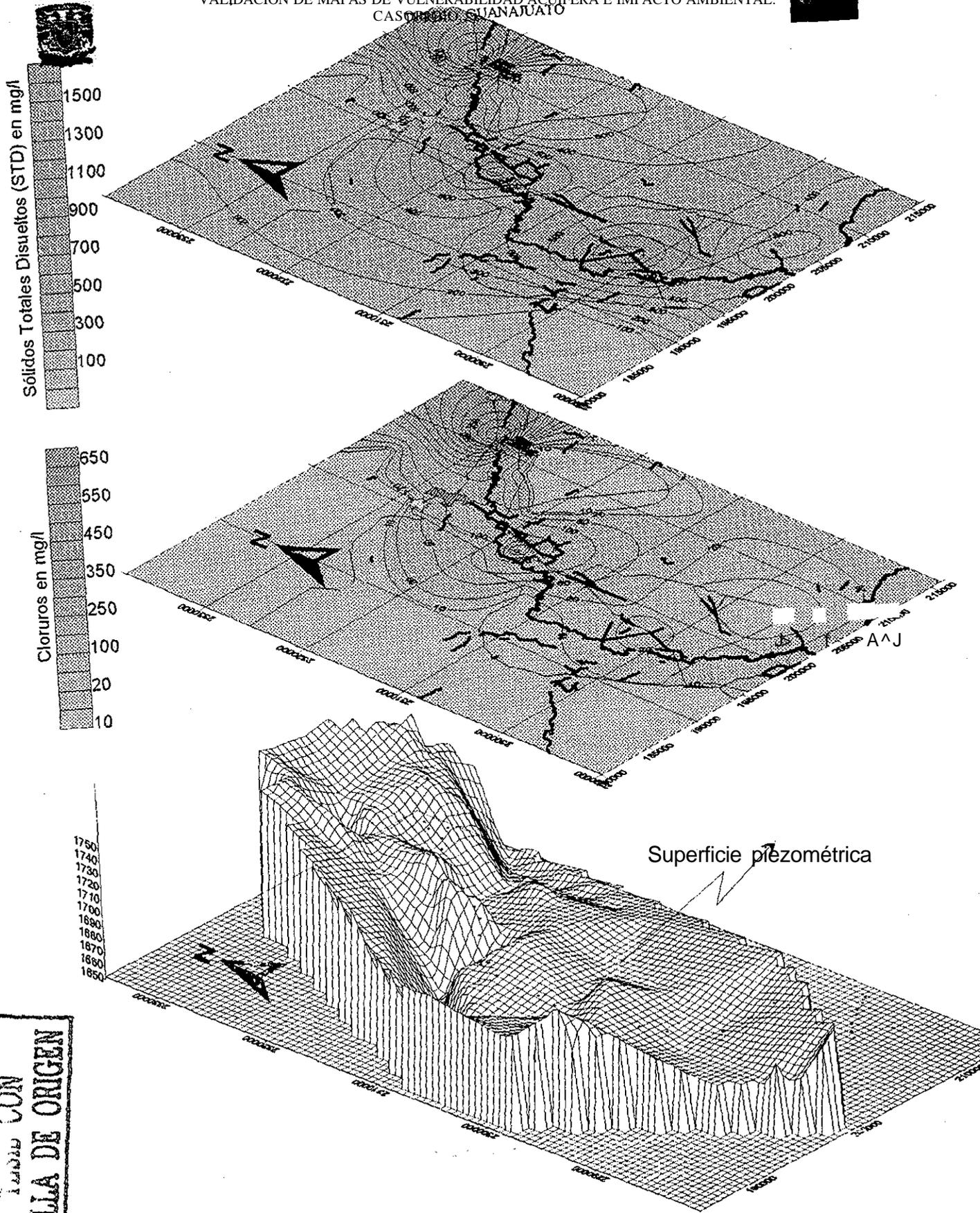


Figura 6.5.- Comportamiento hidrodinámico y distribución de cloruros y sólidos disueltos totales. Se observan dos superficies piezométricas, la de mayor carga se ubica al norte y presenta valores altos de cloruros y sólidos disueltos totales, La zona sur del valle tiene concentraciones más bajas de cloruros y sólidos disueltos totales

VALIDACIÓN DE MAPAS DE VULNERABILIDAD ACUIFERA E IMPACTO AMBIENTAL:
CASORIO TURBIO GUANAJUATO

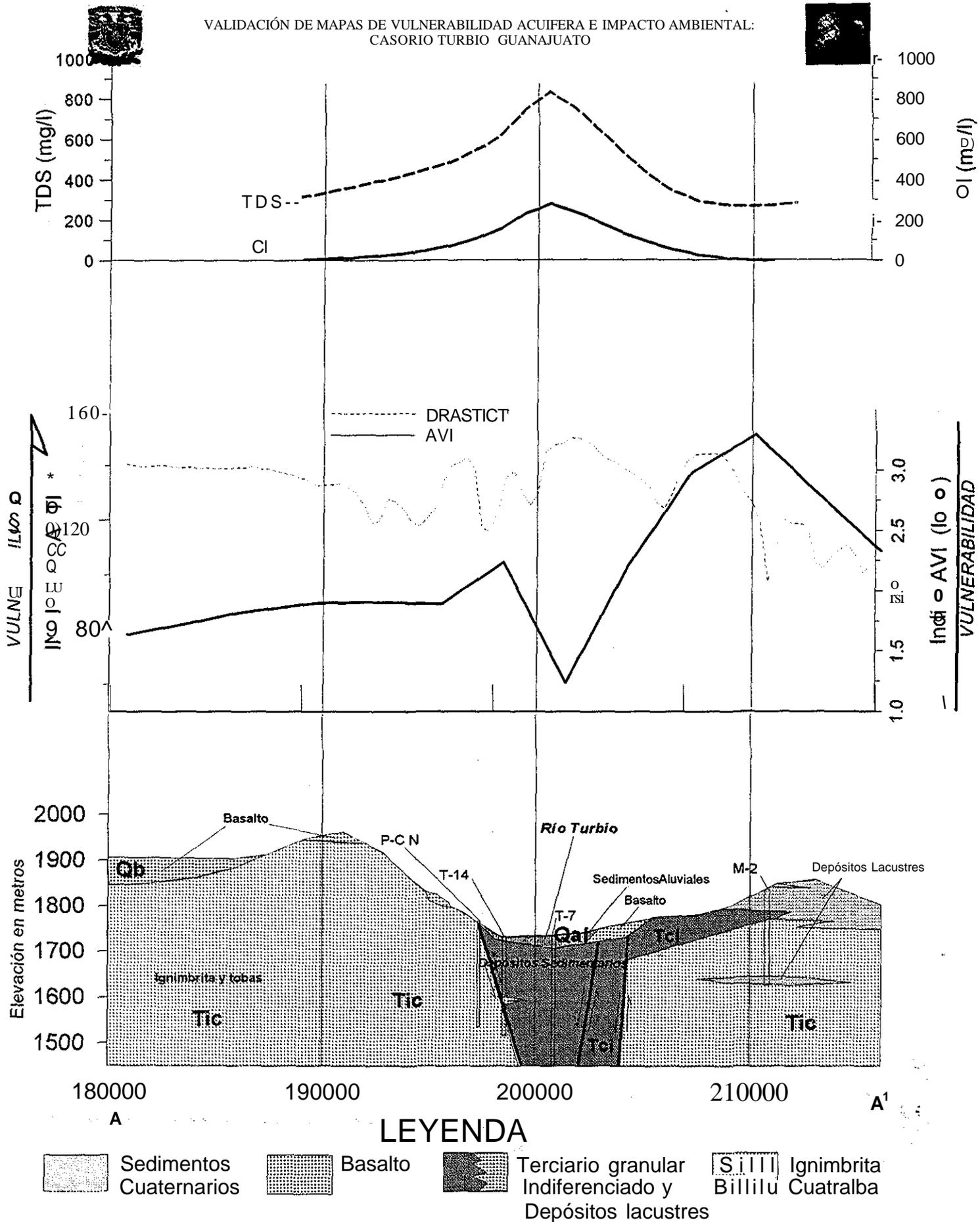


Figura 6,6- Comparación entre las secciones geológica, de vulnerabilidad, e hidrogeoquímicas en el Valle del Río Turbio,

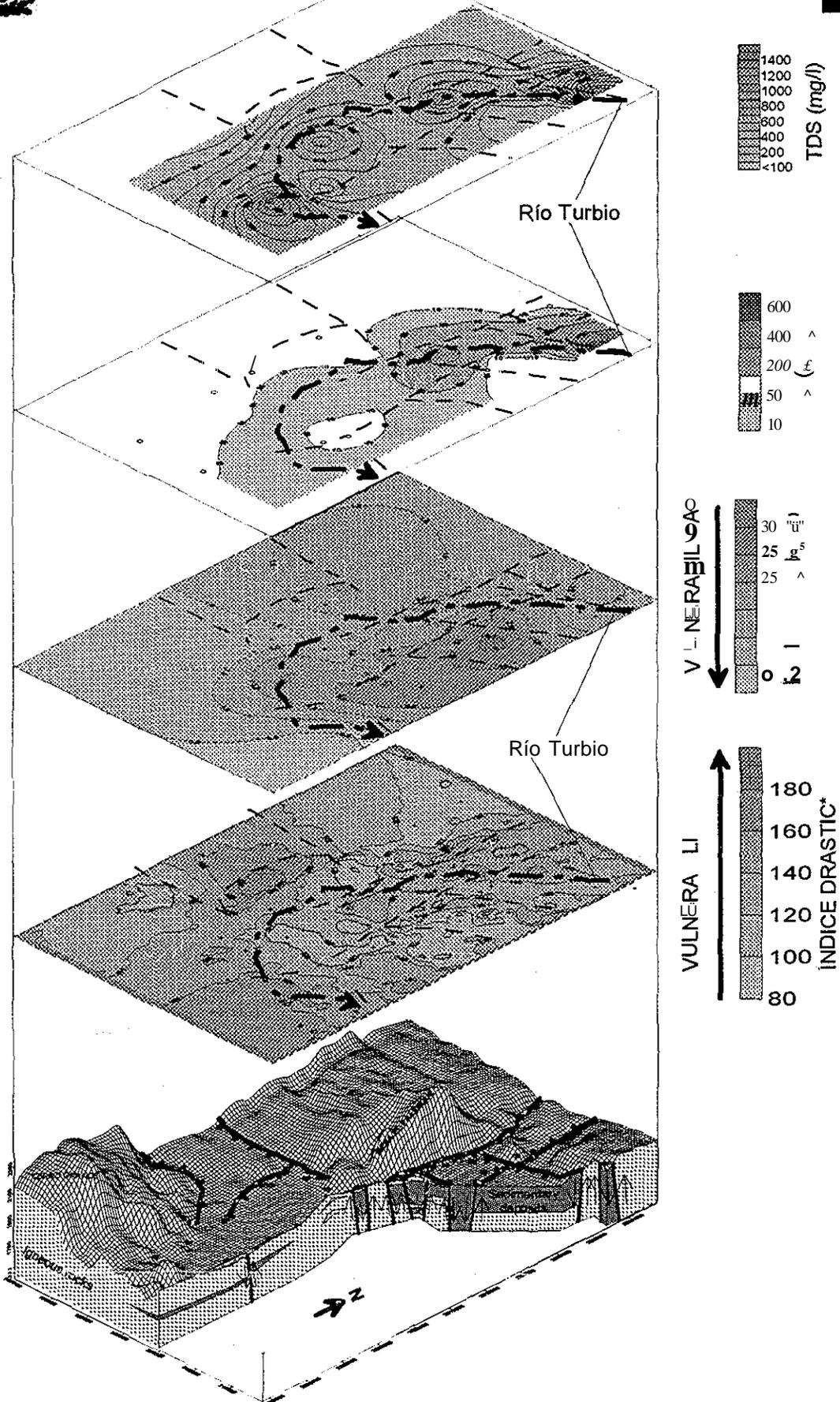


Figura 6.7, Modelo integrado de vulnerabilidad y distribución de componentes hidrogeoquímicos (C I, S₂O, STD),

7 FUENTES POTENCIALES E IMPACTO AMBIENTAL

Aunque existe una gran cantidad de actividades humanas que generan cierta carga contaminante, sólo un pequeño número de éstas se pueden considerar como tal. Dependiendo de los mecanismos de control primario de cada actividad, éstas se pueden clasificar como fuentes potenciales y activas (Wilson, 1991), las primeras no están de hecho contaminando, pero representan un riesgo; las segundas son aquellas en las que los mecanismos de control primario han fallado y por lo tanto, representan una fuente contaminante activa.

Se considera como fuente de contaminación al acuífero, a un sitio que está generando o puede generar lixiviados o solutos, que al incorporarse a un sistema acuífero, alteran la calidad natural del agua subterránea. La calidad del agua subterránea está definida por los valores de fondo de los elementos que de manera natural se incorporan al flujo subterráneo, estas concentraciones no necesariamente tienen que estar por arriba de la normatividad vigente para agua potable.

7.1 TIPO DE FUENTES POTENCIALES DE CONTAMINACIÓN

Las fuentes contaminantes se pueden caracterizar por su origen, geometría, actividad o temporalidad (Tabla 20),

Tabla 20.- Tipos de fuentes potencialmente contaminantes de acuerdo a su origen, geometría, actividad y temporalidad (OTA, 1984; Fetter, 1999; CEASG, 2000),

Origen	Natural	Antropogénico	
Geometría	Puntual	Lineal	Difusa
Actividad	Activa	Potencial	Inactiva
Temporalidad	Pulso	Intermitente	Permanente

La contaminación puede ser de tipo natural o antropogénica, se considera *antropogénica*, cuando está asociado a alguna actividad humana, y es de procedencia *natural* cuando esto no ocurre, como en el caso de la lixiviación de rocas y suelos (Fetter, 1999; Armienta *et al.* 1996; Robles y Armienta, 2000) De acuerdo a su geometría, una fuente es *puntual* cuando dependiendo de la escala a la que se trabaje, ésta puede ser representada por un punto en el espacio, Si esta representación es una línea o una sucesión de puntos, será *lineal* como en el caso del Río Turbio, Si la fuente se encuentra dispersa en la zona de estudio o si la generación de lixiviaciones tiene lugar en más de dos puntos, por su geometría se le considera como *difusa* En caso de existir evidencias de la generación de lixiviaciones será *activa*, mientras que si existen o pueden existir elementos suficientes para que se generen en un futuro inmediato o a largo plazo lixiviaciones será *potencial*, Cuando la generación de lixiviados es continua en el tiempo, se le definirá como *permanente*, si los lixiviados solo están presentes cuando las condiciones de humedad en el sitio lo permiten (lluvias e incremento de humedad) será *intermitente* y si los lixiviados sólo ocurren una ocasión, su carácter temporal será *de pulso*, como en el caso de accidentes químicos.,

Es importante mencionar que en la mayoría de las actividades humanas, los desechos producidos son arrojados al sistema de drenaje, en donde a menos que ocurra una fuga en el mismo, representa una fuente potencial. En la zona de estudio, las descargas residuales son vaciadas al Río de Los Gómez, procedentes de la ciudad de León y al unirse con el Río San Francisco, que recoge las aguas residuales del mismo poblado, forman el Río Turbio, el cual no está revestido y existen evidencias de que se está afectando al acuífero del valle (CEASG, 1998; SARH, 1991; BGS-CNA-LJACH-SAPAL, 1996, SAPAL, 2001) con valores de cloruros, por¹ arriba de la Norma Oficial Mexicana (NOM 127, 2000).

En 1999, el CEASG realizó un censo de las fuentes potencialmente contaminantes en la región, seleccionando las fuentes tipo y únicamente incluyó en el catastro, los sitios en que se tenían evidencias de su carácter activo o elementos suficientes para considerarlas como potenciales. Las fuentes seleccionadas y sus principales características se presentan en la Tabla 21,.

No se presentan problemas de contaminación en la mayoría de estas fuentes; sin embargo, existen evidencias de contaminación por Cr, misma que se ha relacionado con la empresa Química Central, curtidorías y ladrilleras (Armienta, 1993; Rodríguez y Armienta, 1995; Armienta *et al.*, 1996; Reyes, 1998; Armienta *et al.* 2001).

7.2 MAPAS DE RIESGO DE CONTAMINACIÓN AL ACUÍFERO

Existen al menos dos tendencias en lo referente a estrategias sobre protección de la calidad de las aguas subterráneas, la primera es la de Perímetros de Protección de Pozos (PPP), la cual tiene como centro de estudio el pozo de abastecimiento, su principal objetivo es el establecimiento de una zona de protección alrededor del mismo (Hirata y Reboucas, 1999). La otra línea, es más amplia y está dirigida al acuífero, tiene como propósito una cartografía de vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea. En nuestro caso, se eligió esta última línea de trabajo debido a las dimensiones del área de estudio, la complejidad de su geología y a las características como fuente lineal del Río Turbio. Los métodos de vulnerabilidad resultan más eficaces cuando cubren grandes áreas y abarca el mayor número de actividades humanas asociadas a fuentes potencialmente contaminantes.

Un inventario de fuentes potenciales de contaminación es tan importante, como la propia determinación de la vulnerabilidad (Rodríguez *et al.* 1999), ya que de la combinación de ambos, resulta el mapa de riesgo al acuífero (Ramos, 2000; Hirata y Reboucas, 1999),

En el presente estudio se utilizaron dos métodos de vulnerabilidad debido al proceso de validación; sin embargo, por el tipo de resultados que tiene cada mapa, se utilizó ambas bases de vulnerabilidad para generar los mapas de riesgo al acuífero correspondiente,.

Partiendo del mapa de vulnerabilidad DRASTIC*, los valores más bajos en el área son de 90 y los valores de vulnerabilidad más altos son de 190, éstos se encuentran en el Río Turbio o muy próximos a él (Fig 7,1) La mayor cantidad de fuentes potencialmente contaminantes se ubican en intervalos de 150 a 170, es "decir, se encuentran en zonas altamente vulnerables, por lo que el riesgo de contaminación es relativamente alto. Por sus características y dimensiones, la fuente lineal (Río Turbio y canales de aguas residuales) debería tener mayor impacto en el agua subterránea, ya que su cauce se distribuye principalmente en zonas altamente vulnerables,

Tabla 21.- Tipos de fuentes potencialmente contaminantes de acuerdo a su actividad, origen, geometría, temporalidad y tipo de soluto en las fuentes (CEASG, 1999),

Tipo de fuente	Actividad	Origen	Geometría	Temporalidad	Soluto
Accidentes químicos	Activa	Antropogénico	Puntual	Pulso	Comp Org
Basureros activos	Potencial	Antropogénico	Puntual	Intermitente	Nitratos STD, Comp Org
Basureros clausurados	Activa/ potencial	Antropogénico	Puntual	Intermitente	Nitratos STD, Comp Org
Ríos y canales de aguas residuales	Activa	Antropogénico	Lineal	Intermitente	SDT, Cl, N, Cr
Confinamiento de residuos industriales	Potencial	Antropogénico	Puntual	Intermitente	Metales
Descargas de aguas residuales	Activa/ potencial	Antropogénico	Puntual/ lineal	Intermitente	SDT, Cl, N, Comp Org
Disposición de lodos industriales	Potencial	Antropogénico	Puntual	Intermitente	Comp Orgánicos, metales, sust corrosivas
Disposición de residuos sólidos	Activa/ potencial	Antropogénico	Puntual	Intermitente	Metales
Formaciones Geológicas	Activa/ potencia]	Natural	Difusa	Intermitente	Cr, F, As
Fugas en ductos	Activa	Antropogénico	Puntual/ Difusa	Pulso	Hidrocarburos
Gasolineras	Potencial	Antropogénico	Puntual	Intermitente	BTEX
Granjas	Potencial	Antropogénico	Difusa	Intermitente	Nitratos
Jales Mineros	Activa/ potencial	Antropogénico	Difusa	Intermitente	Metales
Ladrilleras	Activa/ potencial	Antropogénico	Puntual/ Difusa	Intermitente	Cr
Minas	Potencial	Antropogénico	Difusa	Intermitente	Metales
Panteones	Potencia]	Antropogénico	Puntual	Intermitente	Aminas, Ca, P
Presas de regulación	Potencial	Antropogénico	Difusa	Intermitente	Metales
Terrenos agrícolas	Activa	Antropogénico	Difusa	Intermitente	Agroquímicos
Terrenos industriales activos	Activa/ potencial	Antropogénico	Puntual	Pulso/ intermitente	Metales, comp orgánicos
Terrenos industriales inactivos	Potencial	Antropogénico	Puntual/ Difusa	Intermitente	Metales, comp orgánicos
Zona urbana	Activa	Antropogénico	Difusa	Permanente	Nitratos, SDT

El Río Turbio en la zona norte se considera de tipo lineal y permanente, debido a que existen presas derivadoras como la Presa de Silva, Presa de San Germán y Presa del Mastranzo, las que retienen de manera permanentemente grandes volúmenes de aguas

residuales, que son redistribuidas a través de canales a las zonas de riego (Armienta *et al.* 2001), en donde le dan un carácter de fuente-difusa intermitente. En la parte sur del valle, el río se considera como fuente lineal intermitente, ya que la mayor parte del año el río es interrumpido.

En el mapa de riesgo basado en el método AVI (años), se puede observar que los tiempos de transporte al acuífero pueden ser menores a 10 años y hasta 1000 años (Fig. 7,2),

Debido a la heterogeneidad del medio, las fuentes potencialmente contaminantes se ubican en zonas con intervalos de 10 a 100 años., Existen zonas con alto riesgo de contaminación al acuífero en el Valle del Río Turbio, debido a que las aguas residuales del Río Turbio, atraviesan zonas con tiempos de arribo menores a 10 años.,

73 IMPACTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Cuando una actividad produce una alteración favorable o desfavorable al medio ambiente o alguno de sus componentes, se produce un impacto al mismo (Conesa, 1993) La extracción de las aguas subterráneas en el Valle del Río Turbio ha generado problemas de impacto ambiental relacionados al agua, tales como:

- > Disminución del flujo base del Río Turbio
- > Modificaciones en el flujo subterráneo, ya debido a la sobreexplotación del acuífero se han producido inversiones del flujo en el Valle del Río Turbio,
- > Modificación de la calidad del agua subterránea

a) FLUJO BASE

El Río Turbio representa el principal elemento hidrográfico del área en estudio y figura como el segundo afluente en importancia del Río Lerma; en condiciones naturales cuando no existía extracción, la descarga se manifestaba como flujo base del Río Turbio (CEASG, 1998), esto se producía en forma continua. Con el inicio y aumento de la extracción, la disminución del flujo base se redujo el volumen de la descarga, de manera intermitente; actualmente los aportes hacia el cauce solo aparecen en los meses de noviembre y diciembre (SARH, 1979).

b) MODIFICACIONES AL FLUJO SUBTERRÁNEO

La dirección del flujo subterráneo del Sistema Acuífero del Río Turbio en condiciones naturales, fluía de norte a sur y las salidas ocurrían por la zona sureste, a la altura de Las Adjuntas (CEASG, 1998), actualmente se ha invertido la dirección del flujo, debido a la intensa extracción del agua subterránea en el Valle del Río Turbio.

Para el periodo de 1995 a 1998, CEASG (1998) reporta cambios de dirección del flujo subterráneo original, debido al desarrollo de conos de abatimiento en la parte central del valle, produciendo flujos de sur a norte hacia el interior del valle, de tal manera que ya no existen salidas subterráneas hacia el sureste.

Un proceso similar se desarrolla en la parte noreste del Valle del Río Turbio, en donde originalmente la salida del flujo subterráneo del Valle de León se localizaba hacia el Río Turbio, actualmente el desarrollo de un gran cono de abatimiento al sur del Valle de León, ha derivado en la inversión del flujo del Valle del Río Turbio hacia el Valle de León (SARH, 1979; CEASG, 1998).

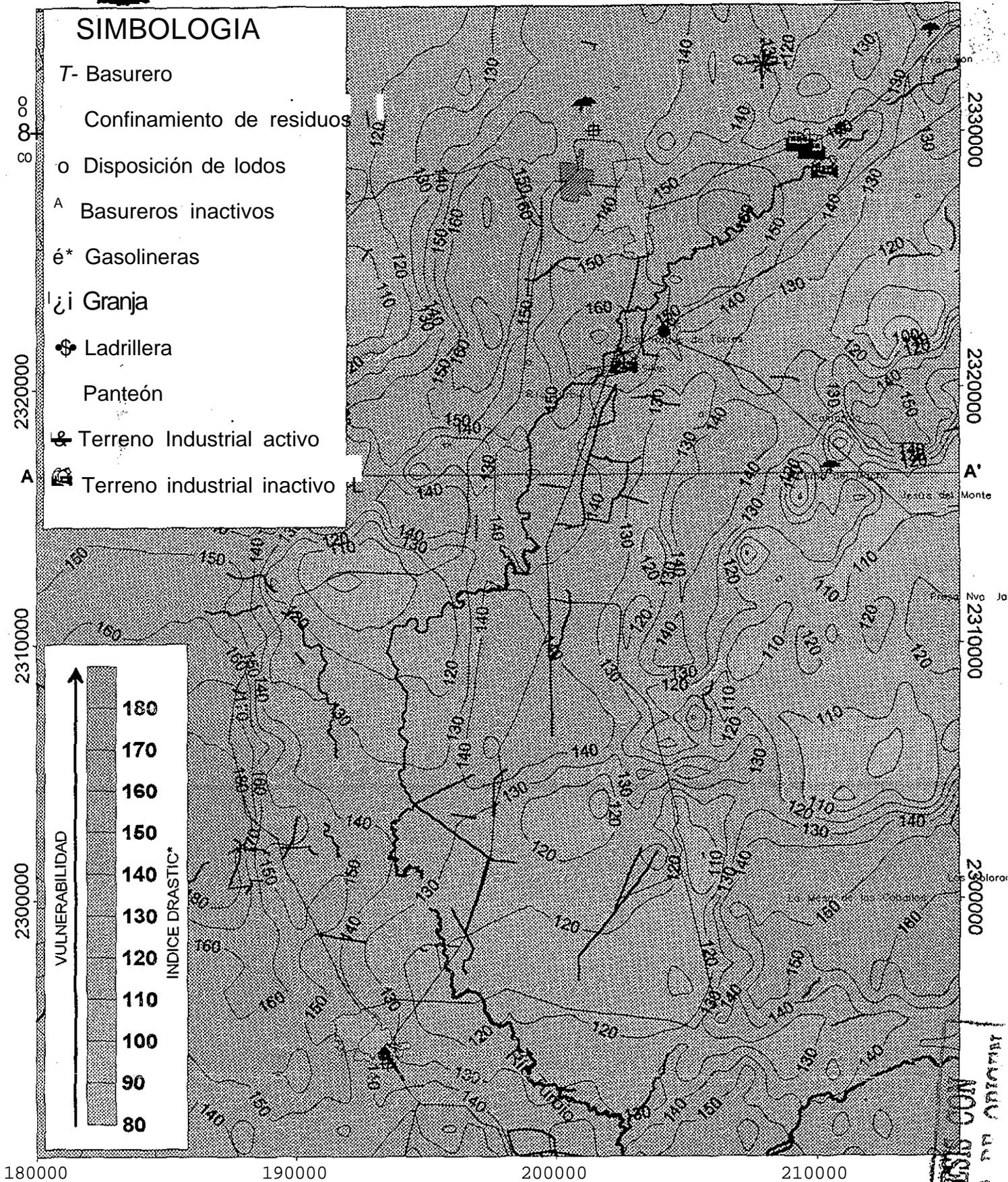


Figura 7,1 - Mapa de riesgo al acuífero, basado en el mapa de vulnerabilidad DRASTIC*. Los valores más altos se ubican en valle. El Río Turbio constituye la principal fuente contaminante,,

TEJAS CON FALLA CON ORIGEN

SIMBOLOGIA

- Basurero
- Confinamiento de residuos
- o Disposición de lodos
- ^ Basureros inactivos
- é^ Gasolineras
- £k Granja
- ⊕ Ladrillera
- Panteón
- ^ Terreno Industrial activo
- ∩ Terreno industrial inactivo

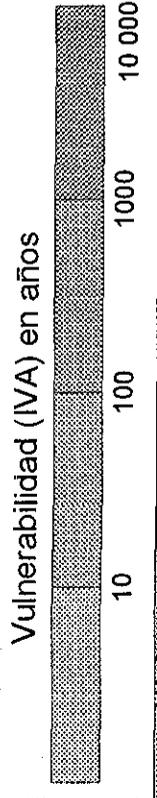
2330000

2320000

2310000

2300000

2300000



180000

185000

190000

195000

200000

205000

210000

215000

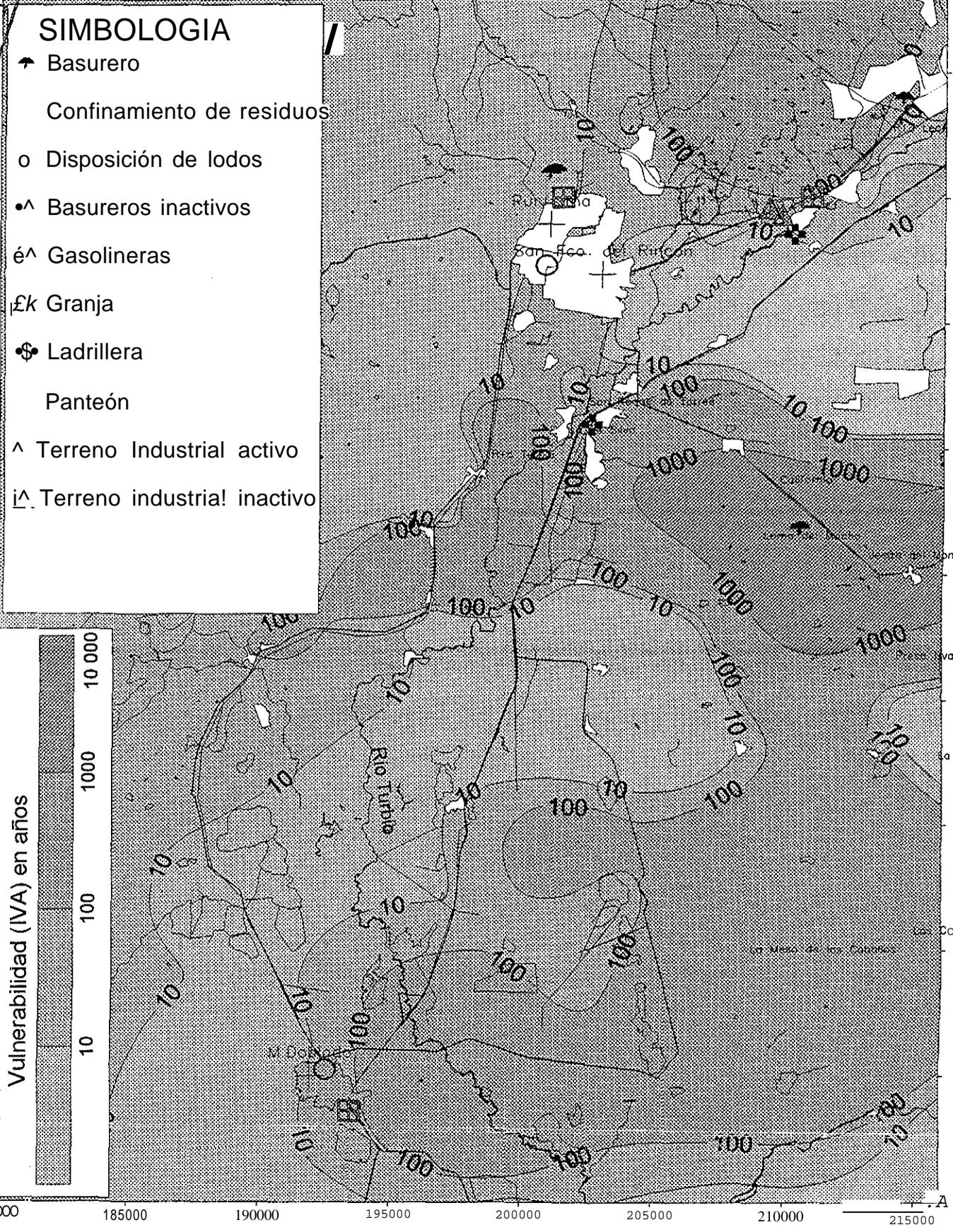


Figura 7,2- Mapa de riesgo al acuífero, basado en el método de vulnerabilidad AVI. La principal fuente contaminante lo constituye el Río Turbio, en su trayecto atraviesa zonas de alta vulnerabilidad

c) IMPACTO A LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Los componentes físicoquímicos del agua subterránea pueden aumentar o disminuir después de que se inicia su extracción, el impacto se considera positiva cuando se incrementen y será negativa cuando disminuyan (Conesa, 1993). Para analizar la tendencia de los parámetros, se pueden establecer valores de fondo para algunos elementos o iones mayores,

Para analizar¹ el primer caso, se consideraron los valores de fondo (16 mg/L) para el ion cloruro reportados por CEASG (1999) y SAPAL (2001), en un área contigua al Valle del Río Turbio (La Muralla), en donde no se tiene evidencias de contaminación y los flujos son de tipo regional y/o intermedio, por lo que los valores por encima de este rango pueden ser un indicio de la alteración de la calidad del agua subterránea.

La variación temporal puede observarse en los estudios realizados en el valle, un trabajo realizado por SARH (1979) reporta valores de cloruros con intervalos de 20-60 mg/L en pozos cercanos al Río Turbio, posteriormente CEASG (1995) reportó valores de hasta 800 mg/L, alcanzando profundidades de hasta 130 m (CNA-BGS-UACH-SAPAL, 1996), de igual forma, valores de 2 a 14 mg/L de nitratos se registran en las proximidades del Río Turbio debido a la infiltración de sus aguas residuales (SARH-IGF, 1991).

En el caso de la disminución de cloruros se tienen evidencias de que esto ocurre en uno de los pozos de abastecimiento de agua potable (Turbio 8) más importantes del valle, En 1994 se registraron valores de 18 mg/L, para 1999 los valores fueron menores a 10 mg/L. La calidad del agua subterránea de este pozo cada vez se asemeja más al agua meteórica, ésta última fue caracterizada químicamente en estaciones pluviométricas colocadas durante los años de 1999 (CEASG, 1999) y 2000 (SAPAL, 2001), los valores promedio de éste ion fue de 0.85 mg/L.

Si bien la calidad del agua meteórica es buena para consumo humano la tendencia implica un agotamiento del acuífero, al menos para las profundidades de extracción del recurso.

Existen evidencias de contaminación por cromo (Cr), las fuentes potenciales de contaminación reportadas en el área son de origen natural y antropogénico (SARH-IGF, 1991; Rodríguez y Armienta, 1995; Armienta *et al.* 1996), como fuente natural se encuentra las rocas ultramáficas (Piroxenita San luán de Otates) con alto contenido en Cr, ubicadas en la localidad del mismo nombre (Robles y Armienta, 2000).

Identificadas como fuentes de origen antropogénico se encuentran las cenizas provenientes de las ladrilleras, las cuales utilizan desperdicios de pieles procesadas con Cr, que al lixiviarse se incorporan al acuífero (SARH-IGF, 1991; Rodríguez y Armienta, 1995; Armienta *et al.*, 1993; Armienta *et al.* 1996; Armienta *et al.* 2001):.

El agua de desecho de las tenerías es otra fuente potencial de este tipo, Problemas de contaminación asociado a los residuos sólidos de Cr de la empresa Química Central fueron registrados en pozos cercanos a dicha industria (SARH-IGF, 1991; Reyes, 1995; Rodríguez... y Armienta 1995; Armienta *et al.*, 1996; Armienta *et al.* 2001). En el estudio de SARH-IGEOF (1991) se muestrearon más de 100 pozos, encontrándose evidencias de contaminación por Cr^{VI} y NO₃ en concentraciones mayores a los valores de fondo en la región (≤ 0.05 mg/L). Para las concentraciones de nitratos los valores mas altos se ubican en

la zona urbana. Existe una relación entre las concentraciones más altas y la presencia de áreas en donde se procesa materia prima de cromo,,

Pozos con concentraciones altas en cloruros están asociados a contaminación por desechos del lavado de cueros que son vertidas a las aguas residuales.

La continua extracción del agua subterránea produce un desequilibrio en el ciclo hidrológico del valle, de tal manera que la calidad del agua subterránea al igual que los niveles piezométricos, modifican sus condiciones iniciales (Ramos *et al* 2001),,

Dada la escasez de información hidrogeoquímica en la mayor parte del valle, fue necesario utilizar dos métodos (índice de calidad e índice de contaminación) para validar el diagnóstico ambiental, en el primero se cuantificó el impacto al recurso y posteriormente se obtuvo un índice de contaminación,,

Un índice de calidad del agua subterránea (ICA) es utilizado (Martínez, 1979 en Conesa, 1993), Éste índice proporciona un valor global de las condiciones del agua, incorpora valores individuales ponderados, de una serie de parámetros físicos, químicos o biológicos, medidos en campo o en laboratorio,

La importancia de este índice es que considera la mayor cantidad de componentes con los que se dispone, La evaluación se puede efectuar con los componentes físicoquímicos de un análisis de agua normal (iones mayores, pH, temperatura y conductividad eléctrica), aunque a mayor cantidad de elementos de análisis, mayor relevancia tendrá la estimación,,

Para hacer la evaluación se asigna un peso y valor porcentual asignado de acuerdo a las concentraciones o valores del parámetro en cuestión, de acuerdo a la siguiente relación (Conesa, 1993),,

$$ICA = k \sum_{i=1}^n Y_i C_i P_i \quad (7.1)$$

donde:

Q = función valor porcentual asignado a los parámetros (ANEXO C).

P_i = peso asignado a cada parámetro (ANEXO C),

k = constante que toma los valores de la tabla 22

Para cada muestra evaluada se realiza la sumatoria de ponderación de parámetros considerados y es multiplicado por una constante que está relacionada con las características sensitivas de la muestra como: la apariencia y olor del agua (Tabla 22),,

Tabla 22,- Intervalos de peso para aguas con características físicas de contaminación (Conesa, 1993),

PESO	CARACTERÍSTICAS DEL AGUA
1.0	Para aguas claras sin aparente contaminación.
0.75	Para aguas con ligero color, espuma, turbidez aparente no natural
0.50	Para aguas con apariencia de estar contaminadas y fuerte olor
0.25	Para aguas negras que presenten fermentaciones y olores

Los parámetros frecuentemente utilizados son: iones mayores, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos disueltos, en suspensión; compuestos de nitrógeno, fósforo, azufre, pH, dureza, turbidez, conductividad eléctrica, elementos tóxicos y patógenos. Para la evaluación de los índices de calidad del agua (ICA) en el valle del río Turbio se utilizó iones mayores y Fe^{3+} , (CEASG, 1995).

Los índices de calidad del agua (ICA) registrados en la región van de 38 a 100, de donde se desprende que un menor ICA representa una menor calidad del recurso y un mayor ICA es indicativo de mejor calidad del agua subterránea. En el área de estudio, como era de esperarse la menor calidad del agua subterránea se obtuvo en las proximidades de El Río Turbio, El agua con mejor calidad se registra en las periferias del valle, con valores de 90 a 100 (Fig. 7,3),

El mayor impacto a la calidad del agua subterránea se observa entre la ciudad de León y el poblado de San Francisco del Rincón, en donde se presentan valores de hasta 45, La distribución de las zonas de mala calidad de aguas subterráneas está relacionada con la trayectoria del Río Turbio; sin embargo, en zonas de menor calidad al oriente de San Francisco del Rincón, se han reportado fuentes contaminantes activas como por ejemplo una ladrillera y un confinamiento de residuos industriales asociada a la Empresa Química Central.

Otra forma de cuantificar la contaminación del agua subterránea es utilizando el índice de Contaminación (Backman *et al*, 1998), el cual representa la suma de los factores individuales de los componentes que exceden los valores permisibles para contaminación de la NOM-127 (2000) ó en su defecto por la EPA, con éste se puede evaluar y mapear el grado de contaminación del agua subterránea, este método utiliza elementos y especies iónicas que exceden los límites permisibles para la salud humana o valores guía utilizados por la NOM-127 (2000) ó EPA,

El grado de contaminación C_i se realizó para cada muestra analizada, utilizando la base de datos de CEASG (1995), la cual consta de 30 muestras, en donde se determinaron los iones mayores y Fe^{3+} , con un error analítico menor al 5% (ANEXO D).

La evaluación del índice de contaminación se llevó a cabo de la siguiente manera:

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_f \quad (7-2)$$

donde
$$C_{fi} = \frac{C_{Ai} - 1}{N_i} \quad (7.3)$$

C_{fi} = factor de contaminación para el i-ésimo componente

C_{Ai} = valor analítico del i-ésimo componente

C_{Ni} = Concentración superior permisible del i-ésimo componente (N significa valor normativo),

Se puede agregar a la sumatoria todos los elementos y especies iónicas que rebasen los valores de la norma; sin embargo, en nuestro caso, sólo algunas especies iónicas las rebasaron, tales como: Cl^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Na^+ y Fe^{3+} (Fig. 7,4).

Los índices de contaminación registrados en el área, se encuentran en el rango de 1 a 9. A mayor I_c , mayor será la contaminación del recurso. Los índices de contaminación más altos al igual que los de impacto a la calidad del agua subterránea se ubican en la presa de San Germán, en donde alcanza valores de hasta 9, en la parte central del valle se registran valores de 3 a 6 y en la porción sur del valle se tienen valores de 3 a 4.

Como resultado de la evaluación del índice de contaminación, se puede concluir¹ que la influencia del Río Turbio en este proceso es evidente, debido a que la distribución de las áreas con mayor índice de contaminación se encuentran ubicadas en la región norte a lo largo del río en donde actúa como una fuente activa, lineal y permanente. Hacia la parte sur, es una fuente lineal e intermitente, La distribución de cargas contaminantes también se ve incrementada en áreas cercanas al río, en donde son utilizadas para irrigación de zonas altamente vulnerables.

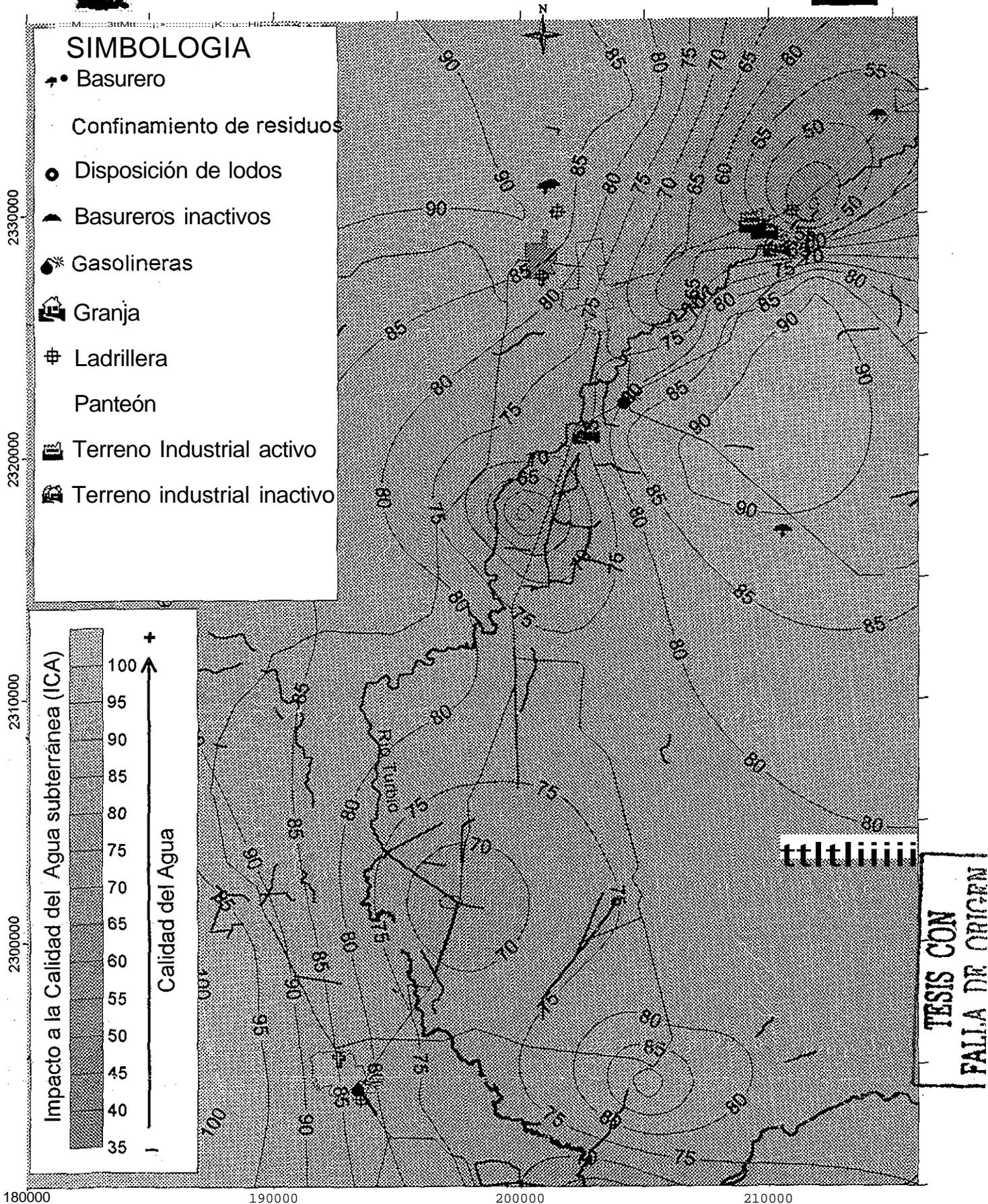


Figura 7.3- Mapa de Impacto a la Calidad del Agua Subterránea (ICA) en el Valle del Río Turbio,

SIMBOLOGIA

- f Basurero
- Confinamiento de residuos
- o Disposición de lodos
- ^ Basureros inactivos
- \$* Gasolineras
- ∧ Granja
- ⊕ Ladrillera
- Panteón
- Terreno Industrial activo
- Terreno industrial inactivo

2330000

2310000

2310000

2300000

Indice de Contaminación



180000

190000

200000

210000

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE GUANAJUATO
 16/06/2005

Figura 7,4 - Mapa de índice de Contaminación (Id) al acuífero en el Valle del Río Turbio. En la zona norte del valle, se registran los valores más altos en las proximidades del Río Turbio.

8. CONCLUSIONES

En el desarrollo de mapas de vulnerabilidad con DRASTIC del presente trabajo, se ha encontrado una serie de limitaciones y deficiencias de éste método.

- > La ausencia de algunos índices en las escalas de puntuación, no es valida debido a que cuando se trata de interpolar de un punto a otro, necesariamente pasara por los índices no considerados en las tablas originales,,
- > El uso de tablas tiene sus limitaciones, cuando se tiene que procesar miles de datos,
- > Las escalas originales de algunos parámetros no son aplicables a escenarios como el Río Turbio debido a que en esta área se rebasan las profundidades originales.
- > La selección de tipos de material que componen el acuífero y la zona vadosa es subjetiva cuando se tiene capas estratificadas,,
- > La escala de conductividad hidráulica tiene un intervalo muy corto y en la realidad se tiene una amplia gama de valores.
- > El parámetro de recarga neta no considera la infiltración de cuerpos de agua superficial que modifican el transporte de contaminantes en la zona vadosa.
- > No se considera el efecto de estructuras lineales (fallas y fracturas) en la vulnerabilidad,

Para reducir las limitaciones del método DRASTIC original se hicieron algunas modificaciones en el presente trabajo.

- > Se utiliza funciones de transformación, las cuales son continuas en las escalas de puntuación de cada parámetro,,
- > Se realizó un ajuste en la escala de la profundidad del nivel estático para incorporar las profundidades presentes en la zona.
- > Para zonas estratificadas se utilizo una media aritmética de materiales ponderados,,

Para la incorporación de la infiltración de aguas superficiales al acuífero aun no se ha encontrado la modificación adecuada.

En el caso de estructuras lineales se propone incorporar el efecto de estas estructuras en el parámetro de conductividad hidráulica,

- > El método de validación de mapas de vulnerabilidad propuesto consiste en la correlación de parámetros con índices parciales, ajuste de intervalos de ponderación de parámetros, análisis de sensibilidad y variabilidad de parámetros, análisis de peso a los parámetros, correlación entre dos diferentes métodos de vulnerabilidad, correlación de concentración de componentes químicos y vulnerabilidad.
- > En la estimación de los índices parciales a diferencia del método original de DRASTIC, en donde se usa tablas de puntuación, se propone el uso funciones de transformación que incluye puntuaciones intermedias no consideradas en las tablas.
- > Se lograron obtener buenos coeficientes de correlación entre los índices parciales y los datos crudos en parámetros como: profundidad del nivel estático, recarga neta, gradiente topográfico, y conductividad hidráulica,,
- > En parámetros como: tipo de acuífero, suelo e impacto a la zona vadosa, solo se realizó una correlación cualitativa, siendo aceptable ésta,
- > Se llevó a cabo un ajuste en los intervalos del DRASTIC para profundidad del nivel estático, debido a que el valor máximo considerado en la metodología original es de

- 30 m y en la zona de estudio, la profundidad del nivel del agua se encuentra por encima de ese valor,
- > El ajuste de los intervalos de índices DRASTIC para profundidad del nivel estático, fue apoyado con frecuencias y se utilizaron intervalos de 0-150 m (rango original x 5) y intervalos de 0-300 m (rango original x 10), de los cuales el reescalado a 5 dio mejores resultados en los coeficientes de correlación..
 - > Para el caso de Río Turbio, se propone un ajuste en la escala para profundidades del nivel estático, el ajuste de escala para profundidades fue apoyado con un análisis de sensibilidad, variabilidad y peso. En el cual antes del ajuste de la escala original para profundidad del nivel estático, el impacto a la zona vadosa fue el parámetro con mayor sensibilidad y variabilidad que el resto de los parámetros.
 - > Una vez realizado el ajuste en la escala para profundidad del nivel estático, los de mayor sensibilidad y variabilidad corresponden a la profundidad y zona vadosa, además hay una mejor correlación entre la variabilidad de éstos y su influencia esperada. La menor variabilidad y sensibilidad corresponde al gradiente topográfico y conductividad hidráulica, ésta última originalmente se encontraba sobrevaluado.
 - > Después de ajustar la escala original para profundidad del nivel estático los pesos calculados se aproximan más a los asignados,,
 - > Este estudio confirma que el Valle del Río Turbio está formado por un graben, el cual se encuentra relleno en la zona norte por un paquete sedimentario compuesto por arcillas, arenas y gravas, y en la parte sur por rocas volcánicas,
 - > En esta investigación se reporta por primera vez que la zona sur está separada hidráulicamente de la norte por una falla con orientación NE-SW. Esto se refleja en un mayor contenido de cloruros en la zona norte que en la zona sur,;
 - > Para el método AVI los valores altos de vulnerabilidad se presentan principalmente a lo largo del Río Turbio y los valores bajos se ubican en la Mesa del Palenque y hacia Nuevo Mexiquito en donde se reportan paquetes arcillosos de origen lacustre.
 - > Las tendencias para cloruros, sólidos totales y sulfatos, reflejan las zonas más vulnerables definidas por DRASTIC* y AVI, por las cuales cruza el Río Turbio.
 - > Se tiene una buena correlación entre los métodos AVI y DRASTIC*, en zonas con alta vulnerabilidad DRASTIC* los índices de AVI son bajos (log c)
 - > Se pudo establecer una buena correlación entre los mapas de vulnerabilidad y la concentración de componentes hidrogeoquímicos.
 - > La mayor cantidad de fuentes potencialmente contaminantes se encuentra en zonas altamente vulnerables, por lo que el riesgo de contaminación es alto.
 - > La infiltración de aguas residuales utilizadas para irrigación del Río Turbio y las presas de San Germán y Silva constituyen una fuente importante de recarga,
 - > La explotación de los acuíferos en el Valle del Río Turbio ha generado problemas de impacto ambiental relacionados al agua, tales como: disminución del flujo base, modificaciones en el flujo subterráneo y modificación de la calidad del agua subterránea.
 - > Evidencias del impacto en la tendencia negativa de la calidad del agua en el sistema acuífero debido a la alteración del sistema hidrodinámico se observan en las baterías de La Muralla y en uno de los pozos de la batería del Valle del Río Turbio, en donde

los cloruros han disminuido y la calidad del agua subterránea cada vez se asemeja más al agua meteórica, que tiene bajas concentraciones en este ion.

- En el área de estudio, el menor índice de Calidad del agua Subterránea (ICA) se obtuvo en las proximidades del Río Turbio. El agua con mejor calidad se registra en las periferias del valle, con valores de 90 a 100.
- Los índices de contaminación y el mayor impacto a la calidad de! agua subterránea se ubican en la presa de San Germán, en donde alcanzan valores de hasta 9 y en la parte centra] del valle se registran valores de 3 a 6, finalmente en la zona sur del valle se tienen valores de 3 a 4.,

RECOMENDACIONES

Dado que se identifican dos áreas con diferente calidad del agua subterránea en el Valle del Río Turbio, se recomienda establecer una red de monitoreo en la zona sur del valle, para conocer su evolución, debido a que el Río Turbio atraviesa zonas vulnerables en esta zona,

Algunos pozos cercanos al Río Turbio presentan evidencias de contaminación, se recomienda el tratamiento de las aguas residuales que transporta el Río Turbio.

BIBLIOGRAFÍA

- Albinet M & Margat 1970, *Cartographie de la Vulnérabilité à la Pollution Des Nappes D'eau Subterreine, Orleáns, Frunce*. Bull BRGM 2^{ème}, serie, 4: 13-22 pp.,
- Aller, L. T. Bennet, J. H. Lehr, R. I. Petty, and G. Hackett, 1985. *DRASTIC; A Standard System for Evaluation Groundwater Pollution Using Hydrogeologic Setting*, EPA/600/2-85/018 US EPA.
- Armienta Hernández, M. A. 1993, *Contribución al Estudio de los Mecanismos de Transporte del Cromo en el Acuífero de León, Guanajuato*. Ph. D. Tesis Instituto de Geofísica, UNAM,
- Armienta Hernández, M. A., Rodríguez Castillo, R, Cenicerros N., Juárez F, y Cruz O., 1996. *Distribution, Origin and Fate Soils in Guanajuato México*. *Environmental Pollution*, Vol. 9, No, 3,391-397 pp.,
- Armienta Hernández, M. A, Morton, O., Rodríguez Castillo, Cruz O, R., Aguayo, A., Cenicerros N. 2001. *Chromium In a Tannery Wastewater Irrigated Area, León Valley, México*, Bull. Environ. Contam, Toxicol, 66: 189-195 pp.
- Back, W, Hanshaw, B.,, 1970., *Comparison of Chemical Hydrogeology of the Carbonate Penínsulas of Florida and Yucatán*, Journal of Hydrology, 10, 330-368 pp.,
- Backman, B., Bodis, D., Lahermo, P., Rapant, S & Tarvainen, T., 1998, *Application of a Groundwater Contamination Index in Finland and Slovakia*, *Environmental Geology*, 36 (1-2), 55-64 pp.,
- Bencini, A., Ercolaneli, S., Sbaragli, A., & Venuchi, C. 1993. *Groundwater of Florence (Italy): Trace Element Distribution and Vulnerability of the Aquifers*, *Environmental Geology*, 22: 193-200 pp.
- Boulding, R.J. 1995., *Soil Vadose Zone and Groundwater Contaminación, Assessment, Prevention and Remediation*. Lewis Publishers., 948 pp.
- Canter, L.W.. 1985., *Methods for Assessment of Groundwater Pollution Potential, In Groundwater Quality*, G.H. Ward., W. Geiger & P.L. McCarty., Eds, (New York: John Wiley & Sons, Inc.), 270-306.
- CEASG, 1998., *Seguimiento al Estudio Hidrogeológico y Modelo Matemático del Acuífero del Valle de Río Turbio, Gto.* Contrato CEASG-APA-GTO-97-Q2. Estudio realizado a contrato por GEOPSA,
- CEASG, 1999, *Estudio Isotópico para la Caracterización del Agua Subterránea en la Zona de La Muralla, Guanajuato*. Contrato CEASG- estudio realizado a contrato por¹ Instituto de Geofísica-UNAM,
- CEASG, 2000., *Estructuración de Mapas Temáticos de índices de Vulnerabilidad de las Subcuencas de los Ríos Turbio y Guanajuato*. Reporte Técnico, 150 pp, México., Estudio realizado a contrato por la Universidad Iberoamericana, Campus León,
- CEASG, 1995, *Resultados de los Análisis Físicoquímicos y Bacteriológicos realizados dentro del Valle del Río Turbio*, Estudio realizado a contrato por¹ Ingeniería Geológica Computarizada SA de C.V.,

- Civita M, y De Maió, 1997 SINTACS. *Un Sistema Parametrico per la Valutazione e la Cartografia della Vulnerabilit  Degli Acquiferi AWinquinamento, Metodologia & Automatizzazione* Pitagora Editrice Bologna pp 191
- Civita M., Chiappone A, Falco M and Jane P., 1990. *Preparazione Della Carta Di Vulnerabilita per la Rilocalizzazione di un Implanto Pozzi DelVAcquedotto Di Torino*. Proc. Ist. Conv. Naz. "Protezione e Gestione delle acque sotterane: Metodologie, Tecnologie e Obiettivi" Mor ano sol Panero V 2 pp 461-462.,
- CNA-BGS-UACH-SAPAL, 1996. *Effects of Wastewater Reuse on Urban Groundwater Resources of Mexico*. BGS Technical Report WD/95/64,
- Conesa, F., 1993, *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental* Ediciones Mundi.Prensa., pp, 276.,
- Cortés S Alejandra y Ramos Leal J A., 1999. *Isótopos Ambientales y Correlaciones de Patrones de Flujo, en la Región de Silao Romita, Guanajuato*, Memorias Seminario Estatal de Investigación Sobre el Agua; Desafío del Agua en Guanajuato hacia el 2000, Instituto de Geofísica, UNAM; Cd. de León, Gto., del 24 de Agosto de 1999,
- Cortés S., Alejandra, Ramos Leal JA., Ramírez G, Alejandro, Cruz C, J. Luis, Johannesson H. Kevin, 1999, *Environmental Isotopes And Flow Patterns Correlation, In The Silao Romita, Región, Guanajuato* Proceeding AGU San Francisco California,
- Cortés S. Alejandra, Ramos Leal JA , Durazo Lozano, J , Ramírez G, Alejandro; Cruz C, J Luis, Johannesson H, Kevin, 2000., *"Mixing Dilution Process With geothermal Fluids in Groundwater of la Muralla, Guanajuato México*, Proceeding, GSA Reno, Nevada.
- Cortés S. Alejandra, Ramos Leal JA., Durazo Lozano, J., Ramírez G, Alejandro, Cruz C. X. Luis, Johannesson H Kevin, 2000., *"Isotopic Conceptual Groundwater Model of La Muralla, Guanajuato"* Proceeding, American Geophysical Union (AGU), San Francisco California
- Crema, G., Milli, M., Napoleone, G, & Tiberi, P. 1998, *Vertical Vulnerabilty Evaluation of Middle-low Esino River valley Alluvial Aquifer (Marche, Italy)*. Environmental Geology, 34 (2/3), 88-94 pp.
- De Marsily G., Combes P And Goblet P, 1992 *Comment on "Ground Water Models Cannot be Validated"* by Konikow L. And Bredehoeft J, Advances in Water Resources Vol 15, 367-369 pp.,
- Dettinger M., 1989. *Reconnaissanee Estimates of Natural Recharge to Desert Basins in Nevada , USA, By Using Chloride-Balance Calculations.*, Journal of Hydrology, 106,55-78 pp.,
- Doerfligei, Jeannin & Zwanhlen. 1999, *Water Vulnerability Assessments: A New Method of Defining Protecting Areas Using a Multi- Attribute Approach and GIS Tool EPIK Method*. Environmental Geology 39 (2), 165-176 pp.

- Durazo J y Farvolden R., 1988 *Estudio para Evitar la Contaminación del Acuífero del Valle de México*, Contrato CAVM 85-406, Reporte técnico 170 pp., Instituto de Geofísica-UNAM .
- Durazo Lozano, J., Alejandra Cortés, Ramos Leal, J.A , Alejandro G. Ramírez and Johannesson Kevin 2000a. "*hotopic Identification of Deep Sources in Well Water*". The Geological Society of America (GSA), Proceeding. Annual meeting and exposition . Reno, Nevada,,
- Durazo Lozano, J, Alejandra Cortés, Ramos Leal, J A., Alejandro G. Ramírez and Johannesson Kevin., 2000b, *hotopic Identification of Deep Sources in Well-Water*, Reportes Internos 2000-8, Instituto de Geofísica, UNAM. Some Bxtraexplanation ToThe2000GSA,PosterNo 50890
- Flavelle P, 1992 *A Quantitative Measure of Model Validation and its Poptential Use For Regulatory Purposes* Adv. in Water Resources vol 15, 5-13 pp.
- Foster, Stephen and Híata, Ricardo,, 1991, "*Determinación del Riesgo de Contaminación de Aguas Subterráneas*". Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Lima, Perú,, 81 pp.
- Gaona, V., S., Gordillo De A., T, & Farvolden, R. 1985. *Quality of Water in a Aquifer andits Manifestation in Pumping Wells*, Journal of Hydrogeology, no 78, 165-181 PP
- Gogu R, C. and Dasargues A, 2000a, *Sensivtiivity Analysis for the EPÍK Method of Vulnerability Assessment in a Small Karstic Aquifer, Southern Belgium* Hydrogeol Jour., Vol 8 no. 3, 337-345 pp.
- Gogu, R, C, Y Dessargues, A., 2000b *Current Trend and Future Changes in Groundwater Vulnerability Assessment Using Overia y and Index Methods*, Enviromental Geology, 39 (36), Abril.
- Gross, WH., 1979. *New Ore Discovery and Source of Silver-Gold Veins, Guanajuato, México*, Economic Geology, v 70, pp. 1175-1189,
- Gustafson D. I, 1989 *Groundwater Ubiquity Score,: A Simple Method for Assessing Pesticide Leachability*, Environmental Toxicology and Chemistry V 8 pp 337-357,
- Haertlé, T, 1983 *Method Of Working And Employment Of EDP During The Preparation Of Groundwater Vulnerability Maps*, In *Groundwater In Water Resources Planning*, UNESCO, ÍNTER., SYMP, Proa Koblenz, Alemania, 1983, UNESCO/IAH/IAHS Vol H, 1073-1085 pp.,
- Haguerty, D, Paavoní, L & L, Heer, J., 1973 *Solid Water Management*. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Hantush, M, S., 1956 *Análisis of Data from Pumping Test in Leaky Aquifers*,. Trans. Amer: Geophys, Union, 37, 702-714.,
- Hernández Laloth, Noel, 1991, *Modelo Conceptual del Funcionamiento Hidrodinámico del Sistema Acuífero del Valle de León, Guanajuato*, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM, Inédita,

- Herrera, I., Medina, R., Canillo, I, y Vásquez E., "Diagnostico del Estado Presente de las Aguas Subterráneas de La Ciudad De México y Determinación de sus Condiciones Futuras", DGCOH, DDF, Contrato 3-33-1-0689, (2 tomos) UNAM, Instituto de Geofísica, 1994.
- Hirata, R. y Reboucas, A., 1999. *La Protección de los Recursos Hídricos Subterráneos, Una Visión Integrada Basada en Perímetros de Protección y Vulnerabilidad de Aeríferos.* Boletín Geológico Minero. Vol, 110-4 Año 1999 (423-436),.
- Hirata, R., Bastos, C, Rocha, G, Irritan, M. & Gomes, D, 1991., *Groundwater Pollution Risk Vulnerability Map Of Sao Paulo State - Brazil* Water Science Tech., 24: 236-246 pp,
- Holman, I.P., Palmer, RC. & Leonaviciūtė, N, 2000., *Using Soil and Quaternary Geological Information to Assess the Intrinsic Groundwater Vulnerability of Shallow Aquifers: an Example from Lithuania*, Hydrogeology Journal, V, 8, No, 6.
- INEGI, 1997, *Carta Topográfica, Edafológica*, Escala 1:50000, F14-C41, F14-C51,
- Johannesson Kevin, Alejandra Cortés, José Alfredo Ramos L, Alejandro G., Ramírez and Taimé Durazo. 2000? "Geochemistry of Rare Earth Elements in Groundwaters From a Rhynchonellifer, Central México" Enviado a **Geochimica et Cosmochimica Acta** tinerode2001.
- Tohannesson Kevin, Alejandra Cortés, Ramos Leal, JA., Alejandro G. Ramírez and Jaime Durazo. 2000 *Rock Like Versus Seawater-Like Rare Signatures of Groundwaters*, GSA, Proceeding., Annual meeting and exposition., Reno, Nevada,
- Keller, B., 1994, *Water Characterization for Environmental Hydrogeologic Monitoring in Fault Zones: Examples from California, Potential Applications in Chile*, Journal of South American Earth Science, V., 7., Nos., 3/4. 295-300.,
- Kim, Y.J. & Hamm, S.Y. 1999., *Assessment of the Potential for Groundwater Contamination Using the DRASTIC/EGIS Technique*, Cheongju área, South Korea., Hydrology Journal, V., 7, No. 2.
- Knox, Robert, Sabatini, David, Canter, Larry, 1993., *Subsurface Transport and Fate Processes*. Lewis Publishers, 430 pp.,
- Konikow L, and Bredehoeft J., 1992. *Ground Water Models cannot be Validated.*, Advances in Water Resources Vol 15, 75-83 pp,
- Le Grand, H., 1964., *System For Evaluating Contamination Potential For Some Waste Sites*. American Water Works Association Journal., Vol, 56 (8): 959-974.
- h& Grand, H., 1983. *A Standardized System For Evaluating Waste Disposal Sites*. NWWA, Worthington, OH: 49 pp.,
- Leonards, G.A., 1962, Engineering properties of soils. In G.A., Leonards (ed.) *Foundation Engineering*, McGraw-Hill, New York, p. 66-240.
- Lermo, J., Nieto Obregón, J, & Zermeno, M., 1996., *Faults and Fractures in the Valley of Aguascalientes: Preliminary Microzonification*. Proceeding, Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Paper No, 1651,

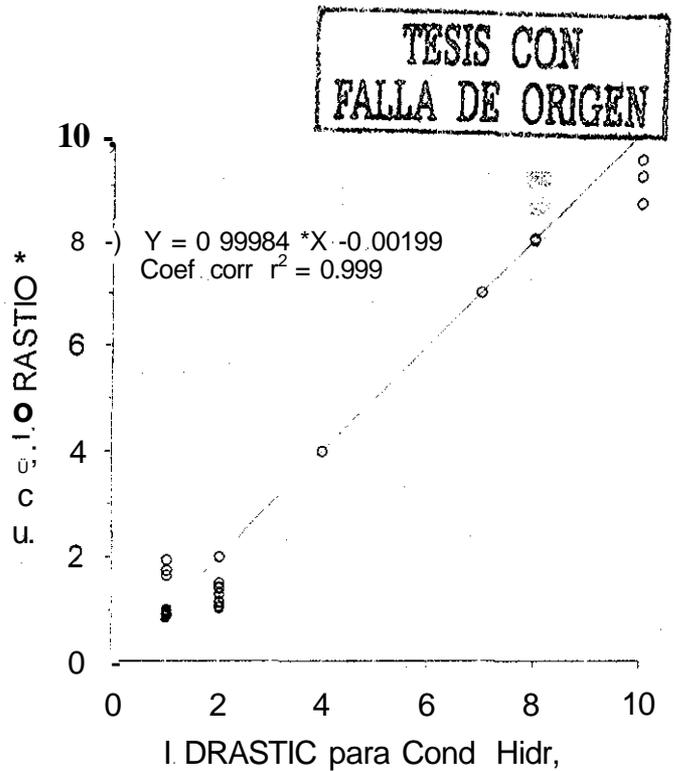
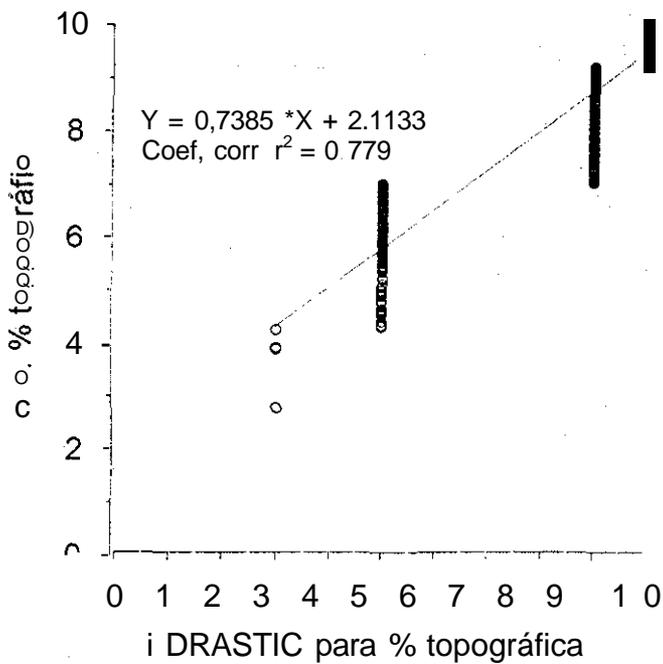
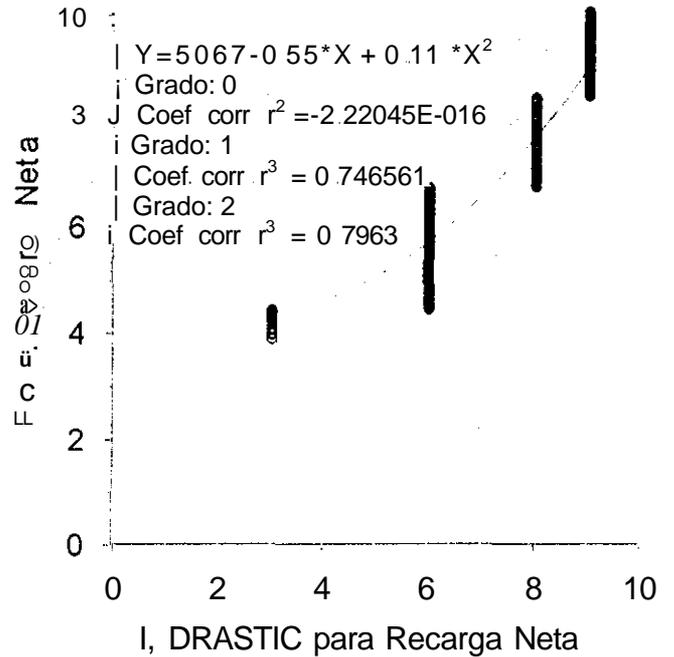
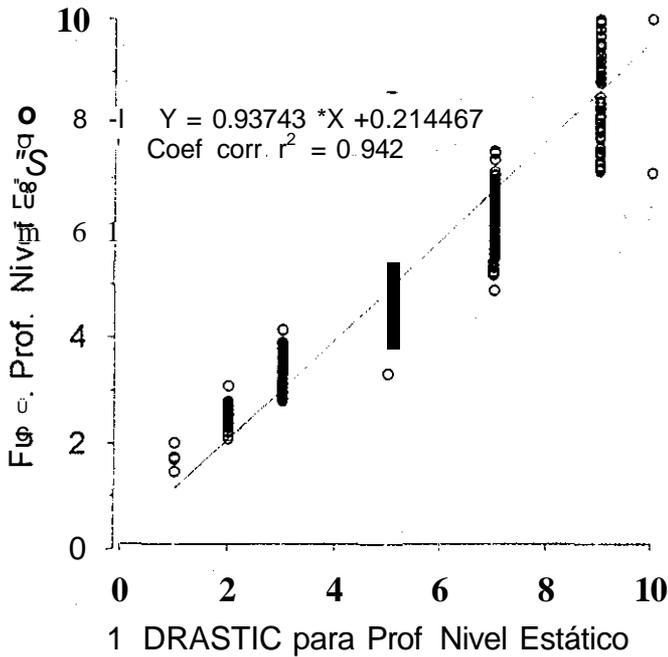
- Lesser, J.M, Weidie, A.E., 1988., Región 25, *Yucatán Peninsula* Chapter 28 en The Geology of North America Vol., 0-2, Hydrogeology, The Geological Society of America, 1988.237-241,
- Lodwick W. A., Monson W. And Svoboda L, 1990. *Attribute Error and Sensitivity Analysis of Maps Operation in Geographical Information Systems - Suitability Analysis.*, Int Jour. Geog. Infó. Syst. Vol 4 413-428 pp.
- Marsal, R. X. y Mazarí M., 1969; *El Subsuelo de la Cd de México*, 2nd ed, Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos y Cimentaciones., Fac, De Ingeniería, UNAM, México D. F.
- Martínez Reyes, X., 1992, *Mapa Geológico de la Sierra de Guanajuato*, Escala 1:100 000,
- Martínez-Reyes, .I., 1989., *Síntesis Geológica de la Sierra de Guanajuato*, Serie cartas Geológicas y Mineras del Instituto de Geología, UNAM México, D.F.
- Napolitano P. And Fabbri A, G., 1996; *Single Parameter Sensibility Analysis fot Aquifer Vulnerability Assessment Using DRASTIC and SINTACS in Kova K and Nachtnebel H. P.* (eds) Proc, HydrolGis Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Watyet Resources Management, IAHS Publ, 235 pp. 559-566.
- Nieto Samaniego, A., F., 1990. *Fallamiento y Estratigrafía Cenozoicos en la Parte Sudoriental de la Sierra de Guanajuato*: Univ. Nal, Auton., México, Instituto de Geología, Revista, v. 9, p. 146-155.,
- Nieto Samaniego, A., F., García Dobarganes, X. E., y Aguirre Ámese, A. L. 1992. *Interpretación Estructural de los Rasgos Geomorfológicos Principales de la Sierra de Guanajuato*. Instituto de Geología, Revista, v., 10, No, 1,1-5 pp.
- Nieto Samaniego, A. F, Macías Romo, C y Alaniz Alvarez, S, A. 1996 *Nuevas Edades Isotópicas de la Cubierta Volcánica Cenozoica de la Parte Meridional de la Mesa Central, México*: Univ Nal, Auton, México, Instituto de Geología, Revista, v, 13, No 4,117-122 pp.
- Nieto Samaniego, A, F., Ferrari Luca, Alaniz Alvarez, S, A., Lábarthe Hernández, G, y Rosas Elguera, J. 1999. *Variation of Cenozoic Extensión and Vulcanism Across the Southern Sierra Madre Occidental Volcanic Province, Kfexico*: GSA Bull., v 111, No., 3, 347-363 pp.
- Neumann, S.P, 1975. *Analysis of Pumping Test Data from Anisotropic Unconfined Aquifers: Considering Delayed Gravity Response*, Water Resources Research, 11, 329-342.
- Office of Technology Assessment (OTA), 1984, *Protecting the Nation's Groundwater from Contamination, Vols., I and II OIA-0-233 and OTA-0-276*. OTA, Washington DC. (Chapter 2 of Volumen I and Appendix A of Volume Ufe-cus on ground-water contamination and its impaets).
- Pasqure, G, & Zanchi, A., 1985. Cenozoic Volcanism and Tectonics in Western-Central México, Rend, Accad, Naz, Lincei, 95,1-9.,

- Quintero, O., 1986 *Geología de los Alrededores de Comanja de Corona, Edo. de Jalisco*, Memorias Primer Simposio de Geología regional de México IG-UNAM.
- Ramírez G. Alejandro, Cortés S. Alejandra, Ramos Leal, J.A., Cruz C. I. Luis, Johannesson H, Kevin, 1999., *A Geologic And Hydrodynamic Conceptual Model From Northern Guanajuato, México*, Proceeding, AGU, San Fransisco, California,
- Ramírez G. Alejandro, Cortés S. Alejandra, Ramos Leal, JA., Íohannesson H. Kevin, Cruz C. I, Luis, 2000, *Relationship Between Structural Subsoil System And Hydrodinamic, Functioning Of The La Muralla, Guanajuato State, México.*, GSA. Proceeding., Annual meeting and exposition, Reno, Invada.
- Ramos Leal, J. A 1997 "*Metodologías de Impacto Ambiental*", Trabajo de Investigación, Posgrado en Ciencias, UNAM-Inst. Geofis. Inédito.,-^
- Ramos Leal; I. A, 1998a., "*Análisis del Papel Contaminante del Área del Panteón Metropolitano y del Basurero de San Lorenzo*", Trabajo de Investigación, Posgrado en Ciencias, UNAM-Inst., Geofis, Inédito.
- Ramos Leal, J. A. 1998b, "*Diagnóstico de Impacto Ambiental en Sitios con Fuentes Contaminantes Potenciales o Activas en la Cuenca de México*", Memorias, 1er, Seminario del Posgrado en Ciencias de la Tierra., Instituto de Geofísica, UNAM.
- Ramos Leal, I. A.,, Rodríguez Castillo, R, 1998, "*Análisis de Vulnerabilidad del Sistema Acuífero, del Valle de Río Turbio, Estado de Guanajuato*", Proceeding, 4º Congreso Latinoamericano de Aguas Subterráneas, ALSHUD, Montevideo, Uruguay.
- Ramos Leal, I, A.,, Rodríguez Castillo, R. 1999, *Validación de Esquemas de Vulnerabilidad Acuífera en el Río Turbio*. Memorias., Seminario Estatal de Investigación Sobre el Agua; Desafío del Agua en Guanajuato hacia el 2000, Instituto de Geofísica, UNAM; Cd de León, Gta.
- Ramos Leal, J. A. 1999a "*Basureros y Vulnerabilidad de los Acuíferos*", Memorias, Seminario Ambientales con el Trabajo en la Universidad Michoacana de San Nicolás, Morelia, Michoacán, México,
- Ramos Leal, J. A., 1999b. *Vulnerabilidad Acuífera y Fuentes Potenciales de Contaminado?!. El Basurero y Panteón de San Iupgmzo, en la Cuenca de México*, Memorias Segundo Congreso Nacional de Aguas Subterráneas, Ciudad de Aguascalientes,
- Ramos Leal, I.A.,, Ramiro Rodríguez Castillo, and Martín A. Valadez, 1999 *Aquifer Vulnerability Mapping and Urban Planning*. Proceeding. AGU., San Francisco, California.
- Ramos Leal, T. A, 2000, *Esbozo y Validación de Mapas de Vulnerabilidad, Tlaloc-AMH*, Asociación Mexicana de Hidráulica, año VE, No.,:19, Julio-Septiembre 11-13 pp.
- Ramos Leal, J. A , and Rodríguez C. R *Validation Altematives for Aquifer Vulnerability Mapping The Turbio River Valley, México*, Enviado **Geofísica Internacional**, Enero de 2002.

- Ramos Leal, I, A., Cortés Silva, A., Johannesson, Kevin, Ramírez HA, and Durazo Lozano, I. "Mixing - Dilution Process in Geothermal Fluids in La Muralla Groundwater" Enviado **Journal of Hydrology**, Mayo de 2001.
- Ray, R. & Fisher, W., 1960. *Quantitative Photography: A Geology Research Tool*. Photogrammetric Engineering, V, 26, No, 1,
- Ray, JA, & O'dell, PW. 1993, *Diversity: A New Method for Evaluating Sensitivity of Groundwater to Contamination*. Environmental Geology, 22: 345-352.
- Reyes Gutiérrez, R., 1998, *Factores que Controlan la Dispersión de Compuestos de Cromo en un Acuífero de Conductividad Variable*, Tesis de Maestría, Instituto de Geofísica, UNAM, 220 pp.
- Ryckborst, Hans. 1981. *Temporary Hydrologic Changes After Deforestation for Pioneer Homesteading*, Journal of Hydrogeology, 53, 117-133 pp.
- Robles Camacho, J, And Armienta Hernández, M. A., 2000, *Natural Chromium Contamination of Groundwater at León Valley, México*, Journal of Geochemical Exploration, 68, 167-181 pp.,
- Rodríguez Castillo, R., y Armienta Hernández, M.A.. 1995., *Groundwater Chromium Pollution In The Río Turbio Valley, México: Use of Pollutants as Chemical Tracers*. Geofísica Internacional. 417-426 pp.
- Rodríguez Castillo, R, González Moran, T y Armienta Hernández, M A., 1996, *Rutes of exposure and Urinary Chromium contents in different Chromium environments*, Environmental Pollution-ICEP,3, 572-577 pp.
- Rodríguez Castillo, R., Ramos Leal, J A, Mejía, I, A. 1999. *Geological and Hydrogeological Controls Over Organic Compounds Groundwater Pollution, its Implication in the Urban Water Supply of Salamanca, Gto México*. Proceeding, AGU. San Fransisco, California.,
- Rodríguez Castillo, R., Ramos Leal, JA., Reyes Gutiérrez, R., & Rosales, J. *Aquifer Vulnerability Assessment in Faulted Areas*, Enviado a Journal of South American Earth Science.
- Rodríguez, C, R y Ramos Leal, í A, 1997. *Inventario de Sitios Contaminados en la Zona Metropolitana de la Cuenca de México, ZMCM Criterios de Selección de Áreas Piloto*, Memorias en el Marco del Programa de Cooperación Técnica México-Japón, Seminario Internacional Sobre Restauración de Sitios Contaminados. México, pp, 101-105,
- Ronneseth, K., Wel, M & Gallo, M. 1995, *Evaluating Methods of Aquifer Vulnerability Mapping for the Prevention of Groundwater Contamination in British Columbia*, In Proceedings,
- Rosen L., 1993. *A study of the DRASTIC Methodology with Emphasis on Swedish Conditions* Ground Water Vol 32 Num 2, 278-285 pp.,
- Salama, R.B., Farrington, P, Bartle, G.A. & Watson, G.D.. 1993 *Distribution of Recharge and Discharge Areas in a First-Order Catchment as Interpreted from Water Level Patterns*. Journal of Hydrology, 143, 259-277'.

- SAPAL-IGEOF, 2001, *Estudio Isotópico e Hidrogeoquímico de La Zona Leon-Rio Turbio, Guanajuato*, Reporte Técnico. 78 pp, estudio realizado a contrato por Instituto de Geofísica-UNAM,
- SARH, 1969., *Estudio Geohidrológico Formal en la Zona del Valle de León y Río Turbio, Gto.* Informe Técnico il. Estudio realizado a contrato por Ariel Construcciones, S. A. (ACSA),
- SARH, 1991. *Estudio Hidrogeoquímico y Modelación Matemática del Acuífero del Rio Turbio para Definir las Acciones Encaminadas a Proteger de Contaminantes la fuente de Abastecimiento de la Ciudad de León* Contrato, No, CC-88-306-D, Informe Técnico, Estudio realizado a contrato por la UNAM-Instituto de Geofísica
- SARH., 1982. *Estudio Geohidrológico Cuantitativo de la Cuenca de Rio Turbio Edo. de Guanajuato*, Informe Técnico il. Estudio realizado a contrato por Ariel Construcciones, S. A. (ACSA).
- SARH., 1979. *Actualización del Estudio Geohidrológico del Valles del Rio Turbio, Edo., de Guanajuato*, Contrato No. Gza-82-44-EG. Informe Técnico il. Estudio realizado a contrato por Geohidrológica Mexicana, S. A.
- SEMARNAP, CNA, 1997. Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua.
- Silva García, í T y Ramos Leal, i A., 1998a, "*Elementos de Vulnerabilidad de Acuíferos, para la Protección de Manantiales, Caso Lago de Camecuaro, Michoacán*", Memorias. Unión Geofísica Mexicana, Congreso Anual, Puerto Vallarta, Jalisco, México,,
- Silva García, IT., Ramos Leal, JA.,, 1998b, *Marco Hidrogeológico Regional y Vulnerabilidad Acuífera del Lago de Camecuaro (Parque Nacional), Michoacán*. Informe Técnico CUDIR-Michoacán, IPN
- Silva García, J.T , Ramos Leal, JA., Rodríguez Castillo, R., Mondragón G., R , 2000 *Vulnerabilidad Acuífera y Parametrización Geoeléctrica del Subsuelo de la Empresa Cobre de México, S,A de C V*, Informe Técnico, CIEDIR-MICH, IGEOF-UNAM
- Silva García, J.T., Ramos Leal, J A., Ochoa Estrada, S., 1999. *Estudio Geológico para la Ubicación del Relleno Sanitario del Municipio de Zamora, Michoacán*. Informe Técnico, CDDIR-Michoacán, EPN,
- Toth, J., 2000. *Las Aguas Subterráneas Como Agente Geológico: Causas, Procesos y Manifestaciones*. Boletín Geológico y Minero. Vol. 111-4, 9-26.
- Trujillo Candelaria, 1999. *Fallamiento De Terrenos por Sobreexplotacion de Acuíferos, Caso Celaya*, Memorias,, Seminario Estatal de Investigación Sobre el Agua; Desafío del Agua en Guanajuato hacia el 2000, Instituto de Geofísica, UNAM; Cd. de León, Gto.
- Ture, L, 1955, *Le Bilan D'Eau Des Sois Relations Entre Les Precipitations, L'Evaporation Et L'Ecoulement* Ann. Agio., 5-131

- Theis, C.V., 1935. *The relation between the Lowering of the Potenciometric Sur face and the Rote and duration of Discharge ofa Well Using Groundwater Storage*. Trans. Amer. Geophys., Union, 2, 519-524,
- U.S. Enviromental Protection Agency (EPA). 1990, *Groundwater Handbook*, Vol. I: Groundwater and Contamination. EPA/625/6-90/016a.
- Van Stempvoort, D., L., Ewert and L Wassenaai, 1995., *AVI; A methodfor Groundwater Protection Mapping in the Praire Province of Canadá*, PPWB Report No, 114, National Hydrology Research Institute, Saskatoon Saskatchewan, Canadá.
- Vrba, J., and Zaporozec, A., 1994, *Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability*, International Association of Hydrogeologists. Vol, 16,1.31 pp,
- Wilson Albert, R.,, 1991 ⁱⁱ*Enviromental Risk Identification and Management*, Lewis Publisher Inc..

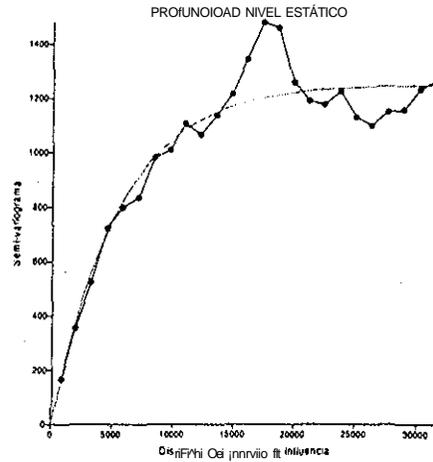


ANEXO A. Correlación de índices de vulnerabilidad obtenidos de tablas y los resultantes de las funciones de transformación para los parámetros; a) Profundidad del Nivel Estático, b) Recarga Neta, c) Gradiente Topográfico y d) Conductividad Hidráulica

ANEXO B

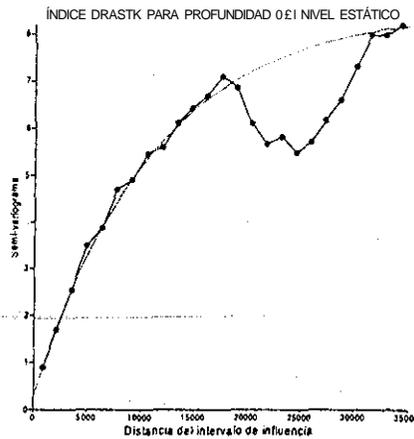
Datos del modelo geoestadístico exponencial para profundidad del nivel estático del Valle del Río Turbio,,

Modelo	Exponencial
Escala	1250
Longitud	10000
Anisotropía	264



Datos del modelo geoestadístico exponencial para el índice DRASTIC de profundidad del nivel estático del Valle del Río Turbio,,

Modelo	Exponencial
Escala	82
Longitud	11000
Anisotropía	1
Varianza de error del efecto nugget	02
Micro varianza	01



ANEXO Ta, 8 aprovec... s hidr... (CE, 1999).

X (UTM)	Y (UTM)	No. Pzo	Ca (mg/L)	SO4 (mg/L)	CO3 (meq/ (mg/L)	C8 (meq/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Fe (mg/L)	SUMA CAT10	SUM A 6N	ERROR
188220	227320	514	0.0822	0.18120	28236	1.44	38517	08436	0.2428	0.0022	2.22	2.22	0.022
1001	227320	509	0.0863	0.18278	6.578	2.22	22197	1.1395	0.82422	0.0025	8.74	8.74	0.0208
1000	227320	509	0.45238	2.45676	7.8259	4.84	28568	2.0717	0.2342	0.0027	10.88	10.88	0.0205
188200	2273780	107	0.11263	0.23542	0.2	0.98	1.126	0.2405	0.1242	0.0021	0.21	0.26	4.0227
196321.5	2280475	593	0.00993	3.9673	8.7279		0.2417	8.4238	0.1722	0	7.29	7.29	-0.0402
202463.7	2289179	057	1.21127	16.5373	7.1217	3.52	18538	17.018	0.57092	0.0023	24.77	24.77	-0.0202
206U00	2284000	662	0.0566	0.22542	2.5228	0.18	0.3567	2.1633	0.151	0.0028	2.86	2.86	0.0202
206270	227707	688	0.1496	7.779	8.8218	1.8	1.175	1.8937	0.3722	0.0102	8	8.02	-0.0201
201U00	2020400	29	0.1458	0.85567	4.500	2.2	0.2	1.7217	0.2172	0.0005	4.52	4.82	-0.0277
201700	2283500	22	0.2286	0.8217	4.8218	1.94	0.1528	8.8218	0.2227	0	5.18	5.26	-0.0202
196700	2273600	98	0.0845	0.526	5.8226	2.4	1.728	2.1768	0.2222	0.0022	8.53	8.52	0.0202
10788.2	2270480	800	0.0881	0.5778	4.129	1.2	0.223	3.1221	0.1222	0.0022	4.22	4.22	0.0202
188200	2280000	879	0.1548	0.2263	0.2255	0.82	0.128	0.5748	0.02427	0.0122	1.1	1.02	0.0202
iy/o 00	2271700	821	0.08052	4.4226	1.5422	2.4	0.5226	1.5768	0.2224	0.0021	15.2	15.72	0.0202
204040	2274000	184	0.2262	2.88468	5.8222	2.4	1.212	4.2221	0.3227	0	8.2	8.22	-0.0202
JU18900	2279000	109	0.7222	1.52675	5.1222	8.88	0.22	8.9478	0.2226	0.0021	7.88	7.82	0.0231
1988/70	227034	86	4.7828	1.1225	8.1227	8.2	1.2	3.222	0.24215	0.0022	12.1	12.2	0.0202
2001500	2271720	212	10.9451	2.2223	7.2222	8	8.9228	9.9028	0.2222	0.0042	21.42	21.72	0.0202
199900	2272800	24	1.8823	1.4228	8.8116	3.8	1.2228	8.7228	0.2222	0.0022	11.51	11.42	0.0202
204241.4	2270704		0.1222	0.8226	8.9224	2.88	0.82	0.722	0.8822	0.0022	4.21	4.22	0.0202
206700	2280500	8	0.8882	1.2228	4.1222	1.22	1.2228	4.2022	0.1222	0	8.22	8.82	-0.0202
206690	2280000	72	6.2222	2.2228	7.9228	8.2	2.222	1.822	0.88888	0.0022	15.14	15.22	0.0202
211665.8	2272200	228	2.1221	8.2221	2.2208	2.22	7.42	6.222	0.4422	0.0022	8.72	8.208	0.0202
211900	2272700	42	0.0266	0.2226	4.222	2.4	1.2028	1.9220	0.2222	0	4.22	4.22	0.0202
201100	2273700	40	1.3208	0.82217	4.8222	8.52	1.1222	1.122	0.2222	0.0022	8.82	9.27	0.0202
21807.9	2272533	42	0.1227	0.2226	5.9274	2.2	1.822	0.22	0.2222	0.0021	5.20	5.42	0.0202
20100	2271200	29	0.12278	0.8228	2.9267	0.88	0.2228	2.2221	0.8222	0	8.22	8.22	-0.0202
21405.9	2272700	84	0.2221	0.12222	1.2222	2.18	1.222	1.822	0.2222	0.0027	4.22	4.22	0.0202
202200	2272700	58	8.2222	1.8222	8.7225	8.88	5.2221	0.0202	0.2222	0.0227	14.22	14.22	0.0202

105

ANEXO D. Tabla de calificación para diferentes componentes físicos y químicos del agua (Morgan, 1979, en Conesa, 1993)

Valor	Aspecto	pH	Temp	Dureza	Conductividad	Oxígeno	Reducción-de	coliformes	N-amoniaco	Detergentes	S. Disueltos
%	(Subjetivo)		(°C)	(mg CaCO ₃ /l)	(Mmhos/cm)	(mg/l)	(mg/l)	(no./100ml)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
0	Pésimo	1/14	>50/>8	1500	16000	0	15	14000	1,25	3	20000
10	Muy-malo	2/18	45/6	1000	12000	1	12	10000	1	2	10000
20	Malo	3/12	40-4	800	8000	2	10	7000	0,75	1,5	5000
30	Difícil de beber	4/11	36/2	600	5000	3	8	5000	0,5	1	3000
40	Impropio	5/10	32/0	500	3000	4	6	4000	0,4	0,75	2000
50	Normal	6/8	28/5	400	2500	4	5	3000	0,3	0,5	1500
60	Aceptable		6,5 28/10	300	2000	5	4	2000	0,2	0,25	1000
70	Conveniente		9 26/12	200	1500	6	3	1500	0,1	0,1	750
80	Bueno		8,5 24/14	100	1250	6,5	2	1000	0,05	0,05	500
90	Muy-bueno		8 22/15	50	1000	7	1	500	0,03	0,02	250
100	Excelente		7 21/16	25	750	7,5	0,5	50	0	0	100
			1	1	1	4	4	3	3	1	2

Valor	O ₂	Plaguicidas	rasa-acerte	Sulfatos	Nitratos	Cianuros	Sodio	Calcio	Magnesio	Fosfato	Nitritos	DBO
%	(mg/l)	(mg/l)	PPm	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
0	1500	1	1	1500	100	1	600	1000	500	600	1	15
10	1000	1	1	1000	100	0,6	300	600	300	300	0,5	12
20	700	0,4	1	600	100	0,4	250	600	250	200	0,25	10
30	600	0,2	0,06	400	100	0,4	200	400	200	100	0,2	8
40	300	0,1	0,03	200	100	0,2	150	300	150	100	0,15	6
50	200	0,06	0,15	150	80	0,2	100	200	100	100	0,1	5
60	150	0,025	0,08	100	60	0,1	75	100	75	100	0,06	4
70	100	0,01	0,04	75	40	0,05	50	100	50	100	0,025	3
80	75	0,005	0,02	50	30	0,02	37,5	100	37,5	100	0,01	2
90	50	0,001	0,01	25	15	0,01	18,75	100	18,75	100	0,006	1
100	0	0	0	0	0	0	10	10	10	0	0	0,5
Peso	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

106

10

Drastic

X	Y	D	R	A	S	T	I	C	DRASTIC
194464,65	2311386,0	5,01	5,39	5,06	7,45	10,00	4,93	0,12	111,65
194878,79	2311386,0	5,18	5,30	5,40	7,93	10,004,80	0,09		113,42
194050,51	2311386,0	4,66	5,47	4,91	7,12	10,00	4,98	0,06	109,25
194878,79	2310315,8	5,56	5,30	4,77	7,46	10,00	4,83	0,11	112,69
194464,65	2310315,8	5,35	5,39	4,74	7,27	10,00	4,87	0,13	111,83
203575,76	2295333,3	6,09	5,17	4,96	5,85	10,00	4,86	0,26	112,74
175000	2280350,9	2,90	8,98	5,00	8,09	10,00	8,00	0,27	132,43
199434,34	2315666,7	8,27	4,74	8,06	5,84	10,008,04	0,29		147,22
195292,93	2311386,0	5,28	5,21	5,50	7,95	10,00	4,81	0,32	114,66
200262,63	2315666,7	7,92	4,64	8,01	5,71	10,00	8,00	0,33	144,62
199848,48	2315666,7	8,19	4,69	8,04	5,83	10,00	8,040,33		146,62
200676,77	2315666,7	7,55	4,60	8,30	5,95	10,008,00	0,34		144,00
175000	2279280,7	3,01	8,98	5,00	8,09	10,00	8,00	0,34	133,13
200676,77	2316736,8	8,58	4,73	8,00	4,16	10,007,85	0,34		144,40
195292,93	2310315,8	5,74	5,21	4,86	7,67	10,00	4,78	0,37	114,47
204404,04	2295333,3	5,74	5,20	4,89	6,01	9,68	5,40	0,38	113,95
175000	2285701,8	1,23	8,99	5,37	8,09	10,00	6,540,38		118,24
175000	2286771,9	1,23	8,99	5,36	8,07	10,006,400,38			117,51
193636,36	2311386,0	4,30	5,56	4,90	6,72	10,00	4,97	0,38	107,90
175000	2284631,6	0,53	8,99	5,00	8,12	10,00	6,97	0,38	115,86
194464,65	2312456,1	4,13	5,39	6,38	7,81	9,10	4,33	0,39	108,92
175000	2282491,2	0,98	8,98	5,00	8,11	10,00	8,00	0,41	123,27
175000	2281421,1	2,79	8,98	5,00	8,10	10,00	8,00	0,41	132,32
199848,48	2314596,5	7,00	4,57	8,00	6,86	10,00	8,00	0,41	142,24
175000	2283561,4	0,70	8,99	5,00	8,12	10,007,08	0,42		117,32
194878,79	2312456,1	4,34	5,31	7,00	7,94	9,214,22	0,42		111,39
203989,90	2295333,3	5,89	5,18	4,93	5,91	10,00	5,070,42		113,43
201090,91	2316736,8	7,98	4,70	8,00	4,46	10,00	7,89	0,43	142,37
199848,48	2317807,0	9,28	4,91	7,72	3,31	10,00	7,87	0,45	146,56
195707,07	2310315,8	5,88	5,12	5,02	7,73	10,00	4,76	0,46	115,53
203161,62	2295333,3	6,20	5,16	4,96	5,92	10,00	4,85	0,46	113,97
204818,18	2295333,3	5,58	5,22	4,92	6,39	8,98	5,66	0,47	115,01
195707,07	2311386,0	5,38	5,12	5,28	7,89	10,00	5,02	0,49	115,61
193222,22	2312456,1	3,31	5,64	5,20	5,94	9,52	5,01	0,50	102,70
200262,63	2314596,5	6,73	4,52	8,00	6,97	10,00	8,00	0,50	141,18
204404,04	2296403,5	5,56	5,09	4,95	5,94	9,89	4,62	0,50	109,39
205232,32	2296403,5	5,25	5,13	5,96	5,71	9,18	4,59	0,51	109,70
175000	2276070,2	3,29	8,95	5,00	8,35	10,00	8,00	0,52	135,55
193636,36	2312456,1	3,59	5,56	5,42	6,53	9,36	4,91	0,52	104,99
175000	2287842,1	1,20	8,99	5,25	8,08	10,00	5,68	0,53	113,82
175000	2288912,3	1,30	8,98	5,20	8,12	10,00	5,66	0,53	114,15
175000	2278210,5	3,11	8,96	5,00	8,08	10,00	8,00	0,53	134,12
195292,93	2309245,6	6,16	5,23	4,93	7,72	10,00	4,72	0,53	117,27
201505,05	2316736,8	7,31	4,67	8,00	4,82	10,00	7,98	0,53	140,36
195707,07	2309245,6	6,30	5,14	5,19	7,69	10,00	4,70	0,53	118,06
204818,18	2296403,5	5,40	5,11	5,24	5,76	10,00	4,62	0,54	109,40
175000	2275000	3,38	8,95	5,00	8,36	10,00	7,96	0,54	135,87
175000	2277140,4	3,20	8,96	5,00	8,30	10,00	8,00	0,55	135,11
175000	2289982,5	1,35	8,98	5,52	8,21	10,00	5,62	0,56	115,41
194050,51	2312456,1	3,88	5,48	5,77	7,05	9,224,68	0,56		107,05
204404,04	2306035,1	3,76	4,41	6,36	6,74	9,61	5,40	0,57	107,30
199020,20	2315666,7	8,17	4,79	8,07	5,78	10,008,08	0,58		147,90
199434,34	2314596,5	7,03	4,62	8,00	6,79	10,008,010,60			143,08
199848,48	2316736,8	9,11	4,81	8,05	3,93	10,00	8,04	0,60	148,80
201090,91	2315666,7	7,14	4,57	8,40	6,13	10,00	8,010,61		143,31
205232,32	2295333,3	5,42	5,23	5,19	6,62	9,56	6,40	0,62	120,24
201505,05	2315666,7	6,66	4,54	8,05	6,55	10,008,04	0,63		140,80
199434,34	2316736,8	9,10	4,85	8,10	4,12	10,00	8,09	0,63	149,80

Drastic

195292,93	2312456,1	4,52	5,23	7,21	7,71	9,53	4,84	0,63	116,18
200262,63	2317807,0	9,85	4,88	7,29	3,1810,00	7,67	0,63		147,25
193222,22	2311386,0	3,94	5,65	4,91	6,2210,00	4,99	0,64		106,33
203989,90	2308175,4	3,70	4,21	7,66	6,72	9,91	5,97	0,64	113,44
194050,51	2310315,8	5,13	5,43	4,78	7,0310,00	4,94	0,64		112,61
201919,19	2315666,7	6,13	4,52	8,00	6,9910,00	7,99	0,65		138,58
215585,86	2328508,8	4,25	5,53	7,64	3,39	9,98	7,86	0,67	124,33
201919,19	2316736,8	6,70	4,65	8,00	5,2710,00	7,98	0,68		138,55
202747,47	22953333	6,31	5,14	4,97	6,0910,00	4,88	0,68		115,66
209787,88	2295333,3	4,94	5,46	5,26	8,0010,00	7,40	0,69		127,43
203989,90	2306035,1	4,22	4,39	5,91	6,7410,00	5,32	0,70		108,54
199434,34	2303894,7	7,17	4,66	4,90	6,0910,00	4,88	0,70		117,89
199848,48	2303894,7	7,12	4,63	4,86	5,7010,00	4,89	0,71		116,67
198606,06	2315666,7	7,76	4,85	8,02	5,9910,00	8,03	0,71		146,54
192808,08	2312456,1	3,05	5,72	5,11	5,21	9,73	5,000,72		100,75
199020,20	2314596,5	6,89	4,69	8,01	6,7510,00	8,02	0,72		142,96
200262,63	2316736,8	8,91	4,77	8,00	3,9810,00	7,94	0,72		147,46
200676,77	2314596,5	6,60	4,47	8,00	7,0510,00	8,00	0,74		141,18
193636,36	2310315,8	4,89	5,57	4,87	6,8210,00	4,96	0,74		111,98
196949,49	2308175,4	6,91	4,91	7,68	7,7510,00	7,52	0,75		142,61
193222,22	2313526,3	2,71	Sfir	5,7fi	R34	8,63	5,38	0,75	103,90
200262,63	2303894,7	7,05	4,59	4,79	5,3010,00	4,84	0,75		115,04
197363,64	2308175,4	6,99	4,83	7,90	7,6410,00	8,39	0,76		147,49
203989,90	2307105,3	4,03	4,30	7,40	6,7410,00	7,37	0,76		122,19
194050,51	2309245,6	5,71	5,50	4,87	7,3610,00	4,89	0,76		116,64
215585,86	2327438,6	3,05	5,55	6,58	4,34	9,91	7,57	0,77	115,95
202333,33	2295333,3	6,44	5,13	4,98	5,8910,00	4,91	0,78		116,32
215171,72	2328508,8	4,53	5,51	7,74	3,45	9,33	7,92	0,78	126,04
203575,76	2292122,8	6,83	5,59	4,91	6,60	7,875,39	0,78		121,58
187424,24	2295333,3	8,89	8,50	4,89	8,13	7,80	7,72	0,78	158,18
187010,10	2295333,3	8,42	8,56	4,88	8,14	7,37	7,96	0,79	156,77
199848,48	2302824,6	6,95	4,66	4,88	6,0210,00	4,87	0,79		116,83
199434,34	2302824,6	7,03	4,69	4,89	6,3410,00	4,83	0,79		117,81
202333,33	2315666,7	5,42	4,50	8,00	7,3010,00	7,79	0,79		135,04
195707,07	2308175,4	6,62	5,17	5,13	7,7610,00	4,34	0,79		118,79
198606,06	2314596,5	6,65	4,75	8,07	6,7110,00	8,06	0,79		142,56
215585,86	2329578,9	5,47	5,51	8,08	2,88	9,77	8,06	0,79	131,83
196121,21	2310315,8	6,02	5,04	5,41	7,6910,00	4,86	0,80		118,52
215171,72	2329578,9	5,83	5,49	8,11	2,89	8,96	8,09	0,80	133,04
199020,20	2316736,8	8,90	4,90	8,30	4,4310,00	8,05	0,80		150,54
195707,07	2312456,1	4,69	5,15	7,30	7,54	9,84	5,35	0,80	120,01
199020,20	2302824,6	7,08	4,73	4,96	6,6610,00	4,77	0,80		118,79
185767,68	2294263,2	6,40	8,72	4,86	8,16	9,04	8,34	0,80	150,91
185353,54	2294263,2	5,92	8,74	4,86	8,10	8,36	8,38	0,81	148,08
209373,74	2295333,3	4,89	5,44	5,51	8,0210,00	7,21	0,81		127,22
200262,63	2302824,6	6,85	4,63	4,90	5,7810,00	4,87	0,81		115,81
200676,77	2303894,7	6,89	4,57	4,84	4,9010,00	4,92	0,81		114,08
181626,26	2278210,5	2,05	8,89	5,40	8,34	9,87	7,85	0,82	130,23
181212,12	2278210,5	1,98	8,89	5,40	8,35	9,87	7,80	0,82	129,70
214757,58	2328508,8	4,87	5,49	7,75	3,37	9,54	7,86	0,82	127,61
193222,22	2310315,8	4,64	5,67	4,94	6,5910,00	4,99	0,82		111,29
204404,04	2294263,2	5,91	5,32	4,91	6,63	8,92	7,73	0,82	128,86
199848,48	2318877,2	8,87	5,01	8,05	4,2910,00	8,07	0,82		149,94
216000	2329578,9	5,29	5,53	7,89	2,91	10,00	7,93	0,82	130,21
185353,54	2295333,3	6,45	8,71	4,86	8,10	7,72	8,30	0,82	149,57
186595,96	2294263,2	7,35	8,66	4,83	8,20	9,85	8,05	0,83	154,89
185767,68	2295333,3	6,93	8,68	4,86	8,17	9,20	8,28	0,83	153,35
200676,77	2309245,6	5,96	4,22	8,03	6,9310,00	8,10	0,83		137,57
181626,26	2280350,9	2,04	8,90	4,75	8,3310,00	7,82	0,83		128,29

Drastic

201090,91	2314596,5	6,23	4,43	7,97	7,40	10,00	7,99	0,83	140,05
180797,98	2278210,5	1,91	8,90	5,50	8,36	10,00	7,87	0,83	130,22
184939,39	2295333,3	5,98	8,73	4,87	8,09	9,20	8,29	0,83	148,82
181212,12	2280350,9	1,96	8,90	4,76	8,33	10,00	7,77	0,84	127,73
181626,26	2279280,7	2,05	8,89	5,36	8,34	10,00	7,84	0,84	130,24
181212/12	2279280,7	1,97	8,90	4,76	8,34	10,00	7,77	0,84	127,76
201090,91	2317807,0	8,51	4,82	6,44	3,09	10,00	7,24	0,84	136,05
216000	2327438,6	2,92	5,58	6,38	4,38	10,00	7,49	0,84	114,76
182040,40	2279280,7	2,12	8,90	5,37	8,34	10,00	7,87	0,84	130,58
186595,96	2295333,3	7,92	8,61	4,82	8,15	9,30	8,11	0,84	157,19
198606,06	2302824,6	7,07	4,77	5,12	6,97	10,00	4,72	0,84	119,89
186181,82	2295333,3	7,42	8,65	4,85	8,16	9,69	8,22	0,84	155,88
214757,58	2327438,6	3,64	5,51	7,12	4,32	10,00	7,76	0,84	121,62
196535,35	2309245,6	6,57	4,97	6,26	7,66	10,00	5,57	0,84	127,24
199020,20	2303894,7	7,21	4,71	4,91	6,50	10,00	4,84	0,85	119,32
184939,39	2294263,2	5,45	8,77	4,87	8,09	7,32	8,35	0,85	144,71
180383,84	2278210,5	3,08	8,90	4,87	8,36	10,00	7,84	0,85	134,07
196121,21	2309245,6	6,43	5,05	5,54	7,71	10,00	4,84	0,85	121,16
198606,06	2303894,7	7,23	4,75	5,11	6,86	10,00	5,01	0,85	121,87
182454,55	2279280,7	1,75	8,82	5,39	8,34	10,00	7,90	0,85	128,94
201919,19	2314596,5	5,39	4,37	7,61	8,16	10,00	7,95	0,85	135,90
203989,90	2299614,0	5,36	4,81	5,16	7,04	10,00	5,22	0,85	114,24
201505,05	2314596,5	5,85	4,39	7,86	7,77	10,00	8,02	0,86	138,58
181626,26	2277140,4	2,05	8,89	5,44	8,14	9,74	7,85	0,86	129,92
186181,82	2294263,2	6,88	8,69	4,86	8,21	10,00	8,25	0,86	153,95
200676,77	2302824,6	6,69	4,61	4,94	5,50	10,00	4,83	0,86	114,47
180797,98	2279280,7	1,90	8,90	4,87	8,35	10,00	7,85	0,86	128,22
182040,40	2277140,4	2,12	8,81	5,45	8,13	9,68	7,88	0,86	130,10
201090,91	2309245,6	5,66	4,16	8,02	6,88	10,00	8,07	0,86	135,68
203575,76	2293193,0	6,45	5,43	4,91	6,54	8,83	6,61	0,86	126,24
180797,98	2280350,9	1,88	8,91	4,87	8,34	10,00	7,84	0,86	128,12
210202,02	2295333,3	5,01	5,49	5,16	7,90	10,00	7,56	0,86	128,69
201090,91	2326368,4	7,27	5,25	7,13	7,85	10,00	4,49	0,86	129,49
182040,40	2280350,9	2,12	8,83	4,75	8,33	10,00	7,86	0,86	128,73
181212,12	2277140,4	1,98	8,89	5,43	8,35	9,94	7,81	0,86	130,05
199848,48	2301754,4	6,84	4,69	4,94	6,61	10,00	5,22	0,86	119,68
201919,19	2326368,4	7,69	5,23	7,72	6,28	10,00	7,06	0,87	142,98
196949,49	2296403,5	6,98	4,85	5,00	3,30	9,84	5,82	0,87	117,42
200262,63	2301754,4	6,73	4,67	4,93	6,48	10,00	5,27	0,87	119,06
209373,74	2294263,2	5,24	5,52	4,87	7,98	10,00	6,11	0,87	122,02
182454,55	2277140,4	1,72	8,81	5,47	8,12	9,79	7,91	0,87	128,39
200676,77	2310315,8	5,58	4,16	8,00	6,89	10,00	8,01	0,87	134,94
215171,72	2327438,6	3,20	5,53	6,88	4,46	9,75	7,74	0,87	118,72
182454,55	2280350,9	1,77	8,82	5,35	8,33	10,00	7,90	0,87	128,93
203989,90	2293193,0	6,32	5,44	4,86	6,66	8,87	7,61	0,87	130,84
179969,70	2278210,5	3,63	8,93	4,88	8,36	10,00	7,82	0,87	136,91
196535,35	2310315,8	6,17	4,95	6,14	7,60	10,00	5,49	0,87	124,33
216000	2330649,1	6,80	5,50	7,72	2,71	10,00	7,73	0,87	135,88
200262,63	2309245,6	6,23	4,28	8,02	6,99	10,00	8,09	0,87	139,38
198191,92	2303894,7	7,23	4,81	5,65	7,19	10,00	5,53	0,87	126,98
200262,63	2310315,8	5,84	4,23	8,01	6,93	10,00	8,04	0,87	136,80
201090,91	2325298,2	7,19	5,23	8,00	6,67	10,00	7,86	0,87	146,14
182040,40	2278210,5	2,12	8,82	5,41	8,34	9,83	7,88	0,87	130,66
182868,69	2279280,7	1,92	8,81	5,45	8,33	10,00	7,96	0,88	130,29
180383,84	2279280,7	3,02	8,91	4,87	8,35	10,00	7,82	0,88	133,81
184525,25	2295333,3	5,54	8,76	4,84	8,11	10,00	8,25	0,88	147,34
187838,38	2295333,3	9,31	8,43	4,92	8,08	9,70	7,27	0,88	159,86
197777,78	2297473,7	6,99	4,82	4,99	4,42	9,10	5,31	0,88	116,33
182454,55	2278210,5	1,73	8,81	5,43	8,13	9,72	7,91	0,88	128,39

Drastic

216000	2328508,8	3,97	5,55	7,42	3,44	10,007,75	0,88	122,59
203989,90	2292122,8	6,75	5,59	5,03	6,76	9,08 6,06	0,88	126,70
201919,19	2295333,3	6,53	5,12	4,99	5,93	10,00 4,94	0,88	117,30
215585,86	2330649,1	6,98	5,49	7,93	2,79	9,80 7,94	0,88	138,34
180383,84	2280350,9	2,96	8,91	4,88	8,34	10,00 7,81	0,88	133,46
196949,49	2309245,6	6,69	4,88	7,45	7,65	10,00 7,18	0,88	139,16
201505,05	2326368,4	7,47	5,24	7,52	7,12	10,00 6,09	0,88	138,20
197363,64	2296403,5	6,99	4,86	5,00	3,28	9,765,85	0,88	117,61
180797,98	2277140,4	1,92	8,90	5,54	8,36	9,977,87	0,88	130,52
204404,04	2299614,0	5,10	4,83	5,09	7,40	10,005,27	0,88	113,89
179555,56	2278210,5	3,57	8,94	4,88	8,36	10,00 7,79	0,88	136,59
199434,34	2301754,4	6,92	4,72	4,95	6,72	10,00 5,110,89		119,95
212272,73	2304964,9	3,08	5,32	4,41	6,23	9,13 4,410,89		96,25
182040,40	2281421,1	2,12	8,84	4,75	8,32	9,96 7,84	0,89	128,69
182868,69	2280350,9	1,94	8,81	5,41	8,32	10,00 7,96	0,89	130,28
214757,58	2329578,9	6,17	5,48	8,03	2,84	9,568,01	0,89	134,85
182868,69	2277140,4	1,88	8,80	5,53	8,10	9,86 7,97	0,89	129,76
201505,05	2325298,2	7,47	5,22	8,02	6,27	10,00 8,15	0,89	148,27
214343,43	2326368,4	2,79	5,52	6,41	5,66	10,00 7,81	0,89	118,30
199020,20	2313526,3	6,18	4,59	8,03	7,19	10,00 8,05	0,89	140,62
200676,77	2301754,4	6,59	4,66	4,99	6,48	10,00 5,40	0,90	119,20
213515,15	2325298,2	2,92	5,50	5,99	6,33	10,00 7,58	0,90	117,81
211858,59	2310315,8	5,90	5,38	5,08	8,45	10,004,97	0,90	120,67
182040,40	2276070,2	2,11	8,81	5,48	8,12	10,007,89	0,90	130,62
182868,69	2278210,5	1,90	8,80	5,49	8,12	9,717,96	0,90	129,67
181626,26	2281421,1	2,03	8,90	4,76	8,32	9,99 7,80	0,90	128,35
182454,55	2276070,2	1,70	8,80	5,50	8,11	10,00 7,92	0,90	128,71
203575,76	2294263,2	6,25	5,30	4,92	6,47	10,006,12	0,90	123,42
190737,37	2285701,8	5,56	8,23	5,69	8,47	9,12 8,07	0,90	146,90
196535,35	2296403,5	6,96	4,84	5,00	3,74	9,995,59	0,90	117,26
184525,25	2294263,2	5,00	8,79	4,87	8,10	7,768,24	0,90	142,63
201090,91	2303894,7	6,68	4,55	4,97	4,49	10,004,98	0,90	113,07
181626,26	2276070,2	2,05	8,89	5,47	8,13	10,00 7,86	0,90	130,45
180383,84	2277140,4	3,13	8,90	5,53	8,36	10,00 7,85	0,91	136,52
179969,70	2279280,7	3,52	8,94	4,88	8,35	10,00 7,80	0,91	136,37
199020,20	2301754,4	6,97	4,75	4,97	6,87	10,00 5,02	0,91	120,34
213929,29	2327438,6	5,01	5,48	7,47	4,19	10,00 7,93	0,91	130,11
201505,05	2327438,6	7,57	5,26	7,13	6,84	10,00 5,64	0,91	134,90
192393,94	2285701,8	5,96	7,99	6,11	8,53	9,67 7,96	0,91	149,35
181212,12	2275000	1,99	8,89	5,50	8,13	10,00 7,82	0,91	130,08
203575,76	2299614,0	5,55	4,79	5,18	7,01	10,005,36	0,91	115,99
179969,70	2280350,9	3,40	8,94	4,88	8,34	10,007,77	0,91	135,63
199434,34	2313526,3	6,20	4,52	8,01	7,23	10,00 8,02	0,91	140,40
212272,73	2309245,6	5,47	5,42	5,16	8,55	9,82 5,06	0,91	119,43
181212,12	2282491,2	1,87	8,91	4,78	8,31	9,89 7,74	0,91	127,27
212686,87	2304964,9	3,30	5,38	4,46	6,49	9,20 4,47	0,91	98,66
182868,69	2276070,2	2,35	8,79	5,56	8,09	10,00 7,97	0,91	132,43
180797,98	2276070,2	1,92	8,89	5,58	8,16	10,00 7,89	0,92	130,44
192808,08	2313526,3	2,53	5,72	5,77	6,09	9,13 5,29	0,92	103,38
213515,15	2327438,6	4,87	5,46	7,71	3,83	10,00 7,89	0,92	129,13
181212,12	2276070,2	1,99	8,89	5,47	8,14	10,007,82	0,92	130,03
198606,06	2297473,7	7,01	4,83	5,00	4,68	9,03 5,14	0,92	116,19
179141,41	2277140,4	3,62	8,94	5,03	8,92	10,00 7,83	0,92	138,69
198191,92	2302824,6	7,09	4,82	5,44	7,29	10,00 4,74	0,92	122,06
179969,70	2275000	3,10	8,89	5,60	8,17	10,00 7,77	0,92	135,78
182454,55	2281421,1	1,78	8,83	4,75	8,32	9,96 7,89	0,92	127,29
199434,34	2318877,2	8,09	5,04	7,99	4,86	9,98 8,06	0,92	147,34
213101,01	2328508,8	4,96	5,42	7,48	2,87	10,00 7,42	0,92	124,54
215171,72	2330649,1	7,06	5,47	7,76	2,99	9,04 7,79	0,92	137,19

Drastic

181212,12	2281421,1	1,94	8,91	4,77	8,3210,00	7,75	0,92	127,79	
199848,48	2319947,4	7,86	5,08	8,14	5,8010,00	8,17	0,92	149,25	
182454,55	2275000	2,22	8,80	5,53	8,3110,00	7,92	0,92	131,88	
183282,83	2277140,4	1,96	8,79	5,42	8,07	9,97	7,97	0,92	129,97
179141,41	2278210,5	3,52	8,94	5,03	8,9010,00	7,83	0,92	138,17	
202333,33	2296403,5	6,36	5,01	4,98	5,7010,00	4,89	0,92	115,40	
204404,04	2308175,4	3,32	4,24	7,66	6,78	9,475,73	0,92	110,99	
201919,19	2296403,5	6,50	4,99	4,98	5,8310,004,910,92			116,40	
182040,40	2275000	2,10	8,80	5,52	8,1110,0007,89	0,93		130,73	
183282,83	2280350,9	2,40	8,81	5,35	8,14	9,957,96	0,93	132,07	
182868,69	2281421,1	1,96	8,82	4,79	8,31	9,91	7,95	0,93	128,50
201505,05	2300684,2	6,27	4,69	5,09	7,6510,00	6,62	0,93	126,56	
179555,56	2280350,9	3,34	8,94	4,89	8,34	9,98	7,74	0,93	135,28
196121,21	2311386,0	5,51	5,04	5,97	7,7710,00	5,24	0,93	120,14	
214343,43	2327438,6	4,49	5,49	7,27	4,4710,00	7,88	0,93	127,34	
182454,55	2283561,4	2,10	8,85	4,77	8,3010,00	7,87	0,93	128,92	
199020,20	2297473,7	7,01	4,83	5,00	4,79	9,07	5,04	0,93	115,99
182040,40	2282491,2	2,10	8,85	4,76	8,3110,00	7,83	0,93	12874	
183282,83	2278210,5	2,37	8,80	5,38	8,08	9,71	7,97	0,93	131,70
203989,90	2294263,2	6,10	5,31	4,90	6,53	9,72	6,80	0,93	126,02
180797,98	2275000	1,93	8,89	5,62	8,1510,00	7,88	0,93	130,58	
179969,70	2277140,4	3,73	8,93	5,52	8,36	9,98	7,83	0,93	139,57
182454,55	2284631,6	1,64	8,90	4,78	8,29	9,83	7,85	0,93	126,60
207717,17	2324228,1	6,82	5,22	7,69	6,8410,00	6,69	0,93	137,96	
182868,69	2275000	2,39	8,79	5,60	8,3010,0007,97	0,93		133,14	
196121,21	22964035	6,95	4,82	5,00	4,16	9,425,30	0,93	116,07	
183282,83	2279280,7	2,39	8,80	5,40	8,1210,00	7,97	0,93	132,20	
202333,33	2326368,4	7,95	5,22	7,80	5,4610,00	7,61	0,93	145,80	
213515,15	2328508,8	4,95	5,44	7,26	3,0310,00	7,25	0,93	123,41	
181626,26	2275000	2,04	8,88	5,50	8,1210,00	7,86	0,93	130,60	
202333,33	2314596,5	5,08	4,35	7,22	8,5610,00	7,74	0,94	133,08	
199848,48	2310315,8	6,10	4,30	8,01	6,9810,00	8,03	0,94	138,67	
191151,52	2285701,8	5,65	8,21	5,76	8,42	9,78	8,01	0,94	147,82
180383,84	2276070,2	3,17	8,90	5,57	8,3710,00	7,86	0,94	136,97	
182868,69	2283561,4	2,26	8,84	4,81	8,2910,00	7,93	0,94	130,16	
216000	2331719,3	8,09	5,47	6,76	3,2210,00	6,80	0,94	135,85	
182040,40	2283561,4	1,67	8,86	4,77	8,30	9,99	7,82	0,94	126,62
179555,56	2279280,7	3,46	8,94	4,89	8,3510,00	7,77	0,94	136,09	
199434,34	2297473,7	7,01	4,84	5,00	5,07	9,14	4,98	0,94	116,43
201505,05	2317807,0	7,60	4,79	7,08	3,53	9,92	7,59	0,94	136,15
213101,01	2325298,2	2,85	5,47	6,06	6,2710,00	7,60	0,94	117,67	
183282,83	2276070,2	1,98	8,79	5,45	8,4410,00	7,97	0,94	130,99	
211444,44	2295333,3	5,62	5,57	6,51	7,2210,00	8,08	0,94	137,52	
182868,69	2285701,8	1,80	8,90	4,97	8,39	9,69	7,86	0,94	128,08
182040,40	2284631,6	1,50	8,91	4,78	8,28	9,87	7,80	0,94	125,72
182868,69	2282491,2	1,97	8,83	4,80	8,3010,00	7,93	0,94	128,64	
182454,55	2282491,2	1,79	8,84	4,76	8,3110,00	7,87	0,94	127,39	
199848,48	2309245,6	6,47	4,34	8,02	7,0510,00	8,06	0,94	141,00	
182454,55	2285701,8	1,62	8,91	4,94	8,39	9,61	7,74	0,94	126,47
182868,69	2284631,6	1,82	8,85	4,82	8,28	9,67	7,92	0,94	127,62
193636,36	2309245,6	5,55	5,60	4,90	7,4910,00	4,92	0,94	117,22	
184939,39	2293193,0	4,82	8,80	4,91	8,11	5,848,22	0,94	140,03	
183282,83	2281421,1	2,41	8,81	5,31	8,15	9,98	7,96	0,94	132,09
211858,59	2289982,5	7,48	5,98	6,86	7,5210,00	8,010,94		149,81	
215171,72	2287842,1	8,47	6,15	5,60	7,70	8,70	7,94	0,94	150,44
199848,48	2300684,2	6,81	4,72	4,96	6,7510,00	5,31	0,94	12070	
185353,54	2293193,0	5,29	8,77	4,90	8,12	7,618,23	0,94	144,05	
181626,26	2284631,6	1,38	8,92	4,78	8,28	9,907,75	0,94	124,98	
212686,87	2328508,8	5,06	5,41	7,53	2,7710,00	7,48	0,95	125,30	

Drastic

209787,88	2294263,2	5,33	5,54	4,88	7,97	10,00	7,24	0,95	128,45
199848,48	2297473,7	6,98	4,85	5,00	5,24	9,12	4,96	0,95	116,52
194464,65	2309245,6	5,91	5,41	4,84	7,42	10,00	4,82	0,95	117,48
201090,91	2300684,2	6,44	4,69	5,00	7,24	10,00	6,26	0,95	124,61
181626,26	2282491,2	1,98	8,91	4,76	8,31	9,95	7,80	0,95	128,19
181212,12	2283561,4	1,45	8,92	4,79	8,30	10,00	7,71	0,95	125,28
180797,98	2282491,2	1,77	8,92	4,88	8,32	9,99	7,80	0,95	127,65
178727,27	2277140,4	3,57	8,94	5,04	8,92	10,00	7,81	0,95	138,48
195707,07	2296403,5	6,96	4,81	5,00	4,57	9,44	5,15	0,95	116,18
180383,84	2275000	3,20	8,89	5,61	8,16	10,00	7,86	0,95	136,86
204818,18	2294263,2	5,73	5,33	5,00	6,64	9,87	8,08	0,95	131,36
215171,72	2316736,8	3,22	6,03	3,54	6,11	9,01	5,36	0,95	101,73
204404,04	2293193,0	6,19	5,45	4,87	6,73	9,40	8,05	0,95	133,30
183282,83	2275000	2,96	8,78	5,48	8,44	10,00	7,97	0,95	135,98
183282,83	2282491,2	2,41	8,82	5,26	8,32	10,00	7,94	0,95	132,28
213101,01	2327438,6	4,81	5,44	7,74	3,78	10,00	7,87	0,95	128,81
198191,92	2297473,7	7,00	4,82	4,99	4,58	9,03	5,23	0,95	116,48
199020,20	2304964,9	7,26	4,67	6,85	6,82	10,00	6,87	0,95	136,38
183282,83	2285701,8	2,19	8,89	4,98	8,27	9,82	7,91	0,95	130,17
179555,56	2275000	3,06	8,93	5,59	8,37	10,00	7,75	0,95	136,15
213929,29	2326368,4	3,32	5,50	6,58	5,30	10,00	7,77	0,95	120,68
201090,91	2301754,4	6,42	4,64	5,04	6,64	10,00	5,52	0,96	119,51
182040,40	2285701,8	1,47	8,92	4,98	8,21	9,49	7,66	0,96	125,03
213929,29	2328508,8	5,00	5,46	7,34	3,24	10,00	7,38	0,96	125,09
198606,06	2313526,3	6,05	4,66	8,06	7,10	10,00	8,05	0,96	140,34
200262,63	2297473,7	6,99	4,85	4,99	5,44	9,08	4,94	0,96	116,85
181626,26	2283561,4	1,56	8,91	4,77	8,30	9,79	7,77	0,96	125,87
178727,27	2278210,5	3,47	8,94	5,04	8,91	10,00	7,81	0,96	137,98
201505,05	2309245,6	5,34	4,12	8,00	6,84	10,00	7,98	0,96	133,60
201505,05	2296403,5	6,61	4,98	4,98	5,69	9,95	4,95	0,96	116,90
198606,06	2316736,8	8,26	4,95	8,00	4,89	10,00	8,20	0,96	148,78
200676,77	2300684,2	6,59	4,70	4,97	7,00	10,00	5,82	0,96	122,63
201090,91	2302824,6	6,50	4,60	4,95	5,30	10,00	4,67	0,96	112,57
198606,06	2304964,9	7,31	4,72	7,05	7,12	10,00	7,04	0,96	138,93
210616,16	2295333,3	5,12	5,52	5,43	7,73	10,00	7,86	0,96	131,59
195292,93	2297473,7	6,91	4,88	4,99	5,22	8,91	4,99	0,96	116,20
214757,58	2295333,3	6,85	5,79	7,00	7,40	8,05	7,58	0,96	142,02
189494,95	2283561,4	4,38	8,26	5,79	8,37	8,45	8,00	0,96	140,42
180797,98	2283561,4	1,35	8,92	4,88	8,31	10,00	7,78	0,96	125,49
202747,47	2315666,7	5,02	4,49	7,45	7,33	10,00	7,43	0,96	130,13
214343,43	2295333,3	6,94	5,76	7,00	7,48	7,96	7,45	0,96	141,76
179969,70	2276070,2	3,07	8,93	5,56	8,37	10,00	7,84	0,96	136,55
184525,25	2293193,0	4,39	8,82	4,92	8,09	3,57	8,10	0,96	135,08
182454,55	2286771,9	1,60	8,91	4,96	8,18	10,00	7,57	0,96	125,61
183282,83	2284631,6	2,23	8,84	5,16	8,29	9,59	7,92	0,96	130,63
179555,56	2277140,4	3,67	8,93	5,52	8,36	9,99	7,80	0,96	139,24
195292,93	2296403,5	6,98	4,79	4,99	4,85	8,95	5,03	0,96	115,75
194878,79	2309245,6	6,01	5,31	4,89	7,61	10,00	7,9	0,96	118,05
185767,68	2293193,0	5,74	8,75	4,90	8,13	6,49	8,16	0,97	144,84
210202,02	2286771,9	8,13	6,04	6,99	8,15	8,77	7,97	0,97	153,64
201919,19	2327438,6	7,68	5,25	7,30	6,51	10,00	6,12	0,97	137,83
197777,78	2296403,5	7,00	4,88	5,00	3,63	10,00	5,66	0,97	117,97
195707,07	2295333,3	6,99	4,89	4,99	4,77	9,95	5,05	0,97	117,10
184111,11	2295333,3	5,12	8,78	4,85	8,10	10,00	8,07	0,97	144,67
195292,93	2295333,3	7,01	4,86	4,99	5,13	9,57	5,01	0,97	117,20
212272,73	2308175,4	4,75	5,38	5,10	8,47	9,63	5,07	0,97	115,40
201090,91	2310315,8	5,29	4,09	8,01	6,85	10,00	7,95	0,97	133,16
200262,63	2300684,2	6,72	4,70	4,95	6,82	10,00	5,54	0,97	121,53
199434,34	2304964,9	7,25	4,62	6,82	6,57	10,00	6,84	0,97	135,40

Drastic

212686,87	2327438,6	4,93	5,42	7,71	3,5410,007,76	0,97	128,26
181212,12	2284631,6	1,27	8,93	4,85	8,28	9,987,68	0,97
183282,83	2283561,4	2,39	8,83	5,21	8,3010,00	7,93	0,97
200676,77	2297473,7	6,94	4,86	4,98	5,59	9,07	4,93
194878,79	2296403,5	7,01	4,79	5,00	5,21	9,174,97	0,97
182868,69	2287842,1	1,87	8,91	4,94	8,1510,00	7,64	0,97
192808,08	2311386,0	3,60	5,74	4,92	5,8610,00	4,99	0,97
194878,79	2297473,7	6,92	4,91	4,99	5,49	8,61	4,95
214757,58	2326368,4	2,28	5,54	6,17	5,9310,00	7,87	0,97
211858,59	2304964,9	2,86	5,27	4,80	7,40	9,27	4,80
183282,83	2286771,9	2,13	8,90	4,94	8,2310,00	7,83	0,98
204818,18	2299614,0	4,86	4,85	5,05	7,2510,00	5,55	0,98
212686,87	2293193,0	6,97	5,78	6,65	7,18	9,93	8,15
211444,44	2310315,8	5,60	5,30	5,02	8,1210,00	4,98	0,98
183282,83	2287842,1	2,02	8,90	4,93	8,1910,007,83	0,98	128,96
179141,41	2280350,9	3,29	8,94	5,03	8,8610,00	7,76	0,98
181626,26	2285701,8	1,35	8,95	4,97	8,21	9,237,57	0,98
199020,20	2312456,1	5,93	4,51	8,01	7,3010,00	8,04	0,98
182868,69	2286771,9	1,78	8,90	4,95	8,1810,007,73	0,98	127,32
198191,92	2304964,9	7,30	4,78	7,61	7,3910,007,56	0,98	143,97
183696,97	2279280,7	2,48	8,71	5,37	8,0910,007,99	0,98	132,39
198606,06	2301754,4	7,01	4,78	5,12	7,0410,00	4,89	0,98
211858,59	2291052,6	7,20	5,90	6,10	7,4410,00	7,62	0,98
183696,97	2277140,4	2,05	8,69	5,44	8,43	9,98	7,99
202747,47	2296403,5	6,21	5,02	4,98	5,7410,00	4,90	0,98
179141,41	2279280,7	3,41	8,94	5,03	8,8810,00	7,810,98	137,66
199434,34	2300684,2	6,88	4,74	4,97	6,6510,00	5,17	0,98
211030,30	2293193,0	6,33	5,69	5,20	7,8910,00	6,72	0,98
183696,97	2281421,1	2,52	8,73	5,33	8,1410,00	7,98	0,98
211444,44	2303894,7	2,19	5,22	5,01	8,01	8,85	5,04
192393,94	2312456,1	2,84	5,81	5,04	4,61	9,89	4,96
211858,59	2309245,6	5,17	5,34	5,29	8,50	9,815,12	0,98
180383,84	2282491,2	2,16	8,92	4,88	8,3210,007,770,98	129,60	
183696,97	2276070,2	2,98	8,68	5,47	8,4410,00	7,99	0,98
183696,97	2280350,9	2,50	8,72	5,38	8,1310,00	7,98	0,98
192393,94	2311386,0	3,27	5,83	4,93	5,4810,00	4,99	0,98
200262,63	2318877,2	9,53	4,97	7,98	3,81	10,00	8,03
197363,64	2297473,7	6,97	4,82	4,99	4,35	9,28	5,36
178313,13	2277140,4	3,52	8,94	5,25	8,9410,00	7,96	0,98
194464,65	2296403,5	7,08	4,80	5,00	5,5710,00	5,16	0,99
213101,01	2304964,9	3,47	5,43	4,51	6,70	9,17	4,55
183696,97	2278210,5	2,45	8,70	5,41	8,08	9,60	7,98
199434,34	2317807,0	8,19	4,95	8,00	3,3910,007,90	0,99	144,01
212272,73	2307105,3	4,10	5,35	5,03	8,17	9,50	5,03
199020,20	2311386,0	6,04	4,47	8,03	7,1710,00	8,10	0,99
198606,06	2312456,1	5,82	4,58	8,01	7,2710,00	8,00	0,99
202333,33	2316736,8	5,96	4,64	8,00	5,6010,00	7,70	0,99
182454,55	2287842,1	1,70	8,93	4,95	8,1410,007,44	0,99	125,48
183696,97	2285701,8	2,35	8,84	4,99	8,28	9,93	7,96
182040,40	2286771,9	1,44	R&W	4jtfi	8,1810,00	7,43	0,99
194464,65	2297473,7	6,95	4,96	4,99	5,78	9,15	5,01
184111,11	2294263,2	4,56	8,81	4,86	8,0810,00	8,00	0,99
179555,56	2276070,2	3,77	8,93	5,55	8,3710,00	7,82	0,99
200676,77	2326368,4	7,14	5,26	7,17	7,5010,00	5,09	0,99
189909,09	2284631,6	4,93	8,35	5,77	8,35	9,35	8,00
199434,34	2309245,6	6,70	4,41	8,01	7,1210,00	8,03	0,99
199848,48	2313526,3	6,13	4,45	8,00	7,5210,00	8,010,99	140,54
180383,84	2281421,1	2,25	8,92	4,88	8,3310,00	7,80	0,99
197363,64	2309245,6	6,81	4,80	8,07	7,5710,00	8,08	0,99

Drastic

201090,91	2297473,7	6,81	4,87	4,98	5,72	9,08	4,95	0,99	116,70
192808,08	2295333,3	7,98	4,97	4,98	6,92	9,798,06	0,99		141,64
178313,13	2278210,5	3,42	8,94	5,26	8,9310,007,97	0,99			139,33
196121,21	2295333,3	6,99	4,91	4,99	4,4310,00	5,17	1,00		117,23
215171,72	2295333,3	6,72	5,82	7,00	7,22	8,03	7,801,00		142,27
191565,66	2285701,8	5,77	8,15	5,83	8,5210,008,01	1,00			148,99
183696,97	2275000	3,03	8,67	5,10	8,4410,00	7,991,00			134,97
191565,66	2283561,4	5,04	8,05	5,77	8,39	8,548,06	1,00		143,32
197777,78	2303894,7	7,23	4,87	5,95	7,4410,00	5,871,00			130,66
180383,84	2283561,4	1,71	8,93	4,94	8,3110,00	7,741,00			127,37
214757,58	2316736,8	3,53	5,97	3,61	6,14	8,97	5,32	1,00	103,18
203989,90	2298543,9	5,45	4,89	4,84	6,35	9,38	4,961,00		111,21
183696,97	2282491,2	2,53	8,75	5,29	8,3210,00	7,981,00			133,02
211858,59	2307105,3	3,83	5,29	5,10	8,41	9,53	5,00	1,00	109,91
179141,41	2275000	3,80	8,93	5,75	8,9510,00	7,781,00			141,78
183282,83	2289982,5	1,83	8,92	5,00	8,13	9,45	7,561,00		126,30
199434,34	2311386,0	5,95	4,39	8,01	7,1510,00	8,06	1,00		138,98
184111,11	2293193,0	3,95	8,84	4,93	8,05	8,00	7,721,00		135,58
215171,72	2326368,4	2,35	5,56	5,96	5,7910,00	7,631,00			114,64
208131,31	2324228,1	6,18	5,23	7,48	6,7610,00	6,851,00			135,05
183696,97	2289982,5	2,03	8,90	5,00	8,13	4,15	7,83	1,01	123,33
193636,36	2295333,3	7,42	4,80	4,98	6,55	9,57	7,821,01		136,04
183696,97	2286771,9	2,31	8,86	4,95	8,2310,00	7,93	1,01		130,96
183696,97	2287842,1	2,21	8,87	4,94	8,1910,007,931,01				130,44
200676,77	2325298,2	7,07	5,24	7,97	6,8710,00	7,671,01			145,30
192393,94	2283561,4	5,17	7,93	5,89	8,59	9,18	8,08	1,01	144,97
183282,83	2288912,3	1,94	8,91	4,92	8,1410,00	7,71	1,01		127,93
210616,16	2293193,0	6,09	5,67	4,97	8,0010,005,491,01				124,58
201505,05	2311386,0	4,79	4,01	8,05	6,7810,00	8,101,01			131,28
191979,80	2285701,8	5,87	8,03	6,05	8,58	9,747,99	1,01		149,52
209787,88	2293193,0	5,82	5,63	5,05	7,9110,00	7,571,01			133,48
179969,70	2282491,2	3,12	8,94	4,94	8,3210,00	7,741,01			134,59
192808,08	2285701,8	6,02	7,92	6,06	8,55	9,72	7,99	1,01	149,77
214343,43	2328508,8	5,06	5,47	7,5P	3,2510,00	7,661,01			127,81
181212,12	2285701,8	1,24	8,95	4,98	8,21	9,59	7,291,01		122,46
212686,87	23092456	5,75	5,49	4,88	7,76	9,80	4,85	1,01	117,93
212272,73	2328508,8	6,19	5,39	7,46	2,82	9,957,421,01			130,62
202747,47	2326368,4	8,18	5,21	7,81	4,7210,00	7,991,01			147,63
211030,30	2295333,3	5,35	5,54	5,94	7,4910,00	8,001,01			134,78
183696,97	2283561,4	2,53	8,83	5,23	8,3110,00	7,971,02			133,19
182040,40	2287842,1	1,42	8,94	4,95	8,1410,00	7,24102			123,18
192808,08	2291052,6	7,70	7,27	5,27	7,21	8,78	7,971,02		149,46
198191,92	2308175,4	7,10	4,67	8,15	7,5010,008,221,02				147,73
198606,06	2311386,0	6,14	4,55	8,04	7,1910,00	8,101,02			140,96
211858,59	2306035,1	3,28	5,27	4,79	7,45	9,394,861,02			103,49
178727,27	2280350,9	3,24	8,95	5,04	8,8710,00	7,741,02			136,60
213929,29	2283561,4	9,30	6,16	6,32	7,91	9,08	7,971,02		157,89
183696,97	2291052,6	2,33	8,89	4,99	8,04	3,51	7,63	1,02	123,00
215585,86	2293193,0	6,97	5,94	7,00	6,85	9,92	7,871,02		145,66
213515,15	2303894,7	3,38	5,46	5,09	8,29	9,045,061,02			108,00
212272,73	2327438,6	5,09	5,40	7,70	3,4810,00	7,71	1,02		128,72
183696,97	2284631,6	2,37	8,83	5,18	8,29	9,43	7,961,02		131,61
193222,22	2295333,3	7,68	4,83	4,98	6,80	9,80	8,081,02		139,54
195292,93	2308175,4	6,52	5,26	4,98	7,6310,004,401,02				118,91
201505,05	2297473,7	6,65	4,88	4,94	5,81	9,16	4,951,02		116,21
177898,99	2277140,4	3,48	8,94	5,26	8,32	9,96	7,961,02		138,44
180797,98	2284631,6	1,17	8,95	4,94	8,2910,00	7,741,02			124,85
194050,51	2297473,7	6,99	5,03	4,97	6,03	9,64	5,161,02		120,53
197777,78	2308175,4	7,06	4,75	8,27	7,6210,00	8,38	1,02		149,27

Drastic

212686,87	2308175,4	5,03	5,45	4,99	7,76	9,62	4,941,02	114,79
189909,09	2283561,4	4,50	8,21	5,84	8,34	8,26	8,001,02	140,91
181626,26	2286771,9	1,32	8,95	4,96	8,16	9,83	7,301,02	122,98
178727,27	2279280,7	3,36	8,94	5,04	8,89	10,00	7,791,02	137,48
205646,46	2296403,5	5,10	5,15	7,05	5,92	8,73	4,831,02	115,05
194050,51	2295333,3	7,24	4,80	4,99	6,23	9,946	4,41,02	128,00
194464,65	2295333,3	7,11	4,81	5,00	5,87	10,00	5,251,02	120,83
215585,86	2326368,4	2,53	5,59	5,63	5,26	10,00	7,001,03	110,49
211444,44	2293193,0	6,51	5,71	5,36	7,82	10,00	7,791,03	139,19
201919,19	2325298,2	7,73	5,20	7,96	5,67	10,00	8,231,03	148,92
184111,11	2292122,8	3,31	8,86	4,98	8,05	3,99	7,771,03	128,92
213515,15	2326368,4	3,65	5,48	6,96	5,05	10,00	7,741,03	122,87
182868,69	2288912,3	1,77	8,92	4,94	8,14	10,00	7,471,03	126,09
210202,02	2293193,0	5,95	5,65	5,03	7,94	10,007,16	1,03	132,24
199434,34	2312456,1	5,85	4,43	8,00	7,31	10,00	8,01 1,03	138,72
201090,91	2296403,5	6,72	4,97	4,99	5,51	9,86	4,961,03	117,24
212272,73	2310315,8	6,17	5,46	4,98	7,85	10,005,01	1,03	121,48
210202,02	2294263,2	5,46	5,57	4,97	7,94	9,93	7,861,03	132,71
182454,55	2288912,3	1,61	8,94	4,95	8,13	10,007,291,03		124,46
179969,70	2281421,1	3,27	8,94	4,89	8,33	10,00	7,771,03	135,35
183696,97	2288912,3	2,15	8,89	4,93	8,14	9,76	7,861,03	129,53
201505,05	2303894,7	6,43	4,53	5,01	4,15	10,00	3,71 1,03	105,24
216000	2295333,3	6,36	5,87	7,00	6,74	10,00	7,971,03	142,73
179141,41	2276070,2	3,71	8,93	5,71	8,93	10,00	7,85 1,03	141,67
196535,35	2295333,3	6,99	4,94	4,99	4,14	10,00	5,231,03	117,24
177898,99	2278210,5	3,38	8,95	5,27	8,32	10,00	7,961,03	138,03
215585,86	2316736,8	3,02	6,09	3,60	5,81	9,47	5,28 1,04	100,83
183282,83	2291052,6	2,06	8,91	4,99	8,04	10,00	7,121,04	125,71
184525,25	2292122,8	3,73	8,84	4,96	8,07	5,93	8,081,04	134,48
184111,11	2291052,6	2,69	8,87	4,99	8,05	6,018	0,21,04	129,20
203575,76	2308175,4	4,08	4,19	7,66	6,77	9,996	3,31,04	118,40
186181,82	2293193,0	6,22	8,72	4,90	8,17	6,538	0,41,04	146,86
194050,51	2296403,5	7,18	4,83	4,99	5,88	9,53	5,76 1,04	123,37
199020,20	2307105,3	7,19	4,58	8,14	7,43	10,00	8,18 1,04	147,54
179969,70	2283561,4	2,60	8,95	4,95	8,30	9,877	7,01,04	131,77
178727,27	2275000	3,75	8,94	5,74	8,95	10,00	7,771,04	141,59
194878,79	2295333,3	7,05	4,83	4,99	5,50	9,96	4,98 1,04	118,51
182868,69	2289982,5	1,67	8,93	5,01	8,14	9,91	7,29 1,04	124,82
180383,84	2284631,6	1,15	8,96	4,94	8,09	10,00	7,541,04	123,42
191151,52	2283561,4	4,96	8,10	6,14	8,27	8,67	8,031,04	144,18
199020,20	2300684,2	6,93	4,76	4,98	6,69	10,00	5,051,05	120,38
203989,90	2297473,7	5,61	4,98	4,78	5,83	9,30	5,001,05	111,38
201919,19	2300684,2	6,11	4,69	5,21	7,81	10,006	8,81,05	128,07
198606,06	2307105,3	7,26	4,64	8,13	7,56	10,00	8,171,05	148,38
180797,98	2281421,1	1,86	8,91	4,87	8,33	10,00	7,81 1,05	128,43
204818,18	2298543,9	5,10	4,92	5,01	6,49	9,65	5,051,05	111,21
199848,48	2311386,0	5,80	4,31	8,00	7,13	10,00	8,021,05	137,70
188252,53	2295333,3	9,62	8,33	4,94	8,07	9,49	6,671,05	158,35
196949,49	2297473,7	6,96	4,82	5,00	4,35	9,36	5,35 1,05	117,01
197777,78	2304964,9	7,29	4,85	7,64	7,62	10,00	7,531,05	144,77
183696,97	2292122,8	2,92	8,88	4,99	8,03	5,63	6,90 1 05	124,38
192393,94	2291052,6	7,81	7,43	5,12	7,63	9,95	6,80 1,05	146,47
184111,11	2289982,5	2,37	8,88	5,01	8,13	0,61	7,981,05	122,32
186595,96	2293193,0	6,67	8,69	4,90	8,15	8,917	8,81,05	150,54
204404,04	2298543,9	5,27	4,91	4,84	6,49	9,404	9,61,05	110,84
199434,34	2310315,8	6,31	4,38	8,01	7,04	10,00	8,041,05	140,55
191979,80	2294263,2	8,87	5,96	4,99	7,01	9,93	7,57 1,06	148,11
179555,56	2282491,2	3,07	8,95	4,95	8,32	10,00	7,701,06	134,29
190323,23	2283561,4	4,62	8,16	6,01	8,29	8,24	8,001,06	141,74

Drastic

188666,67	2295333,3	9,76	8,21	4,95	8,03	9,32	5,751,06	153,85	
181626,26	2287842,1	1,30	8,96	4,94	8,1310,00	7,071,06		121,95	
196949,49	2295333,3	7,01	4,96	4,99	3,93	9,965,431,06		118,00	
197777,78	2302824,6	7,10	4,87	5,69	7,5610,004,531,06			123,01	
192393,94	2295333,3	8,30	5,27	4,99	6,9510,00	7,93	1,06	144,27	
194050,51	2294263,2	7,08	5,11	4,93	6,56	9,68	5,91	1,06	126,20
201505,05	2310315,8	4,99	4,03	7,98	6,8110,007,78	1,06		130,68	
184111,11	2276070,2	2,62	8,67	5,50	8,4410,008,00	1,06		134,35	
198191,92	2298543,9	7,02	4,80	4,99	5,33	9,46	5,021,06	117,70	
178313,13	2280350,9	3,20	8,95	5,35	8,8910,007,951,06			138,57	
215585,86	2295333,3	6,56	5,84	7,00	6,97	8,137,841,06		141,65	
199434,34	2307105,3	7,13	4,52	8,08	7,3410,00	8,101,06		146,34	
190737,37	2284631,6	5,18	8,11	6,01	8,25	8,858,001,06		144,94	
184111,11	2275000	2,66	8,66	4,94	8,4410,007,991,06			132,81	
178313,13	2279280,7	3,31	8,95	5,26	8,9110,00	7,96	1,07	138,96	
184111,11	2285701,8	2,55	8,83	5,01	8,2810,00	8,01	1,07	132,92	
200676,77	2298543,9	6,86	4,79	5,00	6,30	9,624,98	1,07	118,80	
211444,44	2309245,6	4,83	5,27	5,40	8,51	9,80	5,181,07	117,37	
203575,76	2313526,3	3,45	4,20	7,41	6,94	9,50	6,201,07	113,86	
211858,59	2308175,4	4,43	5,31	5,12	8,45	9,635,161,07		114,26	
199434,34	2306035,1	7,25	4,57	8,16	6,9710,00	8,181,07		147,05	
213929,29	2295333,3	6,92	5,73	7,00	7,41	8,00	7,41	1,07	141,61
184111,11	2281421,1	2,62	8,72	5,36	8,14	9,958,00	1,07	133,49	
181212,12	2286771,9	1,21	8,96	4,97	8,16	9,72	7,15	1,07	121,75
178727,27	2276070,2	3,67	8,94	5,71	8,9410,007,83	1,07		141,45	
184111,11	2279280,7	2,54	8,69	5,40	8,08	9,84	8,001,07	132,90	
202333,33	2327438,6	7,82	5,24	7,49	6,16	9,93	6,581,07	140,90	
177484,85	2277140,4	3,43	8,95	5,30	8,2810,00	7,951,07		138,40	
183696,97	2293193,0	3,53	8,86	4,93	8,03	9,736,961,07		131,66	
199020,20	2309245,6	6,89	4,48	8,03	7,1910,008,051,07			144,33	
200676,77	2317807,0	9,30	4,84	6,66	3,0210,00	7,361,07		141,91	
182040,40	2288912,3	1,42	8,95	4,95	8,1310,007,051,07			122,49	
180797,98	2285701,8	1,14	8,96	5,06	8,19	9,947,281,07		122,65	
201919,19	2297473,7	6,48	4,89	4,91	6,24	9,305,001,07		116,71	
179555,56	2281421,1	3,21	8,94	4,89	8,3310,00	7,741,07		135,10	
215585,86	2331719,3	7,97	5,46	6,74	3,54	9,89	6,791,07	136,03	
201505,05	2301754,4	6,22	4,64	5,18	6,8210,00	5,851,07		121,32	
198191,92	2309245,6	6,99	4,64	8,13	7,3810,00	8,201,08		146,88	
184111,11	2277140,4	2,59	8,68	5,47	8,4310,00	8,001,08		134,18	
199020,20	2306035,1	7,26	4,63	8,20	7,1710,00	8,231,08		148,11	
184111,11	2278210,5	2,56	8,69	5,44	8,07	9,248,001,08		132,47	
216000	2326368,4	2,61	5,61	5,33	5,4310,00	7,021,08		110,66	
203161,62	2296403,5	6,08	5,04	4,98	5,8410,004,91	1,08		114,98	
210616,16	2286771,9	8,09	6,05	7,01	8,15	8,66	7,991,08	153,84	
199848,48	2304964,9	7,23	4,58	6,29	6,3010,00	6,31	1,08	130,70	
198191,92	2306035,1	7,30	4,75	7,50	7,6410,00	8,091,08		146,95	
194464,65	2294263,2	7,00	5,11	4,93	6,28	9,26	5,591,08	123,23	
177898,99	2275000	3,66	8,94	5,92	8,3210,00	7,91	1,08	141,28	
191979,80	2283561,4	5,11	7,99	5,85	8,49	9,45	8,11	1,08	145,33
198606,06	2306035,1	7,32	4,68	7,80	7,4110,00	8,181,08		147,69	
184939,39	2292122,8	4,16	8,82	4,94	8,07	8,56	8,081,08	139,23	
184111,11	2280350,9	2,58	8,71	5,41	8,1210,00	8,001,08		133,44	
197777,78	2309245,6	6,92	4,72	8,19	7,4610,00	8,251,09		147,47	
178313,13	2275000	3,70	8,94	5,92	8,9610,007,91	1,09		142,79	
189080,81	2295333,3	9,82	8,05	4,97	7,92	8,13	5,41	1,09	150,43
215585,86	2287842,1	8,54	6,17	5,62	7,69	8,21	8,05	1,09	151,37
201090,91	2327438,6	7,51	5,27	7,00	7,02	9,76	5,361,09	133,51	
200676,77	2296403,5	6,86	4,96	5,00	5,33	9,80	4,991,09	117,82	
208545,45	2324228,1	5,84	5,25	7,32	6,6110,00	6,901,09		133,15	

Drastic

198191,92	2310315,8	6,60	4,62	8,14	7,2210,00	818	1,09	144,54			
198191,92	2301754,4	7,03	4,82	5,39	7,2310,00	4,701,09		121,87			
214343,43	2287842,1	8,37	6,13	5,86	7,85	9,89	8,051,09	153,04			
179555,56	2283561,4	2,56	8,95	4,95	8,25	9,78	7,671,09	131,33			
182454,55	2289982,5	1,53	8,94	5,00	8,1910,00	7,061,09		123,38			
200262,63	2298543,9	6,93	4,79	4,99	6,14	9,53	4,991,09	118,81			
200262,63	2299614,0	6,80	4,74	4,96	6,7710,00	5,371,09		121,51			
180383,84	2285701,8	1,01	8,96	5,07	8,1910,00	7,191,09		121,67			
184111,11	2286771,9	2,45	8,84	4,96	8,2410,00	8,021,09		132,32			
190737,37	2283561,4	4,72	8,11	6,08	8,21	8,44	8,01	1,09	142,46		
202333,33	2297473,7	6,31	4,91	4,89	6,11	9,42	5,041,09		115,96		
201090,91	2299614,0	6,56	4,74	4,95	7,1710,00	5,831,09		123,35			
202333,33	2300684,2	5,89	4,69	5,46	7,6910,00	6,761,09		127,04			
214343,43	2292122,8	7,47	5,93	6,84	7,08	9,607,801,09		147,61			
184111,11	2282491,2	2,64	8,73	5,31	8,15	9,97	8,001,09		133,64		
208545,45	2325298,2	7,01	5,26	7,96	6,2610,00	7,921,09		145,40			
209373,74	2292122,8	6,15	5,71	5,81	7,5610,00	7,89	1,09		138,88		
184111,11	2287842,1	2,46	8,86	4,95	8,1910,00	8,001,09			132,22		
179969,70	2284631,6	2,19	8,95	4,95	7,95	9,77	7,48	1,10	127,97		
177898,99	2279280,7	3,27	8,95	5,37	8,3110,00	7,961,10			137,94		
196535,35	2308175,4	6,79	4,99	6,13	7,7510,00	5,291,10			127,56		
177484,85	2278210,5	3,33	8,95	5,31	8,2810,00	7,961,10			138,01		
215171,72	2286771,9	8,71	6,17	5,84	7,93	7,768,121,10			153,26		
211858	59	2327438,6	5,34	5,39	7,67	3,62	9,96	7,65	1	10	130,02
199020,20	2310315,8	6,51	4,46	8,02	7,0810,00	8,041,10			142,12		
200676,77	2299614,0	6,69	4,74	4,95	6,9410,00	5,59	1,10		122,36		
213101,01	2326368,4	3,76	5,46	7,14	5,0110,00	7,791,10			124,34		
193636,36	2297473,7	7,03	5,13	4,97	6,2610,00	5,331,10			123,08		
199848,48	2299614,0	6,87	4,75	4,97	6,5910,00	5,201,10			120,74		
211444,44	2304964,9	2,64	5,21	5,12	8,17	9,28	5,03	1,10		103,48	
196535,35	2297473,7	6,95	4,83	4,98	4,45	9,16	5,291,10			116,83	
198191,92	2296403,5	7,03	4,89	5,00	3,9610,00	5,491,10			118,33		
212272,73	2306035,1	3,51	5,33	4,41	6,38	9,404,531,10			100,24		
183696,97	2294263,2	4,14	8,83	4,87	8,0410,00	7,53	1,10		137,64		
193636,36	2296403,5	7,31	4,88	4,98	6,1610,00	6,341,10			128,36		
184525,25	2291052,6	3,11	8,85	4,99	8,06	5,748,01	1,10		131,14		
183282,83	2292122,8	2,57	8,89	5,00	8,01	9,715,88	1,10		121,81		
211444,44	2306035,1	3,03	5,21	5,16	8,17	9,425,041,10			105,79		
182868,69	2291052,6	1,87	8,92	4,99	8,03	9,77	6,671,10		122,48		
184111,11	2288912,3	2,44	8,87	4,93	8,14	7,73	7,96	1,10	129,56		
180797,98	2286771,9	1,09	8,96	5,04	8,44	9,817,15	1,10		122,18		
203161,62	2326368,4	8,47	5,21	7,64	4,1610,00	8,081,10			148,08		
204404,04	2297473,7	5,43	4,99	4,73	5,72	9,144,971,10			110,06		
190323,23	2284631,6	5,06	8,17	5,93	8,26	9,418,001,11			145,03		
210616,16	2294263,2	5,61	5,59	5,16	7,8510,00	7,93	1,11		134,60		
197363,64	2295333,3	7,02	4,98	4,99	3,9110,00	5,50	1,11		118,64		
178313,13	2276070,2	3,62	8,94	5,24	8,9510,00	7,971,11			140,66		
177898,99	2280350,9	3,15	8,95	5,37	8,3110,00	7,95	1,11		137,39		
199848,48	2298543,9	6,96	4,79	4,98	5,98	9,46	4,99	1,11	118,58		
212686,87	2307105,3	4,35	5,41	4,64	6,65	9,50	5,31	1,11	109,99		
196121,21	2284631,6	5,69	7,26	6,48	8,84	8,86	8,071,11		147,20		
184111,11	2283561,4	2,65	8,75	5,26	8,31	9,99	8,00	1,11	133,96		
200262,63	2313526,3	5,91	4,39	8,00	7,6510,00	8,001,11			139,75		
181212,12	2287842,1	1,19	8,96	4,95	8,13	9,946,90	1,11		120,67		
178727,27	2281421,1	3,11	8,95	5,08	8,8410,00	7,741,11			136,32		
208959,60	2325298,2	6,52	5,28	7,87	6,1910,00	7,891	1,11		142,48		
196121,21	2308175,4	6,69	5,08	5,43	7,7610,00	4,481,11			121,31		
216000	2316736,8	3,07	6,15	3,70	5,1810,00	4,78	1,11		98,65		
197777,78	2284631,6	6,34	6,93	6,22	8,90	9,95	8,03	1,11	149,35		

Drastic

203161,62	2299614,0	5,73	4,78	5,19	7,1910,00	5,631,12	119,19
179141,41	2282491,2	3,02	8,95	5,07	8,81	10,00 7,721,12	135,70
201505,05	2295333,3	6,61	5,11	4,99	5,6210,00	5,01 1,12	118,11
199020,20	2317807,0	7,33	5,00	8,20	3,2910,00	7,73 1,12	139,82
198191,92	2314596,5	6,26	4,81	8,12	6,5410,00	8,091,12	141,78
200262,63	2311386,0	5,56	4,23	8,01	7,0210,00	8,021,12	136,25
209787,88	2292122,8	6,25	5,73	6,15	7,4010,00	7,781,12	139,63
199434,34	2298543,9	6,97	4,79	4,98	5,77	9,44 4,991,12	118,23
197363,64	2284631,6	6,09	7,00	6,29	8,86	9,748,11 1,12	148,69
204404,04	2292122,8	6,64	5,59	5,31	6,93	7,917,28 1,12	133,04
190323,23	2285701,8	5,40	8,29	5,61	8,47	9,258,021,12	146,67
184111,11	2284631,6	2,56	8,83	5,20	8,2910,00	8,01 1,13	133,76
212272,73	2291052,6	7,25	5,92	5,68	7,6410,00	6,421,13	137,72
208131,31	2325298,2	7,57	5,25	7,98	6,3310,00	7,851,13	148,06
192393,94	2310315,8	4,21	5,85	4,98	6,3710,00	5,151,13	111,28
201090,91	2298543,9	6,73	4,80	4,97	6,44	9,485,081,13	118,88
196949,49	2284631,6	5,89	7,14	6,46	8,89	8,328,141,13	147,61
199434,34	2299614,0	6,92	4,76	4,98	6,3610,00	5,061,13	120,00
198191,92	2312456,1	5,67	4,66	8,05	7,1610,007,921,13		138,47
199020,20	2318877,2	7,42	5,08	7,87	5,61	9,85 7,75 1,13	144,30
181626,26	2288912,3	1,31	8,96	4,95	8,13	9,98 6,871,13	121,22
213515,15	2304964,9	3,64	5,48	4,45	6,38	9,244,45 1,13	101,09
185353,54	2292122,8	4,62	8,79	4,97	8,08	7,847,961,14	140,41
197777,78	2310315,8	6,52	4,70	8,18	7,2910,00	8,231,14	145,12
198606,06	2300684,2	6,96	4,78	5,00	6,7310,00	4,991,14	120,75
211858,59	2328508,8	7,00	5,38	7,43	3,06	9,84 7,401,14	135,18
179141,41	2281421,1	3,16	8,95	5,07	8,8410,00	7,761,14	136,70
177484,85	2275000	3,62	8,94	5,29	8,2910,007,91	1,14	139,25
198191,92	2307105,3	7,21	4,71	8,02	7,6910,00	8,021,14	147,82
198606,06	2284631,6	6,99	6,82	6,09	8,98	9,417,81 1,14	150,36
199848,48	2307105,3	7,08	4,46	8,00	7,2610,00	8,00 1,14	145,19
189494,95	2284631,6	4,79	8,39	5,72	8,35	9,128,01 1,14	144,00
198606,06	2296403,5	7,01	4,90	5,00	4,27	9,945,291,14	117,96
213101,01	2329578,9	5,15	5,42	7,74	2,51	9,997,741,14	127,77
189494,95	2295333,3	9,81	7,81	4,98	7,81	7,03 5,981,14	151,16
201505,05	2302824,6	6,27	4,58	5,03	5,2710,004,621,14		111,84
201919,19	2309245,6	5,02	4,08	7,88	6,70	9,93 7,421,14	128,93
184525,25	2275000	2,74	8,65	4,96	8,4410,00	7,981,14	133,36
198191,92	2311386,0	6,13	4,63	8,08	7,2010,00	8,161,14	141,99
177070,71	2278210,5	3,29	8,95	5,44	8,7910,007,961,14		139,39
198606,06	2310315,8	6,60	4,54	8,07	7,1510,00	8,101,14	143,61
200262,63	2296403,5	6,91	4,94	5,00	5,20	9,85 5,001,14	118,03
212272,73	2289982,5	7,50	5,99	7,05	7,1610,007,85	1,15	149,67
214757,58	2330649,1	6,93	5,46	7,77	3,22	9,46 7,791,15	138,07
199848,48	2306035,1	7,23	4,52	8,02	6,8410,00	8,021,15	145,51
213515,15	2295333,3	6,78	5,70	7,00	7,28	8,11 7,21 1,15	139,88
213515,15	2329578,9	4,48	5,43	7,55	2,6310,00	7,56 1,15	123,24
199434,34	2308175,4	6,92	4,46	8,04	7,2210,00	8,06 1,15	144,74
212272,73	2326368,4	4,16	5,42	7,53	4,7510,00	7,91 1,15	127,55
183696,97	2295333,3	4,72	8,80	4,85	8,0810,00	7,67 1,15	141,27
197777,78	2307105,3	7,16	4,78	7,80	7,7810,00	8,191,15	148,29
177898,99	2276070,2	3,57	8,94	5,26	8,3210,00	7,971,15	139,32
200262,63	2304964,9	7,15	4,54	5,62	6,0710,00	5,621,15	124,53
179555,56	2284631,6	2,15	8,96	4,96	7,96	9,767,421,15	127,66
179969,70	2285701,8	0,95	8,98	5,07	8,19	9,907,101,15	121,08
182040,40	2289982,5	1,42	8,95	5,00	8,1310,00	6,741,15	121,33
199020,20	2296403,5	6,99	4,91	5,00	4,57	9,855,16 1,15	117,87
177484,85	2279280,7	3,23	8,95	5,40	8,2810,00	7,951,15	137,90
192393,94	2313526,3	2,39	5,80	5,80	5,88	9,58 5,271 15	103,67