

01162



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE
MAESTRÍA Y DOCTORADO
EN INGENIERÍA

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS DE
CALIDAD DE AGUA BASADO EN UN SISTEMA
DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, APLICACIÓN
AL ACUÍFERO DE IRAPUATO-VALLE, GTO.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA PRESENTA:

HIDRAULICA

JOSÉ DE JESÚS MORA RODRÍGUEZ

DIRECTOR DE TESIS:

M. C. CARLOS GUTIÉRREZ OJEDA



JIUTEPEC, MORELOS, 2005

m 345707



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: José de Jesús Mora Rodríguez

FECHA: 15 de Junio de 2005

FIRMA: [Firma manuscrita]

*A mi esposa Vicky,
A mis papás Lupita y Chucho Mora,
A mis sobrinos y hermanas.*

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología**

por la beca recibida, con su apoyo estoy realizando mi proyecto de vida.

A la **División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería**

a la **Dirección General de Estudios de Posgrado**

y a la **Universidad Nacional Autónoma de México**

por contribuir a la culminación de un objetivo, por permitirme formarme y ser parte de ustedes.

A mi esposa Xitlali Delgado, por ser mi motivación y por permitir compartir nuestros proyectos de vida. Gracias por todo tu amor y tu apoyo incondicional.

Al M.C. Carlos Gutiérrez Ojeda por brindarme su asesoría, tiempo y experiencia para la realización de esta tesis.

Al M.Sc. Jorge Arturo Hidalgo Toledo por aceptar ser el presidente del jurado.

A los Drs. Aldo Iván Ramírez Orozco, Graciela Herrera Zamarrón y Miguel Ángel Mejía González por sus observaciones y comentarios.

Al Fis. Luis González Hita y al Estudio de Contaminación Difusa en el Agua Subterránea en el Acuífero Irapuato-Valle, Gto. por su convivencia, experiencia y apoyo recibido para la realización de esta tesis.

Al M.I. Ernesto Aguilar Garduño por su enseñanza y apoyo en los trabajos referidos al sistema de información geográfica.

A mis profesores, compañeros y amigos del Campus Morelos por compartir sus conocimientos, experiencias y por estos 3 años de aventura, viajes, fiestas, risas, por todo lo bueno y por lo otro, gracias por todo.

A mis papás, por su apoyo y amor,

A mi familia, A mis amigos, por compartir tantos momentos, gracias por su tiempo y amistad.

A Dios.

INDICE GENERAL

1.	JUSTIFICACIÓN	1
1.1.	ANTECEDENTES	1
1.2.	OBJETIVOS	1
1.3.	METODOLOGÍA	2
1.4.	RESULTADOS ESPERADOS	3
1.5.	DESCRIPCIÓN GENERAL	3
2.	INTRODUCCIÓN	5
3.	MARCO FÍSICO	7
3.1.	INTRODUCCIÓN AL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DEL ACUÍFERO IRAPUATO-VALLE, GTO. "SIG_IRAVALLE"	7
3.2.	LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	7
3.3.	CENTROS DE POBLACIÓN Y VIAS DE COMUNICACIÓN	11
3.4.	ACTIVIDAD ECONÓMICA.....	12
3.5.	MEDIO AMBIENTE, CLIMA E HIDROGRAFÍA	16
3.6.	FISIOGRAFÍA Y GEOLOGÍA.....	20
3.7.	GEOFÍSICA Y CORTES LITOLÓGICOS.....	23
3.8.	HIDROGEOLOGÍA	26
3.9.	USOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y APROVECHAMIENTOS SUBTERRÁNEOS.....	26
3.10.	SISTEMA ACUÍFERO Y FLUJO SUBTERRÁNEO	30
3.11.	MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO	34
3.12.	PRINCIPALES RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS.....	37
	SARH, 1979.....	37
	CEASG, 1998.....	38
	CNA, 2003.....	39
3.13.	CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA	40
4.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	48
4.1.	TEORÍA.....	48
4.2.	ELECCIÓN DEL TIPO DE PRUEBA.....	51
4.2.1.	PRUEBA DE U DE MANN – WHITNEY.....	52
4.2.2.	TABLA DE CONTINGENCIA	56
4.2.3.	PRUEBA DE PROBABILIDAD EXACTA DE FISHER.....	58
5.	APLICACIÓN DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO AL ACUÍFERO DE IRAPUATO – VALLE	60
5.1.	EVOLUCIÓN TEMPORAL	60
5.1.1.	PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y SELECCIÓN DEL NIVEL DE SIGNIFICANCIA	60
5.1.2.	PREPARACIÓN PARA EL CÁLCULO DEL ESTADÍSTICO DE PRUEBA	61
5.1.3.	EJEMPLO DE LAS PRUEBAS ESTADÍSTICAS	63
	PRUEBA DE U DE MANN-WHITNEY (MUESTRAS GRANDES)	63
	PRUEBA DE U MANN WHITNEY (MUESTRAS PEQUEÑAS)	68
	PRUEBA DE LA TABLA DE CONTINGENCIA	69
	PRUEBA DE LA PROBABILIDAD EXACTA DE FISHER	74
5.1.4.	RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA EVOLUCIÓN TEMPORAL.....	76
	COMPARACIÓN REGIONAL.....	76
	COMPARACIÓN LOCAL (IRAPUATO)	77
	COMPARACIÓN LOCAL (SALAMANCA).....	79
5.2.	EVOLUCIÓN ESPACIAL.....	81
5.2.1.	DEFINICIÓN DE LAS ZONAS DE ANÁLISIS.....	81
	ZONAS DE CONTROL.....	83
	ZONAS DE DESARROLLO	83
	ZONAS ESPECIALES.....	84

5.2.2.	DISTRIBUCIÓN DE APROVECHAMIENTOS POR ZONAS EN LOS AÑOS DE MUESTREO REGIONAL	85
	MUESTREO DE 1979	86
	MUESTREO DE 1998	89
	MUESTREO DE 2003	91
5.2.3.	RESUMEN DE RESULTADOS DE LA EVOLUCIÓN ESPACIAL	93
	MUESTREO DE 1979	93
	MUESTREO DE 1998	95
	MUESTREO DE 2003	96
5.3.	EVOLUCIÓN A PROFUNDIDAD	99
	MUESTREO DE 1998	100
	MUESTREO DE 2003	103
5.4.	INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	106
5.4.1.	EVOLUCIÓN TEMPORAL	107
	NIVEL REGIONAL	107
	NIVEL LOCAL	115
5.4.2.	EVOLUCIÓN ESPACIAL	124
	MUESTREO DE 1979	124
	MUESTREO DE 1998	136
	MUESTREO DE 2003	138
5.4.3.	EVOLUCIÓN A PROFUNDIDAD	150
	MUESTREO DE 1998	150
	MUESTREO DE 2003	152
5.5.	INTEGRACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA AL MODELO CONCEPTUAL	157
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	160
7.	BIBLIOGRAFÍA	162

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1.	Límites del Acuífero Irapuato – Valle, Gto.	7
Tabla 3.2.	Municipios que integran al Acuífero Irapuato - Valle	10
Tabla 3.3.	Actividad económica (INEGI, 2001)	13
Tabla 3.4.	Uso de suelo (INEGI, 2000)	13
Tabla 3.5.	Red de distribución y drenaje agrícola de los principales módulos de riego de la zona de estudio (ASOSID, 2003)	15
Tabla 3.6.	Áreas naturales protegidas de control estatal en la zona de estudio	17
Tabla 3.7.	Localización de los sondeos eléctrico verticales (CEASG, 1998)	23
Tabla 3.8.	Pozos que cuentan con información litológica de la JAPAMI (2003)	24
Tabla 3.9.	Pozos que cuentan con información litológica del CMAPAS (2003)	24
Tabla 3.10.	Calibración de la información geológica – geofísica (CEASG, 1998)	24
Tabla 3.11.	Disponibilidad media anual en el Acuífero Irapuato – Valle, Gto. (Mm ³ /año)	30
Tabla 3.12.	Parámetros medidos en los estudios de alcance regional	41
Tabla 3.13.	Parámetros medidos en los monitoreos realizados en la ciudad de Irapuato	45
Tabla 3.14.	Parámetros medidos en los monitoreos realizados en la ciudad de Salamanca	46
Tabla 4.1.	Pruebas paramétricas más utilizadas	50
Tabla 4.2.	Pruebas no paramétricas más utilizadas	50
Tabla 4.3.	Valores críticos de U en la prueba de Mann-Whitney (n entre 1 y 20)	54
Tabla 4.4.	Valores críticos de z para pruebas unilaterales y bilaterales en varios niveles de significancia	55
Tabla 4.5.	Tabla de contingencia 2X2	56
Tabla 4.6.	Valores críticos de la distribución X ² (extremo superior)	57
Tabla 5.1.	Parámetros considerados para el análisis estadístico, comparación regional	61
Tabla 5.2.	Parámetros considerados para el análisis estadístico, comparación local (Irapuato)	61
Tabla 5.3.	Parámetros considerados para el análisis estadístico, comparación local (Salamanca)	62
Tabla 5.4.	Resumen de la conductividad eléctrica (1979-1998)	63
Tabla 5.5.	Valores medidos de conductividad eléctrica en 1979	63
Tabla 5.6.	Valores medidos de conductividad eléctrica en 2003	64
Tabla 5.7.	Rango de los valores de conductividad eléctrica para 1979 y 2003	65
Tabla 5.8.	Valores críticos de z para un nivel de significancia de 0.05 y una prueba bilateral	67
Tabla 5.9.	Resumen de la conductividad eléctrica (abril de 1997 - diciembre de 2003)	68
Tabla 5.10.	Resumen del Hierro (1998 - 2003)	70
Tabla 5.11.	Valores medidos de hierro en 1998	70
Tabla 5.12.	Valores medidos de hierro en 2003	71
Tabla 5.13.	Tabla de contingencia del hierro (1998-2003)	71
Tabla 5.14.	Valores críticos de distribución de X ² cuadrada para un grado de libertad	72
Tabla 5.15.	Resumen del Hierro (Mayo 03 – Nov 03)	74
Tabla 5.16.	Tabla 2X2 del hierro (Mayo 03 – Nov 03)	74
Tabla 5.17.	Determinación de las f _e para la comparación local may-nov de 2003	75
Tabla 5.18.	Valores calculados de z en la comparación regional	76
Tabla 5.19.	Valores calculados de X ² en la comparación regional	77
Tabla 5.20.	Valores calculados de U en la comparación local de Irapuato	77
Tabla 5.21.	Valores calculados de z en la comparación local de Irapuato	78
Tabla 5.22.	Valores calculados de X ² en la comparación local de Irapuato	78
Tabla 5.23.	Valores calculados de P en la comparación local de Irapuato	79
Tabla 5.24.	Valores calculados de U en la comparación local de Salamanca	79
Tabla 5.25.	Valores calculados de z en la comparación local de Salamanca	80
Tabla 5.26.	Valores calculados de X ² en la comparación local de Salamanca	80
Tabla 5.27.	Valores calculados de P en la comparación local de Salamanca	81

Tabla 5.28.	Resumen de aprovechamientos muestreados en 1979 por zona	87
Tabla 5.29.	Comparaciones entre las zonas de recarga y zonas de desarrollo para 1979	87
Tabla 5.30.	Comparaciones entre zonas con características similares para 1979	88
Tabla 5.31.	Resumen de aprovechamientos muestreados en 1998 por zona	90
Tabla 5.32.	Comparaciones entre zonas con características similares para 1998	90
Tabla 5.33.	Resumen de aprovechamientos muestreados en 2003 por zona	92
Tabla 5.34.	Comparaciones entre las zonas de recarga y zonas de desarrollo para 2003	92
Tabla 5.35.	Comparaciones entre zonas con características similares para 2003	93
Tabla 5.36.	Valores calculados de U en la comparación espacial de 1979	93
Tabla 5.37.	Valores calculados de z en la comparación espacial de 1979	94
Tabla 5.38.	Valores calculados de X^2 en la comparación espacial de 1979	94
Tabla 5.39.	Valores calculados de P en la comparación espacial de 1979	95
Tabla 5.40.	Valores calculados de U en la comparación espacial de 1998	95
Tabla 5.41.	Valores calculados de P en la comparación espacial de 1998	96
Tabla 5.42.	Valores calculados de U para la comparación espacial de 2003	96
Tabla 5.43.	Valores calculados de U para las zonas de un mismo uso, 2003	97
Tabla 5.44.	Valores calculados de X^2 en la comparación espacial de 2003	98
Tabla 5.45.	Valores calculados de X^2 para las zonas de un mismo uso, 2003	98
Tabla 5.46.	Valores calculados de P en la comparación espacial de 2003	98
Tabla 5.47.	Valores calculados de P para las zonas de un mismo uso, 2003	99
Tabla 5.48.	Aprovechamientos monitoreados en 1998	100
Tabla 5.49.	Valores calculados de U en la comparación a profundidad para 1998	102
Tabla 5.50.	Valores calculados de P en la comparación a profundidad de 1998	102
Tabla 5.51.	Aprovechamientos con profundidad total conocida monitoreados en 2003	103
Tabla 5.52.	Valores calculados en la prueba de Mann-Whitney en la comparación a profundidad de 2003	105
Tabla 5.53.	Valores calculados en la prueba de tabla de contingencia en la comparación a profundidad de 2003	105
Tabla 5.54.	Valores calculados en la prueba de P en la comparación a profundidad de 2003	106
Tabla 5.55.	Resumen de la comparación regional	108
Tabla 5.56.	Resumen de la comparación local de Irapuato	115
Tabla 5.57.	Resumen de la comparación local de Salamanca	120
Tabla 5.58.	Resumen de la comparación espacial de 1979	125
Tabla 5.59.	Resumen de la comparación entre zonas de mismo tipo de 1979	127
Tabla 5.60.	Resumen de la comparación espacial de 1998	136
Tabla 5.61.	Resumen de la comparación espacial de 2003	138
Tabla 5.62.	Resumen de la comparación de zonas iguales de 2003	141
Tabla 5.63.	Resumen de la comparación a profundidad de 1998	150
Tabla 5.64.	Resumen de la comparación a profundidad de 2003	152

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1.	Localización geográfica de la zona de estudio	8
Figura 3.2.	Municipios que integran la zona acuífera	9
Figura 3.3.	Toponimia de la zona de estudio.....	11
Figura 3.4.	Centros de población y vías de comunicación.....	12
Figura 3.5.	Uso de Suelo (INEGI, 2000).....	14
Figura 3.6.	Módulos del Distrito de Riego 011 en la zona de estudio.....	15
Figura 3.7.	Áreas naturales protegidas	16
Figura 3.8.	Clima según la clasificación de Köppen	17
Figura 3.9.	Cuencas hidrológicas de la Sub-región Medio Lerma.....	18
Figura 3.10.	Subcuencas del Río Lerma e hidrografía de la zona de estudio	19
Figura 3.11.	Fisiografía de la zona de estudio	20
Figura 3.12.	Geología superficial de la zona estudio	22
Figura 3.13.	Corte ABC y proyecciones para la construcción de los perfiles 1 y 2	25
Figura 3.14.	Corte litológico en perfil	25
Figura 3.15.	Censo general de pozos (CEASG, 1998)	27
Figura 3.16.	Pozos que opera la Junta de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Irapuato (JAPAMI)	28
Figura 3.17.	Pozos que opera el Comité Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Salamanca (CMAPAS)	29
Figura 3.18.	Topografía en la zona de estudio	31
Figura 3.19.	Elevación del nivel estático para septiembre de 1979	32
Figura 3.20.	Elevación del nivel estático para julio de 1998	33
Figura 3.21.	Elevación del nivel estático para junio de 2003	34
Figura 3.22.	Modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico, vista en planta (junio, 2003)	35
Figura 3.23.	Modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico, perfil 1.....	36
Figura 3.24.	Modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico, perfil 2.....	36
Figura 3.25.	Pozos monitoreados para la calidad del agua subterránea, 1979.....	42
Figura 3.26.	Pozos monitoreados para la calidad del agua subterránea, 1998.....	43
Figura 3.27.	Pozos monitoreados para la calidad del agua subterránea, 2003.....	44
Figura 3.28.	Pozos reportados por la Secretaria de Salud, Estado de Guanajuato.....	47
Figura 5.1.	Áreas de aceptación y rechazo en prueba bilateral y nivel de significancia de 0.05	68
Figura 5.2.	Grafica de la distribución de ji cuadrada para un grado de libertad.....	74
Figura 5.3.	Zonas de Estudio para el análisis de evolución espacial	82
Figura 5.4.	Esquema de las comparaciones realizadas	85
Figura 5.5.	Aprovechamientos muestreados en 1979 en la zona de estudio	86
Figura 5.6.	Aprovechamientos muestreados en 1998 en la zona de estudio	89
Figura 5.7.	Aprovechamientos muestreados en 2003 en la zonas de estudio.....	91
Figura 5.8.	Profundidad de los aprovechamientos muestreados en 1998	101
Figura 5.9.	Profundidad de los aprovechamientos muestreados en 2003 y su distribución.....	104
Figura 5.10.	Concentración del hierro en la comparación regional.....	109
Figura 5.11.	Concentración del magnesio en la comparación regional	110
Figura 5.12.	Valores de la conductividad eléctrica en la comparación regional	110
Figura 5.13.	Variación de la temperatura en la comparación regional.....	111
Figura 5.14.	Concentración de sólidos disueltos totales en la comparación regional	112
Figura 5.15.	Concentración del cloruro en la comparación regional	113
Figura 5.16.	Elevaciones del nivel estático en época de estiaje a nivel regional.....	114
Figura 5.17.	Elevaciones del nivel estático en época de lluvia a nivel regional.....	114
Figura 5.18.	Concentración de pH en la comparación local de Irapuato.....	117
Figura 5.19.	Concentración de sólidos disueltos totales en la comparación local de Irapuato	117

Figura 5.20.	Concentración de sulfato en la comparación local de Irapuato	118
Figura 5.21.	Concentración de nitrógeno en nitratos en la comparación local de Irapuato	119
Figura 5.22.	Concentración de pH en la comparación local de Salamanca.....	121
Figura 5.23.	Concentración de sólidos disueltos totales en la comparación local de Salamanca	122
Figura 5.24.	Variación de la temperatura en la comparación local de Salamanca	122
Figura 5.25.	Concentración del cloruro para la comparación local de Salamanca.....	123
Figura 5.26.	Concentración del nitrógeno en nitrato para la comparación local de Salamanca.....	124
Figura 5.27.	Valores de temperatura para la comparación espacial de 1979	129
Figura 5.28.	Configuración de la temperatura de 1979.....	130
Figura 5.29.	Configuración de sólidos disueltos totales de 1979.....	131
Figura 5.30.	Concentración de sólidos disueltos totales para la comparación espacial de 1979	131
Figura 5.31.	Concentración de calcio para la comparación espacial de 1979	132
Figura 5.32.	Concentración de potasio para la comparación espacial de 1979.....	133
Figura 5.33.	Concentración de cloruro para la comparación espacial de 1979	134
Figura 5.34.	Configuración del cloruro en 1979.....	136
Figura 5.35.	Valores de Temperatura en la comparación espacial de 1998	137
Figura 5.36.	Concentraciones de hierro en la comparación espacial de 1998	138
Figura 5.37.	Concentraciones de sólidos disueltos totales para la comparación espacial de 2003	145
Figura 5.38.	Configuración de sólidos disueltos totales y su distribución en las zonas de estudio	145
Figura 5.39.	Valores de temperatura en la comparación espacial de 2003	146
Figura 5.40.	Concentraciones de cloruro para la comparación de 2003	147
Figura 5.41.	Configuración de cloruro para la comparación de 2003	147
Figura 5.42.	Concentraciones de sodio para la comparación de 2003	148
Figura 5.43.	configuración de sodio para la comparación de 2003	149
Figura 5.44.	concentración de arsénico para la comparación de 2003	149
Figura 5.45.	Concentración de sólidos disueltos totales en la comparación a profundidad en 1998....	151
Figura 5.46.	Concentración de calcio en la comparación a profundidad en 1998	151
Figura 5.47.	Concentración de sólidos disueltos totales en la comparación a profundidad en 2003....	154
Figura 5.48.	Valores de temperatura en la comparación a profundidad de 2003	154
Figura 5.49.	Concentración de pH en la comparación a profundidad en 2003	155
Figura 5.50.	Concentración de sodio en la comparación a profundidad en 2003.....	155
Figura 5.51.	Concentración del fluoruro en la comparación a profundidad en 2003	156
Figura 5.52.	Concentración de la dureza total en la comparación a profundidad en 2003	156

1. JUSTIFICACIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El agua subterránea hoy en día es fundamental para el ser humano y en la región del bajío no es la excepción, pues en la zona del acuífero de Irapuato-Valle, Gto. representa la principal fuente de abastecimiento de agua. La CNA, Desde 1990 ha contemplado planes específicos para eliminar la carga contaminante de las descargas provenientes de los sectores industrial, urbano y agropecuario, sin embargo, aún persiste la influencia de dichas descargas las que en su mayoría tienen como destino final el Río Lerma y el acuífero subyacente, afectando de manera importante la calidad del agua subterránea. La Secretaría de Salud del Estado de Guanajuato ha practicado monitoreos puntuales en pozos de abastecimiento público relacionados con problemas de enfermedades relacionadas con el consumo de agua contaminada, por lo que al igual que la Secretaría de Salud, el departamento de calidad del agua de la gerencia estatal de Guanajuato de la CNA ha requerido conocer las condiciones en las que se encuentra la calidad del agua en ciertas zonas de la región del valle. Por otro lado, la preocupación del departamento de aguas subterráneas de la misma gerencia se ha interesado en conocer si las precipitaciones pluviales extraordinarias de las últimas temporadas, así como las inundaciones ocurridas en la temporada de lluvias de 2003 han afectado la calidad del agua subterránea.

Por lo anterior, es de fundamental importancia evaluar la calidad del agua subterránea, conocer su evolución a través del tiempo, relacionar la variación de la calidad del agua subterránea en base a las actividades que tienen lugar en cada sitio en específico de la región, identificar los procesos físicos, químicos y biológicos que controlan la presencia y el comportamiento de los contaminantes en el acuífero con respecto al sistema geohidrológico de la zona de estudio.

1.2. OBJETIVOS

Realizar un análisis de la evolución temporal en base a pruebas estadísticas para identificar con cierto grado de incertidumbre la variación de la calidad del agua subterránea en el acuífero Irapuato-Valle, Gto.

Analizar la calidad del agua subterránea que se presenta en cada una de las zonas características de un acuífero, como son la recarga y descarga; e identificar los parámetros característicos de las zonas desarrolladas dentro del acuífero al compararlas con respecto a las zonas de recarga y determinar los parámetros que afectan cada una de las zonas de desarrollo a la variación de la calidad del agua subterránea además de atribuir la contaminación de las actividades urbanas, agrícolas e industriales a la

degradación de la calidad del agua subterránea. Por otro lado, relacionar la calidad del agua subterránea con respecto al medio geohidrológico presente en la zona de estudio a nivel regional y local.

Corroborar los resultados que han arrojado estudios realizados en el acuífero Irapuato-Valle a nivel regional con los datos que se obtienen de las pruebas estadísticas para probar la consistencia de la técnica empleada que determina las evoluciones antes establecidas.

Cubrir las necesidades planteadas de conocer las condiciones de la calidad del agua subterránea en el tiempo y el espacio para identificar en que parte del proceso se encuentra el acuífero con respecto a su explotación y a evoluciones meteorológicas que impactan directamente en la recarga del acuífero.

1.3. METODOLOGÍA

Realizar una descripción de la zona de estudio y conocer el panorama general de la región del acuífero de Irapuato-Valle, Gto.

Identificar los estudios realizados en la región del acuífero así como los monitoreos practicados en cada uno de ellos y los resultados que se han obtenido a partir de las interpretaciones de cada estudio.

A partir de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos obtenidos en los diferentes monitoreos realizados para determinar la calidad del agua subterránea en la zona de estudio, se realizarán pruebas estadísticas a través de análisis de datos ordenados por rango y análisis de datos de nivel nominal.

Se realizan comparaciones entre muestreos realizados en la escala del tiempo, y por otro lado, se comparan la calidad del agua subterránea en zonas desarrolladas con respecto a zonas de recarga; las pruebas estadísticas se usan para determinar si las diferencias en la calidad del agua subterránea a nivel temporal y espacial son significantes. Se utiliza un nivel de significancia del 5%.

Al realizar el análisis estadístico y llegar a concluir, es posible obtener una evolución a partir de la comparación temporal; y a partir de la comparación espacial se obtienen zonas con características específicas y representativas dentro del acuífero.

1.4. RESULTADOS ESPERADOS

Identificar la variación de la calidad del agua subterránea a través del tiempo con nivel de significancia del 5%.

Identificar los parámetros característicos de las zonas desarrolladas dentro del acuífero y determinar los parámetros que afectan cada una de las zonas de desarrollo a la variación de la calidad del agua subterránea.

Atribuir la aportación de las actividades urbanas, agrícolas e industriales a la contaminación o a la disminución de la calidad del agua subterránea.

Relacionar la calidad del agua subterránea al medio geohidrológico presente en la zona de estudio a nivel regional y local.

Conocer las condiciones de la calidad del agua subterránea en el tiempo y el espacio para identificar en que parte del proceso se encuentra el acuífero con respecto a su explotación y a evoluciones meteorológicas que impactan directamente en la recarga del acuífero.

1.5. DESCRIPCIÓN GENERAL

Se utiliza un sistema de información geográfica para integrar la información general del zona de estudio desde el marco físico hasta el resultado de las evoluciones realizadas en el presente estudio.

Se identifica la localización de la zona de estudio, sus principales centros de población y vías de comunicación, se realiza una breve reseña de la situación socioeconómica de la región.

Se presentan las características del medio ambiente de la región; áreas naturales protegidas, clima e hidrografía. Se realiza una descripción de la fisiografía, geología, hidrogeología hasta presentar el sistema acuífero y el flujo subterráneo.

Se analiza el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico, se identifican los usos principales del agua subterránea y se sintetizan los principales estudios en los cuales se ha monitoreado la calidad del agua. Se obtienen sus resultados substanciales para la integración del presente estudio.

Se comienza a realizar el análisis estadístico presentado las pruebas estadísticas a utilizar y se proponen los distintos escenarios en los cuales se aplicarán dichas pruebas. Inicialmente se trabajó con las comparaciones realizadas a nivel espacial para identificar las zonas de recarga del acuífero y contrastarlas con las zonas de desarrollo que se encuentran en la región del bajo. En base a la preocupación del departamento de aguas subterráneas de la gerencia estatal de la CNA de Guanajuato de que si las precipitaciones pluviales extraordinarias de las últimas temporadas, así como las inundaciones ocurridas en la temporada de lluvias de 2003 han afectado la calidad del agua subterránea, se consideró realizar las pruebas estadísticas en el tiempo, para comparar los muestreos que se han desarrollado en la zona del acuífero a nivel regional como son los de 1979, 1998 y 2003; Esto con el fin de establecer las tendencias generales de los datos que determinan la calidad del agua en el acuífero y determinar de que manera se había afectado ésta calidad en base a los eventos extraordinarios de 2003.

Por lo que al analizar las diferentes comparaciones realizadas se pueden corroborar los resultados presentados en los estudios relacionados con el acuífero Irapuato-Valle, Gto. además de identificar la evolución de la calidad del agua subterránea en el tiempo y el espacio.

2. INTRODUCCIÓN

El área de estudio se localiza en la porción centro del Estado de Guanajuato. Su clima es de tipo semicálido, con lluvias en verano y temperatura media anual mayor de 18°C. Las principales actividades económicas de la región lo constituyen la agricultura (Distrito de riego No. 011) y la industria. En el área se presentan problemas de contaminación por desechos de aguas residuales ocasionados por el crecimiento urbano, el fuerte incremento de los parques industriales, el termalismo así como por las actividades agrícolas de la región.

El agua subterránea representa la principal fuente de suministro de agua para las poblaciones debido a que el Río Lerma ha sufrido durante las últimas décadas un grave deterioro en la calidad y cantidad de su caudal producto de las actividades antropogénicas, industriales y agrícolas de la región.

El departamento de calidad del agua de la Gerencia Estatal de Guanajuato de la CNA ha requerido conocer las condiciones en las que se encuentra la calidad del agua en ciertas zonas de la región del valle, además se interesó en conocer si las precipitaciones pluviales extraordinarias de las últimas temporadas, así como las inundaciones ocurridas en la temporada de lluvias de 2003 han afectado la calidad del agua subterránea.

Se ha propuesto evaluar la calidad del agua subterránea, conocer su evolución a través del tiempo. Y por otro lado, relacionar la variación de la calidad del agua subterránea en base a las actividades que tienen lugar en cada sitio en específico de la región, identificar los procesos físicos, químicos y biológicos que controlan la presencia y el comportamiento de los contaminantes en el acuífero con respecto al sistema geohidrológico de la zona de estudio.

Debido a la anisotropía y heterogeneidad del acuífero, para que las muestras de agua sean las más representativas del sistema, los aprovechamientos deben ser los mismos sitios de muestreo para diferentes tiempos. Esta condición no se puede aplicar al Acuífero de Irapuato – Valle, Gto; ya que, la información histórica recabada, no cuenta con esta característica. Por ello, se ha optado por analizar los datos de calidad de agua subterránea de manera estadística a través de análisis de datos ordenados por rango y de datos de nivel nominal. Los datos obtenidos de los muestreos en distintas fechas son posible compararlos ya que en la mayoría de los casos los parámetros son detectados y en el caso de los valores límite de detección son en ordenes de magnitud similares para los muestreos realizados en distintas fechas.

Las pruebas estadísticas a utilizar son: la prueba de U de Mann Whitney, la prueba de tabla de contingencia y la prueba de la probabilidad exacta de Fisher. Las pruebas tienen por objetivo determinar si las dos muestras independientes, provienen de la misma población, la cual es un conjunto de todas las posibles mediciones de interés. La prueba de U se utiliza cuando se seleccionan dos conjuntos aleatorios independientes de observaciones muestrales, de por lo menos de nivel ordinal. Mientras que, el análisis de la tabla de contingencia se basa en la frecuencia más que en la concentración de los parámetros de la calidad del agua. Y por último, la prueba de la probabilidad exacta de Fisher permite analizar si dos variables dicotómicas (método de clasificación en que las divisiones sólo tienen dos partes) están asociadas cuando la muestra a estudiar es demasiado pequeña y no se cumplen las condiciones para utilizar la prueba de la tabla de contingencia.

Al realizar la interpretación de los resultados obtenidos de las pruebas estadísticas se obtuvo la evolución temporal de la información físico-química y bacteriológica del acuífero mediante la comparación de pruebas estadísticas a escala regional; así como localmente, en las ciudades de Irapuato y Salamanca.

En términos generales y de manera regional, se observa que los eventos extraordinarios de precipitación pluvial de los últimos años han generado mayor recarga en el acuífero, provocando la recuperación del nivel piezométrico y la mejora de la calidad del agua. Aunque de manera local, en las zonas urbanas, los niveles piezométricos se hayan acentuado, provocando conos de abatimiento importantes, con pocos efectos negativos en la calidad del agua.

Con respecto a la comparación espacial de las zonas de recarga y zonas de desarrollo se observa que para 1979 no se presenta mayor alteración en la calidad del agua subterránea por contaminación de tipo antropogénico, solamente se cuenta con respecto a las zonas agrícolas oeste y sur, por otra parte, al comparar la zona de control este se observa algunas diferencias en la calidad con respecto a las zonas agrícolas norte y sur.

En la comparación espacial de 2003 se observa una afectación de la calidad del agua subterránea al realizar comparaciones de las zonas desarrolladas con respecto a las zonas de control. Esta afectación es más notoria en las comparaciones realizadas en la porción sur del acuífero.

En la comparación a profundidad realizado con los aprovechamientos monitoreados en 2003, se aprecia la captación de flujos en distintos medios, por ejemplo en la comparación de la temperatura se observa que ésta aumenta conforme la profundidad de los aprovechamientos aumenta.

3. MARCO FÍSICO

3.1. INTRODUCCIÓN AL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DEL ACUÍFERO IRAPUATO-VALLE, GTO. "SIG_IRAVALLE"

La información técnica para desarrollar el presente trabajo, se compiló de diversas fuentes que han estudiado, monitoreado, administrado y aprovechado los recursos hidráulicos superficiales y subterráneos de la zona que comprende el Acuífero Irapuato – Valle. Las fuentes de información incluyen: SARH, 1979; CEASG, 1998; CEAG, 2003; JAPAMI, 2003; CMAPAS, 2003; ASOSID, 2003; INEGI 1994 - 2000 – 2001 – 2002 e IMTA 1994 – 2001 – 2003. La parte correspondiente a los subcapítulos 3.6 a 3.9 proviene principalmente de la referencia CEASG, 1998. La organización conjunta de la información se integró en un sistema de información georeferenciada de la zona de estudio con sus respectivas bases de datos, con la finalidad de utilizar de manera organizada y expedita la información resultante del estudio. Se integró una serie de mapas que ilustran diferentes escenarios y condiciones vinculadas con el marco físico así mismo del funcionamiento, historial y calidad del agua del acuífero; así como, de información asociada de alcance regional. Estos mapas se integran de tal manera que permitieron realizar el despliegue gráfico espacial de la información.

3.2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Geográficamente el Acuífero Irapuato – Valle, se encuentra entre los paralelos 20°14'56" y 20°52'35" de latitud norte, y entre los meridianos 100°53'17" y 101°27'32" al oeste de Greenwich (figura 3.1). Se localiza en la porción centro del Estado de Guanajuato, el acuífero en cuestión comprende una superficie de 2,511 km². Los límites del Acuífero Irapuato – Valle, según el Diario Oficial de la Federación se presentan en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Límites del Acuífero Irapuato – Valle, Gto.

Vértice	Longitud Oeste			Latitud Norte		
	Grados	Minutos	Segundos	Grados	Minutos	Segundos
1	101	22	48.0	20	14	56.4
2	101	27	32.4	20	19	22.8
3	101	23	38.4	20	28	4.8
4	101	31	58.8	20	41	31.2
5	101	23	16.8	20	42	21.6
6	101	13	15.6	20	50	34.8
7	101	5	52.8	20	52	55.2
8	101	3	39.6	20	49	12.0

Vértice	Longitud Oeste			Latitud Norte		
	Grados	Minutos	Segundos	Grados	Minutos	Segundos
10	100	53	16.8	20	24	3.6
11	101	2	49.2	20	15	57.6
12	101	7	12.0	20	18	3.6
13	101	18	14.4	20	17	45.6

Observación: del vértice 1 al vértice 2 es por el límite estatal

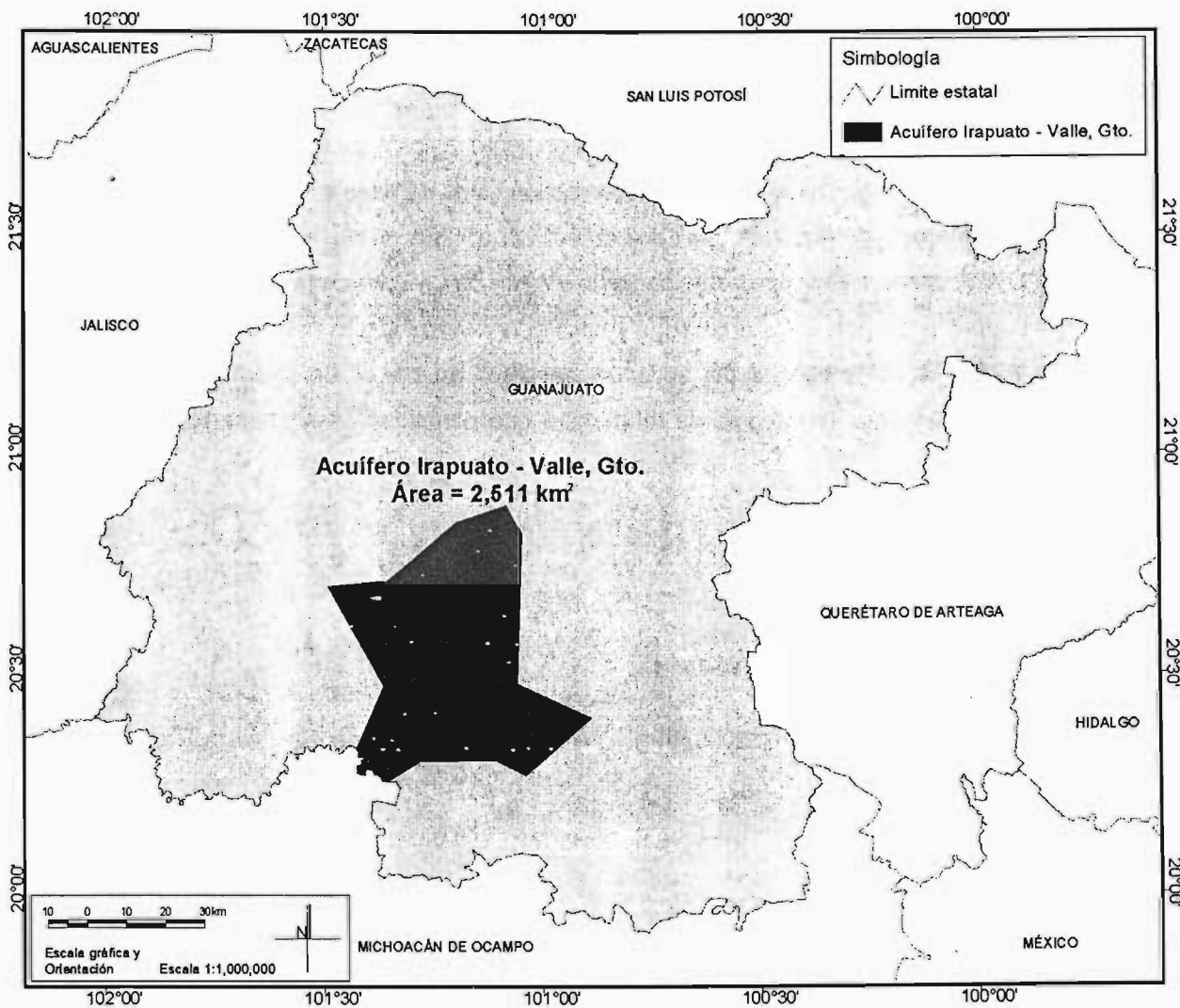


Figura 3.1. Localización geográfica de la zona de estudio

Tabla 3.2. Municipios que integran al Acuífero Irapuato - Valle

Municipio	Superficie dentro de la zona de estudio (km ²)	Porcentaje dentro de la zona de estudio (%)
Allende	1.72	0.07
Dolores Hidalgo	0.34	0.01
Guanajuato	26.27	1.05
Salamanca	737.58	29.37
Villagrán	10.64	0.42
Santa Cruz de Juventino Rosas	54.03	2.15
Jaral del Progreso	171.41	6.83
Yuriria	5.61	0.22
Cortazar	110.11	4.38
Salvatierra	2.12	0.08
Irapuato	523.42	20.84
Pueblo Nuevo	61.09	2.43
Abasolo	38.83	1.55
Huanímaro	7.90	0.31
Valle de Santiago	759.97	30.27
Total	2511.03	100

Entre las elevaciones principales dentro de la zona de estudio se encuentra el *Cerro Culiacán* al sureste de Jaral del Progreso con una altitud de 2830 *metros sobre el nivel del mar* (msnm). Seguido por el *Misterio del Chorro* ubicado en la *Sierra de Guanajuato* al norte del acuífero, con una altitud de 2600 msnm. Y el *Cerro Grande* localizado al oriente de Jaral del Progreso con una altitud de 2550 msnm (figura 3.3).

La menor elevación varía entre 1695 msnm y 1700 msnm esta zona se encuentra al poniente del valle. La elevación media del valle, varía de 1710 msnm hasta 1730 msnm; elevación a la cual se ubican las principales poblaciones de la región, como son Salamanca e Irapuato.

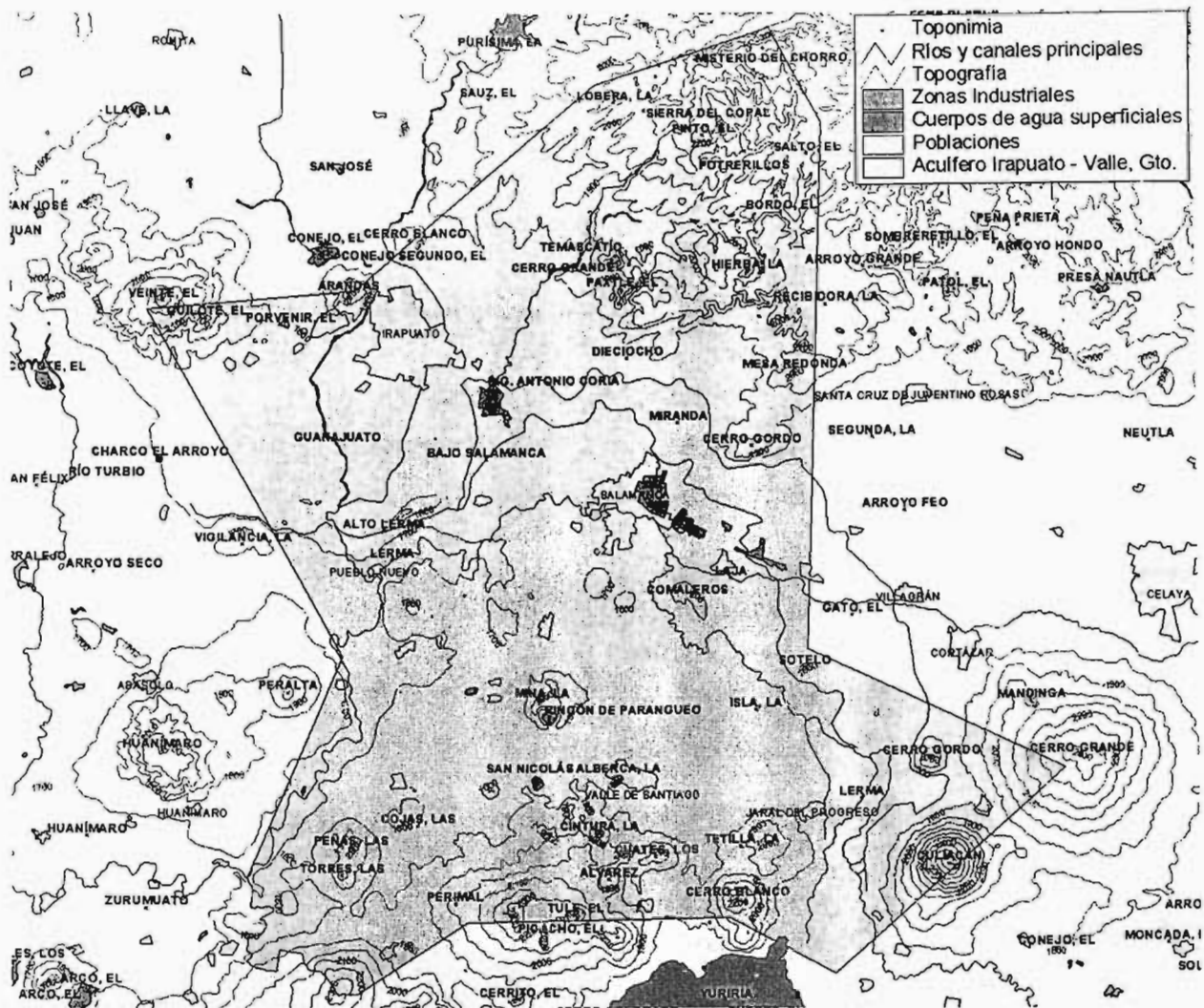


Figura 3.3. Toponimia de la zona de estudio

3.3. CENTROS DE POBLACIÓN Y VIAS DE COMUNICACIÓN

Los principales centros de población que se encuentran dentro de la zona del Acuífero son Irapuato, Salamanca, Valle de Santiago, Jaral del Progreso y Pueblo Nuevo. El total de los habitantes registrados en el estudio de CNA, 2003 contabiliza a 830,454 habitantes, ubicados principalmente en los municipios de Irapuato, Salamanca y Valle de Santiago.

En la zona del acuífero se encuentran distintos tipos de vías terrestres (figura 3.4), desde caminos federales pavimentados de cuatro carriles de cuota hasta caminos rurales de terracería. La vía de comunicación más importante es la carretera federal número 45 (cuota y libre), que comunican a las ciudades de Irapuato, Salamanca, Celaya, Silao, León, y Querétaro. Mientras que las carreteras federales

número 90 y 43, comunican a la zona con las ciudades de Guadalajara y Morelia respectivamente. También se cuenta con una infraestructura ferroviaria de 92 km y un aeropuerto local.

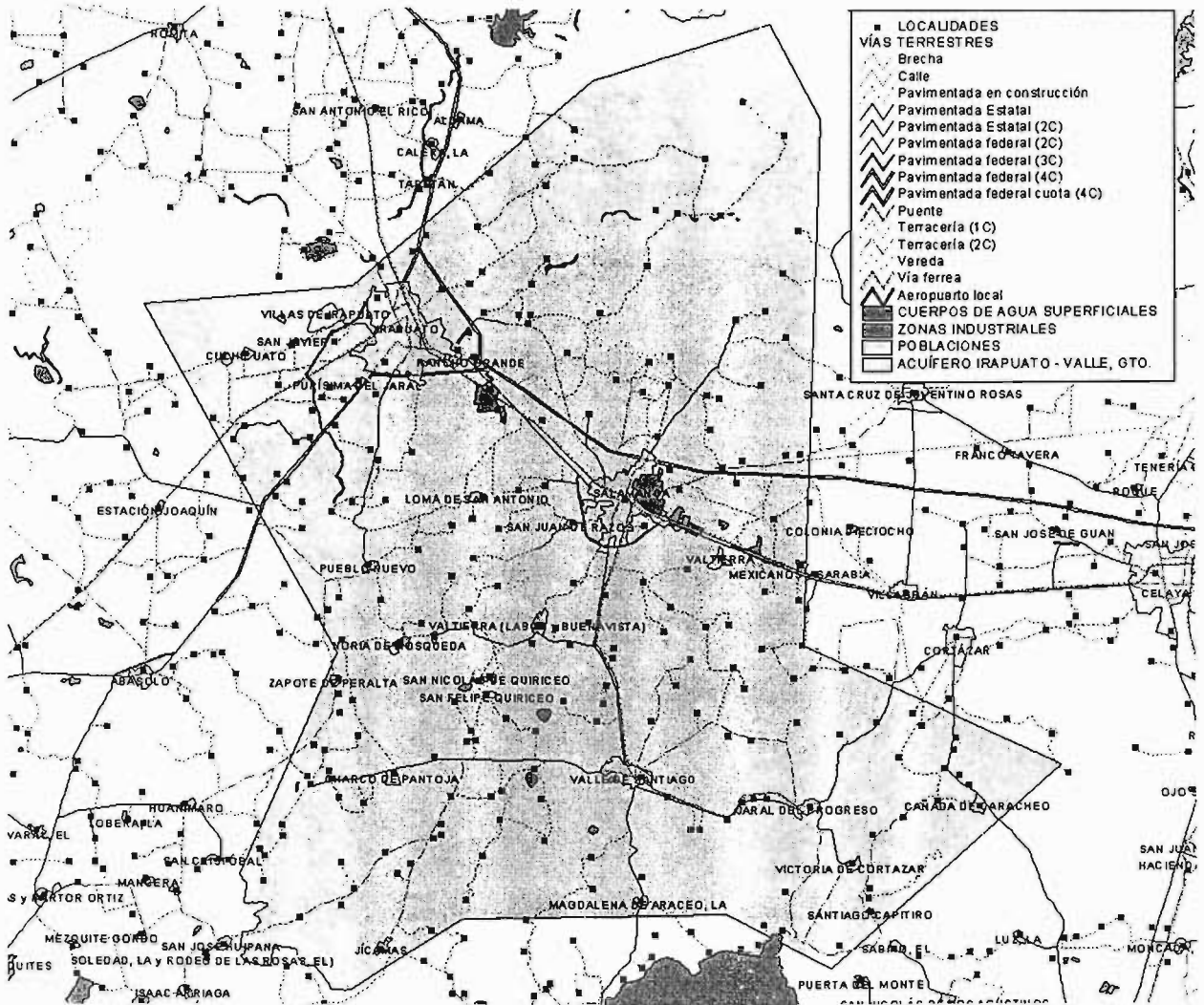


Figura 3.4. Centros de población y vías de comunicación

3.4. ACTIVIDAD ECONÓMICA

La actividad económica del Estado de Guanajuato es muy variada, como se puede observar en la tabla 3.3 los principales sectores, productos y servicios son la agricultura y ganadería, en menor medida la industria y el comercio.

Tabla 3.3. Actividad económica (INEGI, 2001)

Municipio	Principales sectores, productos y servicios					
	Agricultura	Ganadería	Industria	Comercio	Minería	Turismo
Cortazar	Maíz grano, sorgo grano, trigo grano, cebada grano, frijol.	Bovino, porcino, ovino, caprino y aves.	Alimentos, productos metálicos y la Industria de la madera.	Predominan establecimientos de comercio al menudeo.		3 hoteles, uno de ellos de 4 estrellas.
Irapuato	Fresa, espárrago y garbanzo.	Porcino, bovino, caprino, equino y ovino.	Fabricación de textiles, procesamiento de alimentos, tratamiento de sustancias químicas y fabricación de muebles.	Centros comerciales con artículos textiles, bienes de consumo básico; maquinaria e implementos agrícolas.	Explotación de algunos bancos de cal, yeso y arena.	16 hoteles.
Jaral del Progreso	Cebada, trigo.	Caprino.				
Pueblo Nuevo	Sorgo, maíz, alfalfa, trigo y fresa.	Porcino, bovino, ovino, caprino y aves.	Productos alimenticios, bebidas y tabaco	3 tiendas DICONSA, un tianguis y un rastro mecanizado.	Bancos de minerales no metálicos, cantera.	
Salamanca	Trigo, ajo, tomate verde, garbanzo, ejote, sorgo, cebada, espárrago, avena forrajera, alfalfa, calabacita, camote, cebolla, chícharo verde, chile verde, fresa, frijol, jitomate y maíz.	Porcino, bovino, caprino y aves.	Derivados de petróleo, uniformes deportivos, productos químicos, hielo, óxido de hierro, mezclas de hule y plásticos, vaselina, aceites y sulfunatos, oxígenos, nitrógeno, argón, anhídrido carbónico, pinturas, adhesivos.	9 tiendas, 5 tianguis, 2 mercados públicos, rastro mecanizado, 10 tiendas de autoservicio.		Hoteles, infraestructura deficiente de restaurantes; instituciones de crédito y financieras. Transporte. Arrendamiento de autos, agencias de viajes y hospedaje.
Valle de Santiago	Maíz, frijol, sorgo y alfalfa.	Porcino y bovino.	Pequeños y medianos talleres de tejidos de lana, cestería de carrizo; juguetes de cartón, y en pequeña escala piezas de cerámica.	1506 establecimientos, de los cuales 113 se dedican al por mayor y 1393 al menudeo.		117 cuartos de hospedaje.

La distribución de la superficie del uso del suelo en la zona de estudio muestra que el 70% del suelo se utiliza en agricultura y el 30% restante se distribuye en pastizales, bosques, matorrales, entre otros (tabla 3.4).

Tabla 3.4. Uso de suelo (INEGI, 2000)

Tipo de uso de suelo	Superficie (Km ²)	Porcentaje (%)
Agricultura de temporal con cultivos anuales	541.94	21.58
Agricultura de riego (incluye riego eventual)	1207.39	48.07
Pastizal inducido	135.37	5.39
Pastizal natural (incluye pastizal-huizachal)	107.69	4.29
Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva y herbacea	50.29	2.00
Matorral crasicale con vegetación secundaria	20.87	0.83
Asentamiento humano	82.88	3.30
Cuerpo de agua	2.09	0.08
Bosque de encino	19.83	0.79
Matorral subtropical con vegetación secundaria arbustiva y herbacea	266.66	10.62
Matorral subtropical	63.60	2.53
Matorral crasicale	5.78	0.23
Riego suspendido	3.10	0.13
Mezquital (incluye huizachal)	3.01	0.12
Agricultura de humedad	0.53	0.03
Total	2511.03	100

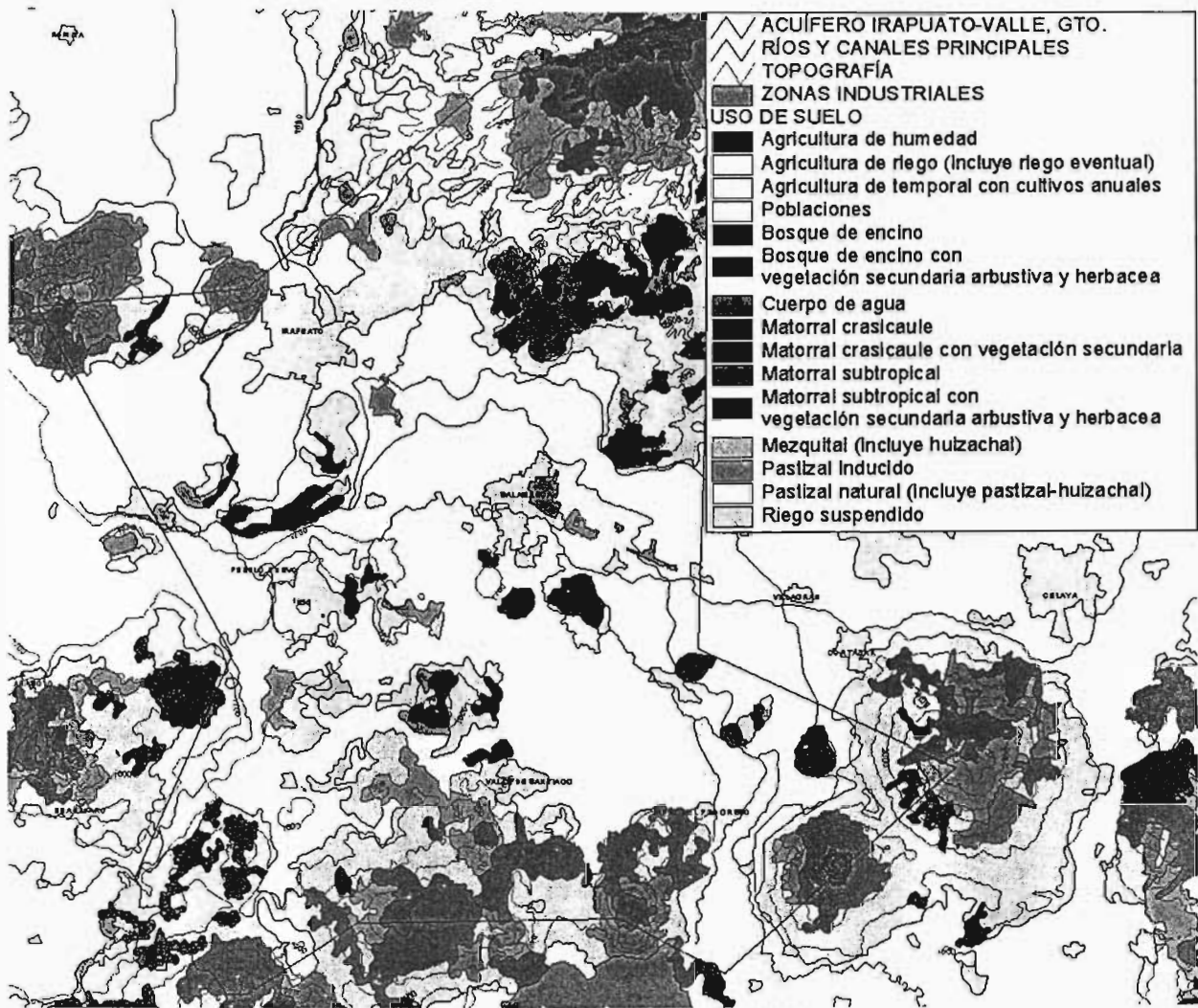


Figura 3.5. Uso de Suelo (INEGI, 2000)

Como parte importante de la actividad agrícolas se encuentra el principal distrito de riego de la región Lerma – Balsas. El Distrito de Riego 011, Alto Río Lerma, se localiza en la parte centro sur del Estado de Guanajuato. Dentro de los principales cultivos se encuentran el trigo, la cebada, el sorgo y la alfalfa, que en conjunto conforman el 90% de los cultivos que se establecen en el Distrito. Los módulos que están incluidos en la zona de estudio (figura 3.6) son: Cortazar, Irapuato, Jaral, Salamanca, Valle y Abasolo (tabla 3.5). Este distrito cuenta con cuatro obras de almacenamiento que son: Presa Solís, Tepuxtepec, la Laguna de Yuriria y La Purísima. Las dos primeras se encuentran localizadas sobre la corriente del río Lerma, la Laguna de Yuriria sobre el arroyo Los Sauces y La Purísima sobre el Río Guanajuato (IMTA, 1994).

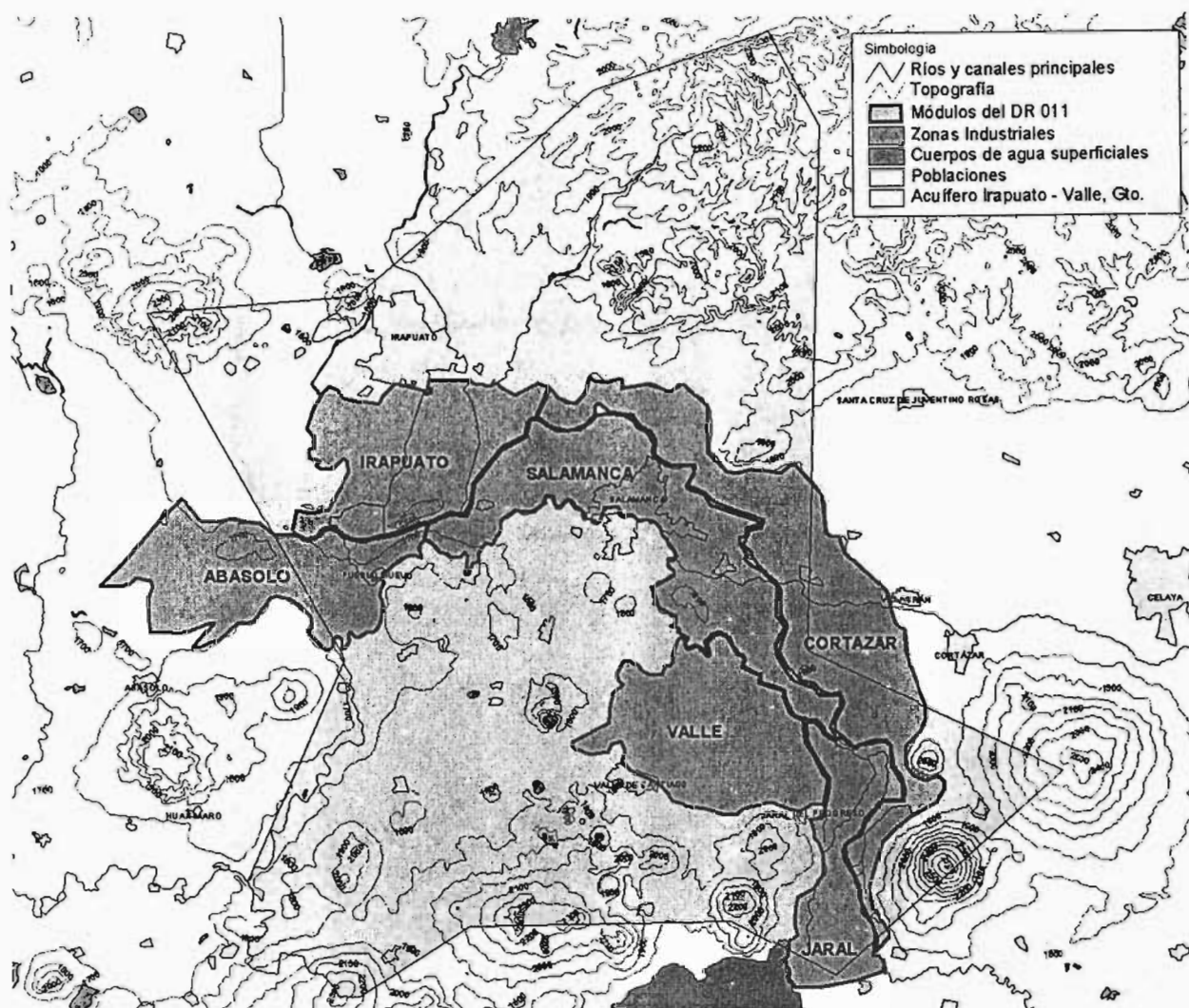


Figura 3.6. Módulos del Distrito de Riego 011 en la zona de estudio

Tabla 3.5. Red de distribución y drenaje agrícola de los principales módulos de riego de la zona de estudio (ASOSID, 2003)

Módulo	Núm. de pozos (unidades)			Superficie regada (ha)	Canales (km)	Drenes (km)
	Total	Particular	Oficial			
Cortazar	212	192	20	12885.52	313.38	112.83
Irapuato	157	147	10	5755.19	123.70	20.23
Jaral	113	108	5	6262.71	102.81	47.43
Salamanca	78	62	16	11916.03	206.84	97.54
Valle	208	164	44	12763.45	253.11	64.47
Totales	768	673	95	50169.56	1102.65	342.50

El sector industrial ha impulsado el desarrollo y crecimiento productivo en el valle. En las ciudades de Salamanca y Irapuato se concentra la mayor parte de la industria, del ramo petroquímico básico, agroquímico, alimentos, de transformación y manufacturero. Encabezando el sector, se encuentra la Refinería Antonio M. Amor de Petróleos Mexicanos, seguida de la Central Termoeléctrica de Salamanca, la

primera constituye uno de los complejos más importantes en la zona y produce químicos básicos que se distribuyen en todo el bajo.

3.5. MEDIO AMBIENTE, CLIMA E HIDROGRAFÍA

Dentro de la zona de estudio se localizan 2 áreas naturales protegidas de control estatal (tabla 3.6), las cuales están agrupadas dentro de la categoría de manejo denominada Parques y Reservas Estatales (Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 2001). En la figura 3.7 se presentan dichas áreas de interés en cuanto a su relación con el agua subterránea.

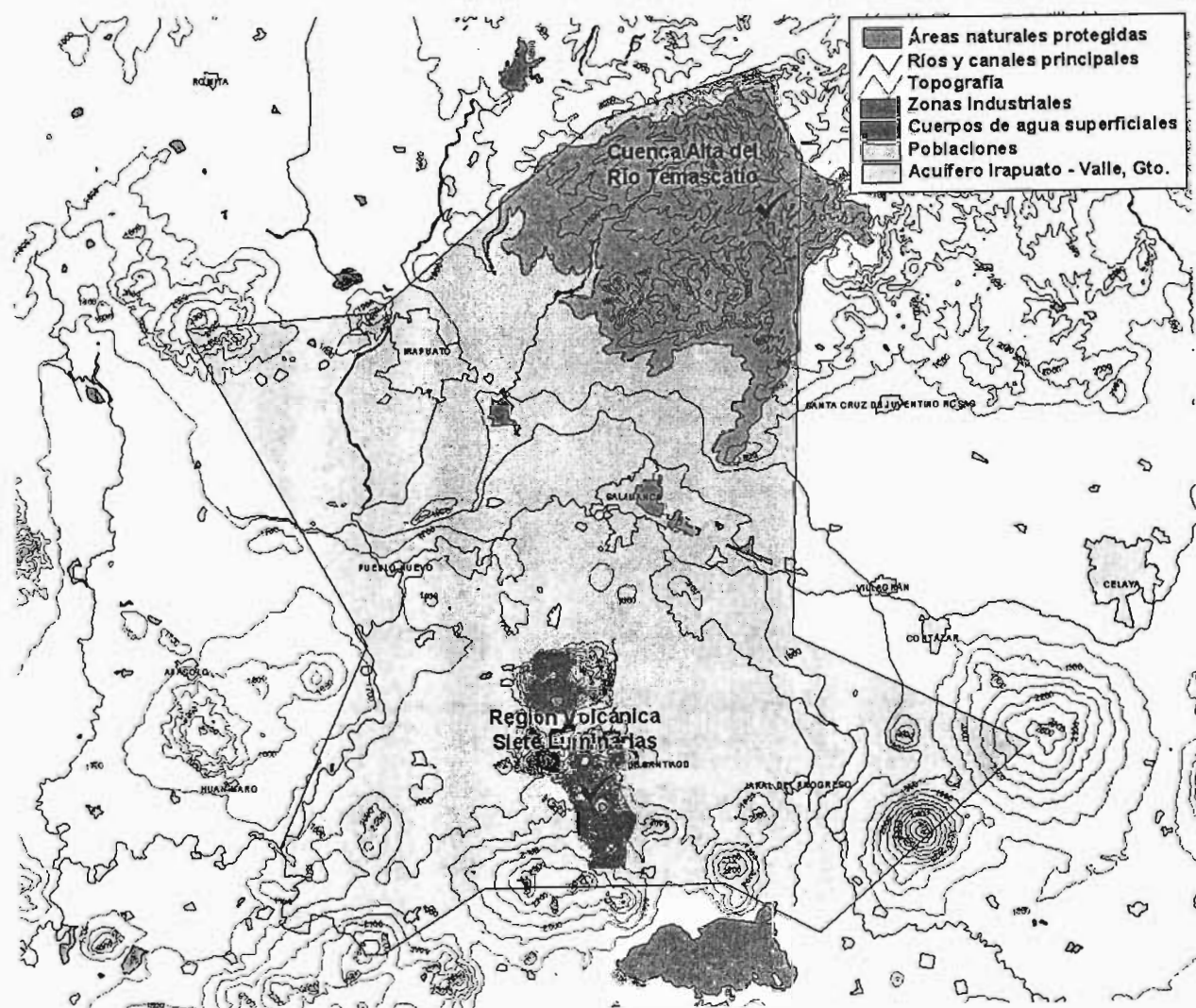


Figura 3.7. Áreas naturales protegidas

Tabla 3.6. Áreas naturales protegidas de control estatal en la zona de estudio

Fecha de decreto	Tipo	Denominación	Longitud Oeste	Latitud Norte
06-11-97	Área de Uso Sustentable	Cuenca Alta del Río Temascalatío	101°25'	20°47'
21-11-97	Reserva de Conservación	Región volcánica Siete Luminarias	101°13'	20°22'

En la zona de estudio predomina el clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano. El clima templado subhúmedo con lluvias en verano se presenta en menor proporción hacia el sur y norte de la zona acuifera.

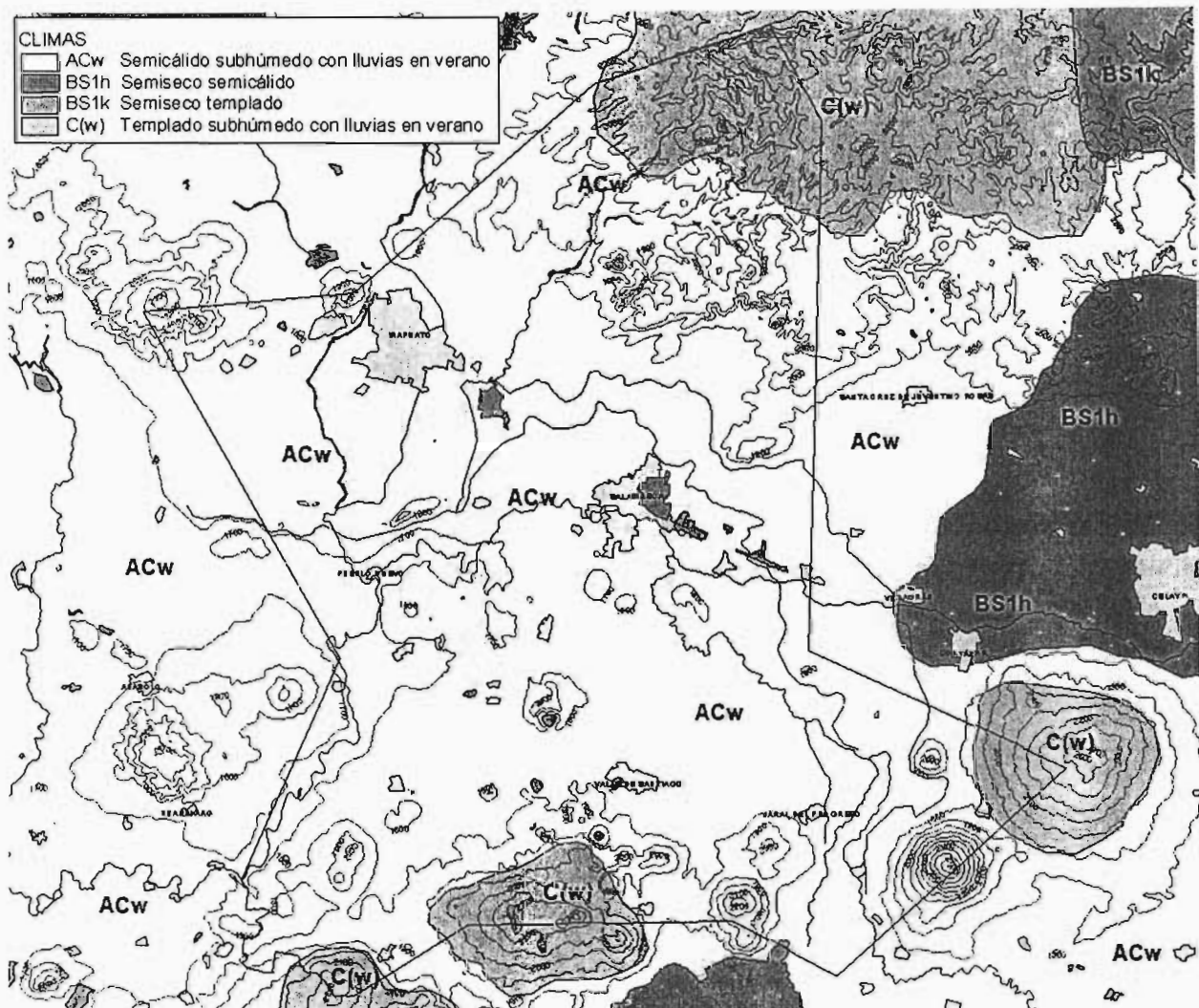


Figura 3.8. Clima según la clasificación de Köppen

Los rangos de precipitación varían de los 450 a 850 mm/año, con una precipitación media de 630 mm/año. El área tiene la característica de que presenta pequeñas cantidades de lluvia en invierno. La

temperatura media del área es de 19 °C, siendo en las partes altas de 16 °C y en las partes bajas de 29 °C. La evaporación media anual es de 1935 mm.

La zona de estudio se localiza dentro de la Región Hidrológica RH12, denominada Lerma Santiago Pacífico, y a la vez se encuentra localizada en la Subregión Medio Lerma. Las cuencas que la conforman son: Cuenca del Río Lerma-Salamanca, Cuenca del Río Laja y la Cuenca de los Lagos de Pátzcuaro-Cuitzeo-Yuriria (figura 3.9). A la vez estas cuencas se conforman por las subcuencas siguientes: Río Lerma, Ríos Guanajuato-Silao, Presa Solís-Salamanca, Arroyo Temascatío y Laja-Celaya; abarca los municipios de Irapuato, Salamanca, Pueblo Nuevo Valle de Santiago, Jaral del Progreso y la porción sur de Guanajuato (figura 3.10).

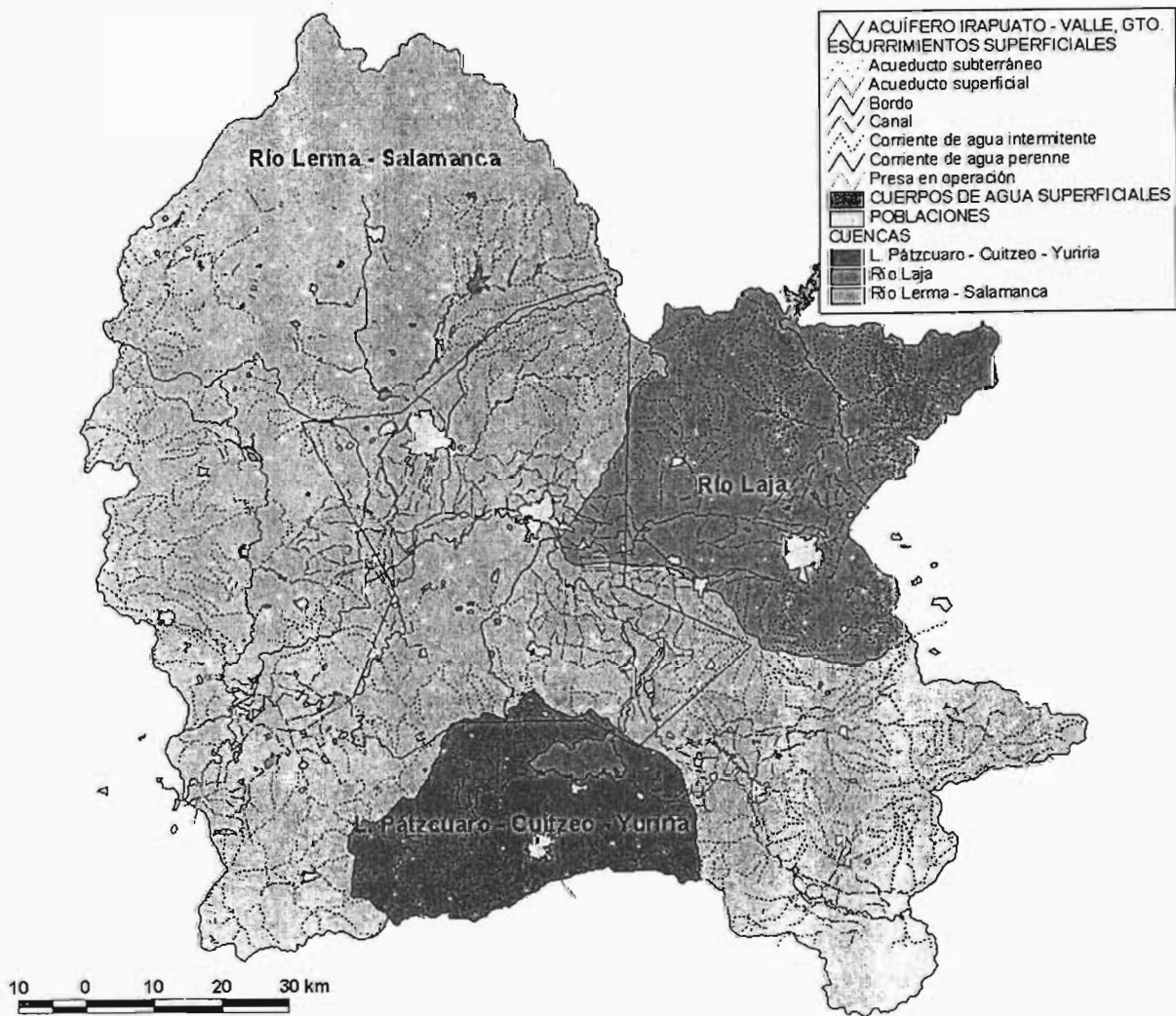


Figura 3.9. Cuencas hidrológicas de la Sub-región Medio Lerma

La cuenca del Río Lerma (figura 3.10) cuenta con un sin número de arroyos y un río que conforman dos sistemas de drenaje. El primero y el más abundante sistema es de tipo dendrítico, cubre tres cuartas partes del área. El segundo, localizado en la parte sur, es de tipo radial con muchas corrientes intermitentes y un río perenne.

El Río Lerma constituye la corriente superficial más importante. Este río presenta formas meándricas medias, es un río joven desarrollándose en una región que de acuerdo al ciclo erosivo de W. M. Davis se considera en una etapa de madurez, excepto en la porción Norte.

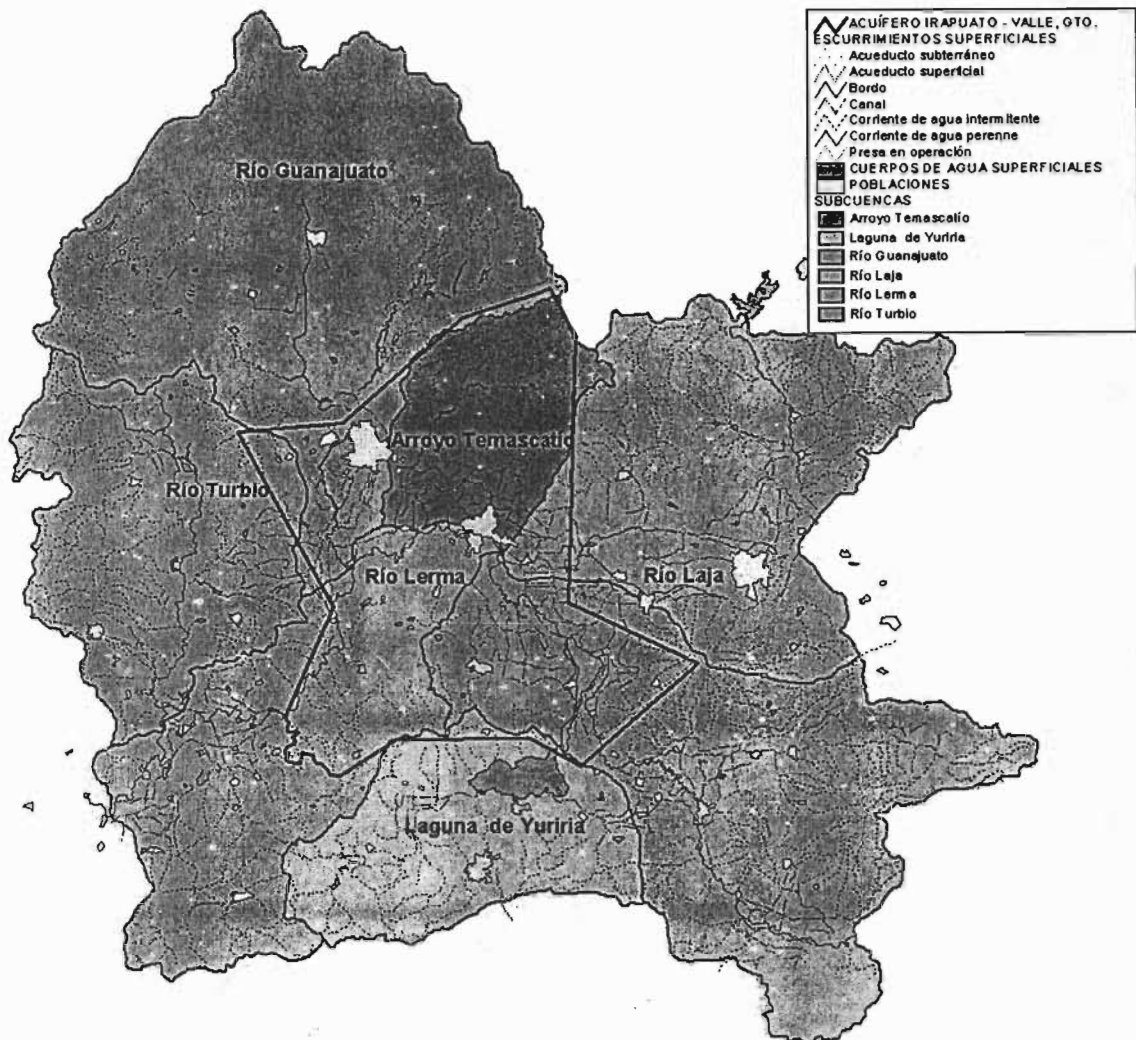


Figura 3.10. Subcuencas del Río Lerma e hidrografía de la zona de estudio

Otro aspecto importante en el área lo constituye un gran desarrollo de canales de riego correspondiente al Distrito de Riego No. 11, aspecto que reviste gran importancia en el proceso de recarga al acuífero, por los volúmenes que se conducen y porque la mayoría no están revestidos.

3.6. FISIOGRAFÍA Y GEOLOGÍA

De acuerdo con la clasificación del INEGI, la zona de estudio se encuentra conformada principalmente por la Provincia del Eje Neovolcánico, y solo una pequeña parte a la Provincia Mesa del Centro (figura 3.11).

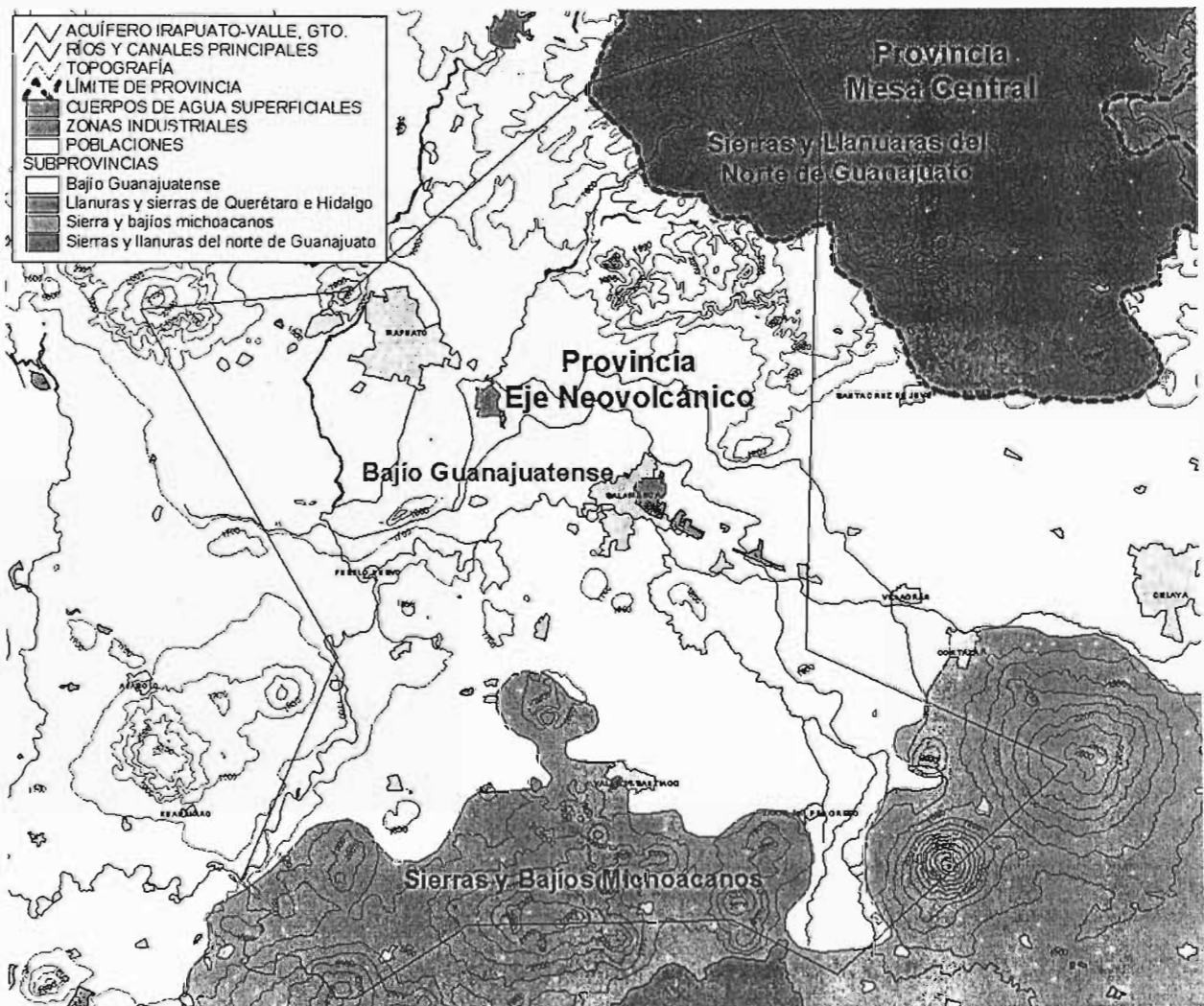


Figura 3.11. Fisiografía de la zona de estudio

La Provincia del Eje Neovolcánico forma la mayor parte de la superficie (94%) del acuífero. Se encuentra conformada por las Subprovincias Bajío Guanajuatense y Sierras y Bajíos Michoacanos.

La Subprovincia del Bajío Guanajuatense se caracteriza por sierras de laderas tendidas, lomeríos aislados. En esta subprovincia se ubica lo que se conoce como el Valle de Irapuato – Valle. Las elevaciones en esta subprovincia varían desde 1695 msnm hacia el suroeste del acuífero, hasta 2340 msnm en la cima del Cerro El Veinte, ubicado al poniente de la ciudad de Irapuato.

La Subprovincia de Sierras y Bajíos Michoacanos se caracteriza por tener sierras con cráteres y llanuras de bajíos. Las elevaciones dentro de esta subprovincia varían desde los 1700 msnm hacia el suroeste del acuífero, hasta 2830 msnm en la cima del Cerro Culiacán.

La Provincia de la Mesa de Centro se ubica al noreste de la zona de estudio. En esta zona de estudio la provincia esta conformada por la Subprovincia de Sierras y Llanuras del Norte de Guanajuato.

La Subprovincia de Sierras y Llanuras del Norte de Guanajuato, conocida también como Altos de Guanajuato, tiene una gran complejidad en su panorama fisiográfico, en el que concurren sistemas tan distintos entre sí como sierras, mesetas, lomeríos, valles y llanuras. Las elevaciones de esta subprovincia dentro de la zona de estudio varían desde los 1860 msnm hasta los 2600 msnm en el Misterio del Chorro.

Cada una de las provincias fisiográficas que forman parte de la zona de estudio tiene un origen particular y características geológicas distintivas (CEASG, 1998). Los límites de la Provincia del Eje Neovolcánico al norte, en su colindancia con la Mesa Central, se definen por el cambio de morfología de mesetas a vertientes montañosas. Existen también en esta Provincia, gran cantidad de fracturas y fallas asociadas al vulcanismo Terciario y Cuaternario que han dado lugar a fosas largas y de alguna profundidad, y que han formado lagos como el de Yuriria. Además, se presentan rocas ígneas y sedimentarias del Terciario, así como los aluviones que han llenado valles y llanuras, originando los suelos de esas áreas los cuales provienen del Cuaternario (figura 3.12).

Por su parte, en la Provincia de la Mesa Central se han localizado las rocas más antiguas: rocas metamórficas del Triásico-Jurásico, rocas sedimentarias de los cretáceos y del Terciario y rocas ígneas del Terciario. El Cuaternario está representado por los aluviones que han originado las llanuras y valles existentes en la provincia y por rocas sedimentarias. Los aluviones se encuentran localizados en las partes bajas de los valles, desde la región de Celaya, Salamanca hasta Irapuato.

Desde el punto de vista geológico (CEASG, 1998), en la zona de estudio sobresale la denominada Faja Volcánica Transmexicana. Dentro de esta región se han distinguido diferentes sectores, la zona de interés está incluida dentro del que se conoce como *sector central*, caracterizado por una serie de fallas limitadas por depresiones.

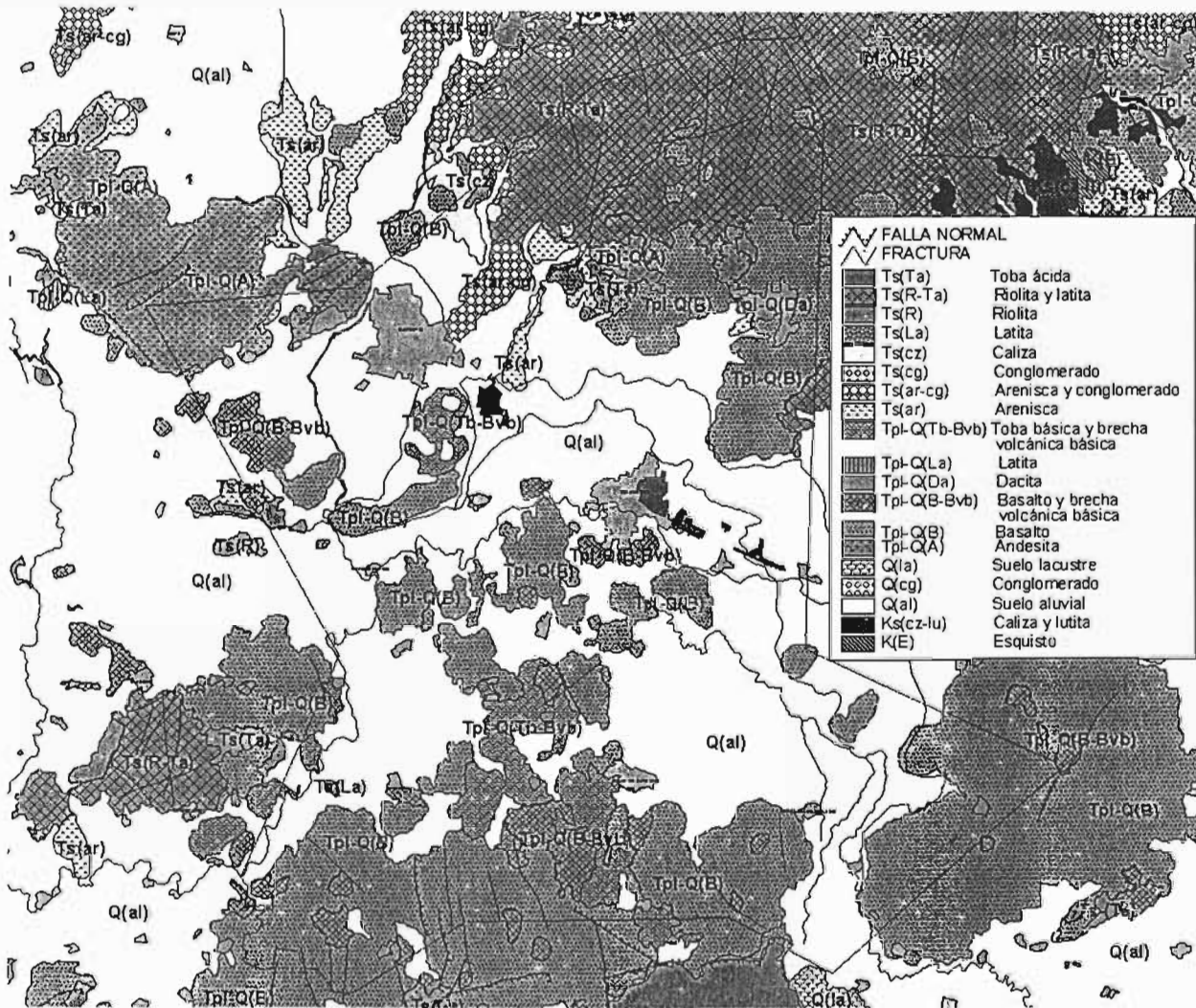


Figura 3.12. Geología superficial de la zona estudio

En la zona de estudio existen afloramientos de todo tipo de rocas: ígneas, sedimentaria y metamórficas. Específicamente, el Acuífero Irapuato-Valle está constituido por un amplio valle producido por una fosa tectónica, en donde se depositaron diversos materiales ígneos y sedimentarios, producto de los eventos geológicos que han afectado a la zona central de México desde el Mesozoico hasta el presente.

En el Cenozoico, las unidades geológicas incluyen al Conglomerado Guanajuato, que consiste de una secuencia de sedimentos clásticos continentales que aflora ampliamente en la Sierra de Guanajuato. La secuencia del Plioceno también comprende una cantidad razonable de conos andesíticos, siendo dentro del área de estudio el más imponente de ellos el cerro Culiacán.

Durante el Cuaternario, la porción centro sur del Acuífero forma parte del denominado Campo Volcánico Michoacán Guanajuato. Las unidades que es posible identificar dentro de la región de interés incluyen volcanes degradados morfológicamente, con derrames de lavas (basaltos de olivino y andesitas basálticas) asociados con conos cineríticos y conos andesíticos con lavas andesíticas calcialcalinas.

3.7. GEOFÍSICA Y CORTES LITOLÓGICOS

Para la descripción de la geología del subsuelo se tomó información de estudios previos: a) del estudio de Geofísica de Exploraciones (CEASG, 1998); b) de información litológica de pozos de abastecimiento de las ciudades de Irapuato y Salamanca; y c) de la piezometría de los pozos piloto de la Comisión Estatal de Aguas de Guanajuato (CEAG, 2003). De los sondeos eléctricos verticales realizados por la CEASG se consideraron los sitios 4, 6, 2, 1, 7 y 9 de NW a SE; con profundidades que varían desde 700 m en el sitio 4, hasta 1317 m en los sitios 7 y 9 (tabla 3.7).

Tabla 3.7. Localización de los sondeos eléctrico verticales (CEASG, 1998)

Sitio	X (Este)	Y (Norte)	Elevación (msnm)	Localidad
1	276179	2276494	1700	Pozo CFE- El Divisador
2	268373	2277956	1710	El Carmen
4	260147	2287266	1740	Rancho Grande
6	258992	2274020	1700	La Capilla
7	274693	2263576	1700	Las Liebres
9	278649	2259443	1700	Santa Elena

Además de la geofísica realizada en el estudio hidrogeológico de 1998, también se consideraron sondeos eléctricos verticales realizados por la Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Irapuato (JAPAMI, 2003), de los cuales se tomaron en cuenta 5 sitios para complementar con la información del subsuelo en esta zona. Los sitios considerados son SEVI1, SEVI2, SEVI4, SEVI5, SEVI6, SEVI12, los cuales se ubican en el noreste de la ciudad de Irapuato, sus profundidades varían de 249 m en el SEVI4 hasta 379 m en el SEVI5.

Información importante aunque escasa son los cortes litológicos, de los cuales solamente se obtuvo información de la JAPAMI (tabla 3.8) y de la Comisión Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Salamanca (tabla 3.9; CMAPAS, 2003), además de ser pocos los pozos que cuentan con información de corte litológico, las profundidades son mucho menores a los sondeos eléctrico verticales.

Tabla 3.8. Pozos que cuentan con información litológica de la JAPAMI (2003)

Número de Pozo	Profundidad total (m)	Profundidad de corte (m)
53	201	350
77	270	266
08	300	300
66	300	300
34	300	300
83		350
55	300	300
63	206	300
Q5J		209

Tabla 3.9. Pozos que cuentan con información litológica del CMAPAS (2003)

Número de Pozo	Profundidad (m)	Profundidad de corte (m)
07	250	260
15	200	200
06	98	115.5
31	200	300
02	100	140
04		300
20	400	400

Debido a que la profundidad de los sondeos eléctricos verticales del estudio hidrogeológico de 1998 es mayor, su interpretación (tabla 3.12) es la que se ha considerado como base para la realización del perfil mostrado en la figura 3.14

Tabla 3.10. Calibración de la información geológica – geofísica (CEASG, 1998)

Unidad Geofísica	Resistividad (OHM-M)	Litología Asociada
1	10.0	Suelo, material granular, derrames volcánicos superficiales.
2	2.8 – 4.1	Paquetes de arenas, gravas, tobas arcillosas, intercaladas con horizontes de basalto
3	14.8	Ignimbrita
4	2.5	Basalto alterado, arenas gruesas
5	21.7	Unidad resistiva asociada a un cuerpo volcánico, basalto, andesita ?

El perfil se ubica por un trazo con dirección noroeste – sureste, el cual esta formado por tres puntos (figura 3.13). El punto A se ubica en el Cerro de Arandas, de ahí, el perfil cruza la ciudad de Irapuato, la zona industrial de Irapuato y la ciudad de Salamanca. El punto B se localiza al sureste de la ciudad de Salamanca. El punto C se localiza en el Cerro Culiacán. En el corte que se realiza para la sección 1 (figura 3.14) se observan las proyecciones 1 y 2, en las cuales se presentan las recargas de la Sierra de las Codornices y del Acuífero del Valle de Celaya. Mientras que para la conformación del corte para la sección 2 se generan las proyecciones 3 y 4, en las que se representan la recarga del Frente Volcánico de las Siete Luminarias, además, de la descarga hacia el valle de Pénjamo – Abasolo.

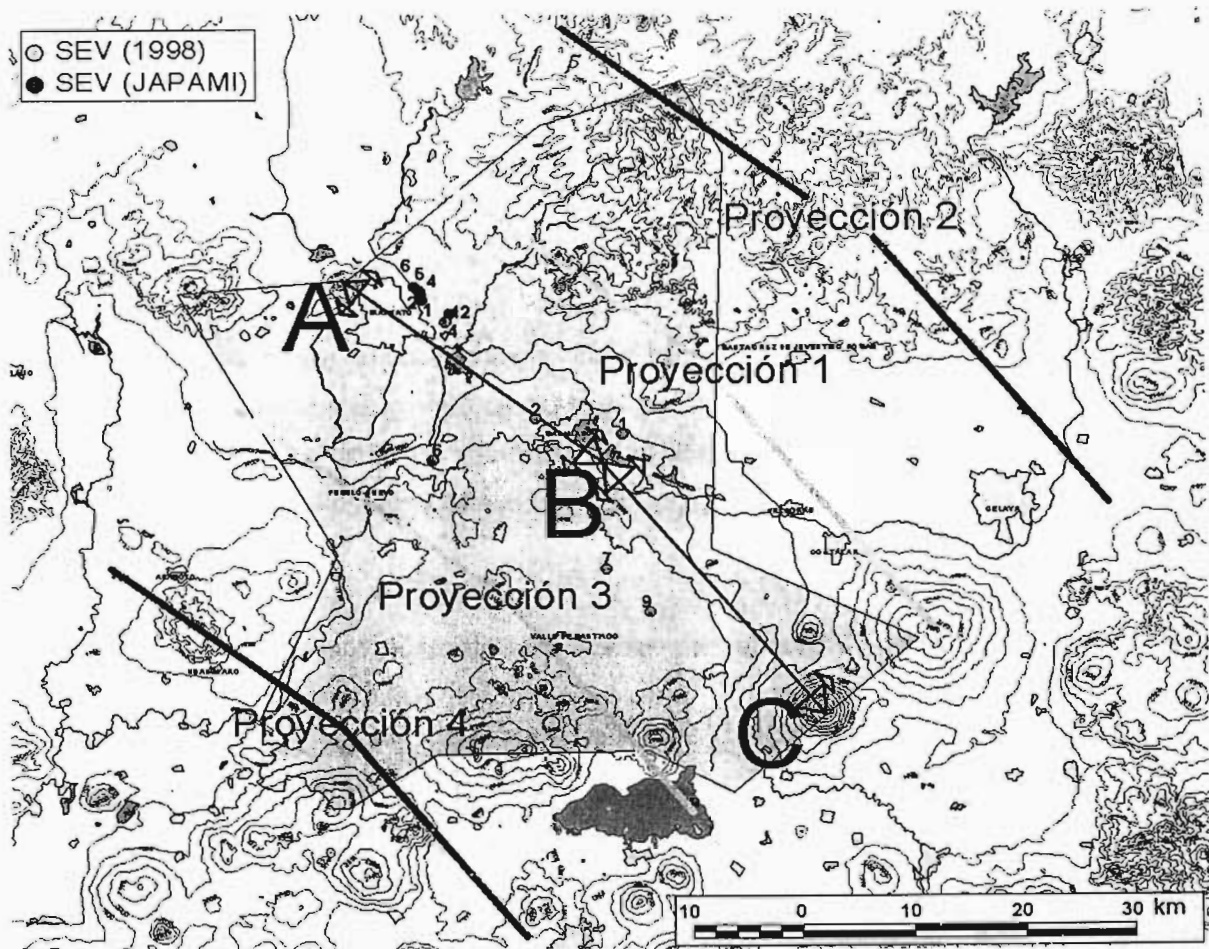


Figura 3.13. Corte ABC y proyecciones para la construcción de los perfiles 1 y 2

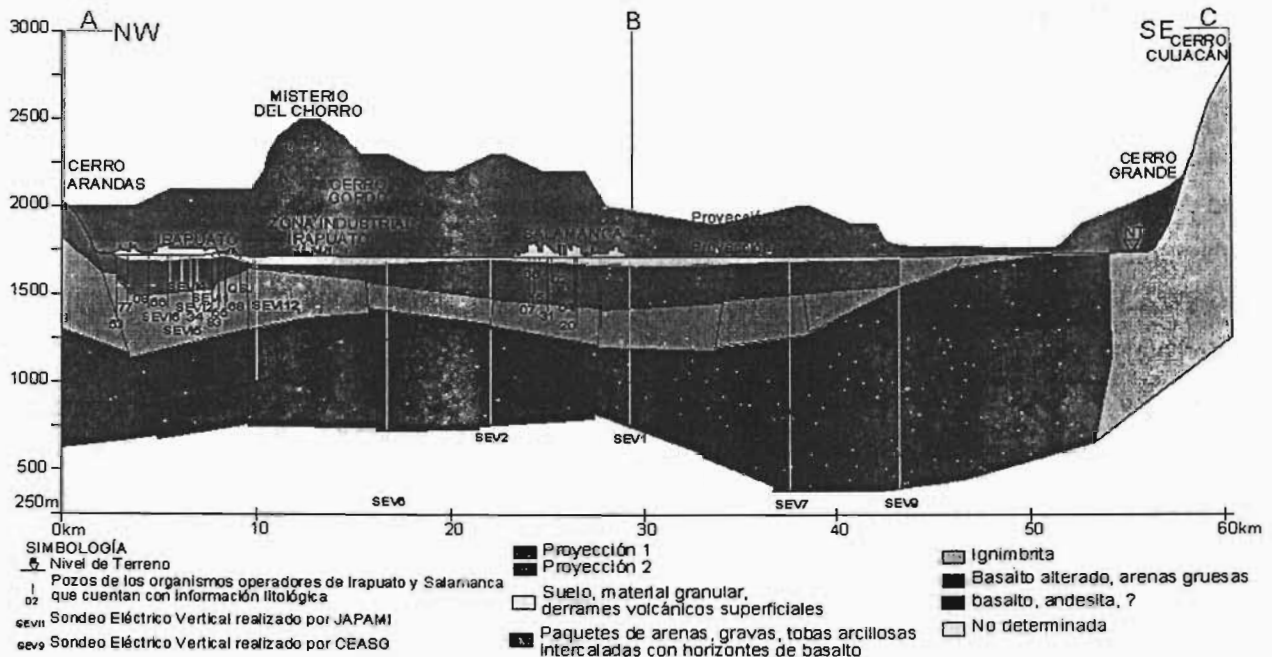


Figura 3.14. Corte litológico en perfil

3.8. HIDROGEOLOGÍA

Para el caso del acuífero del valle de Irapuato – Valle de Santiago se distinguen dos medios hidrogeológicos principales por donde circula el agua subterránea: el granular y el fracturado.

El medio granular constituye un paquete que agrupa principalmente depósitos aluviales, suelos residuales y materiales vulcanosedimentarios del Terciario y Cuaternario con espesores variables. Por la información de los cortes litológicos de pozos, la exploración geofísica y las secciones geológicas del subsuelo, se establecen dos unidades hidrogeológicas: la primera tiene un promedio de 6 a 40 m de espesor, mientras que la segunda de 30 a 350 m. Los depósitos aluviales tienen una capacidad de infiltración variable que favorecen la recarga del acuífero generada por los retornos del riego y la infiltración de los canales del Distrito de Riego No. 011.

En el medio fracturado se agrupan los productos volcánicos del Mioceno tardío – Plioceno – Pleistoceno – Holoceno: coladas de basaltos alterados - fracturados (Andesita La Ordeña), e intercalaciones de materiales piroclásticos. Este medio es altamente heterogéneo y anisotrópico debido a la textura de los materiales que le conforman, el fracturamiento y las componentes que a este medio le caracterizan (lavas, tobas e ignimbritas). El espesor conjunto de la secuencia volcánica es variable y de acuerdo con estimaciones geofísicas y por cortes litológicos de pozos, fluctúa entre 30 y 350 con máximo de hasta 500 m.

3.9. USOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y APROVECHAMIENTOS SUBTERRÁNEOS

El censo general de pozos para el Valle de Irapuato – Valle de Santiago se tiene actualizado hasta 1998, obteniendo los siguientes resultados: existen 1,932 pozos profundos, de los cuales 1,600 se encuentran activos, 189 inactivos, 48 registrados como secos, 68 sellados, 7 negativos y 20 en perforación. Del volumen total de extracción los consumos se clasifican de la siguiente manera: uso agrícola con 80%, uso potable con 11%, uso industrial con 8%, uso pecuario o abrevadero con 1% y el uso recreativo que tiene un porcentaje despreciable. El sector agrícola dentro del estado de Guanajuato ocupa el cuarto lugar a nivel nacional en la producción de granos, y éste se sustenta en la extracción de agua subterránea y agua superficial. En las últimas décadas se ha mantenido un crecimiento constante en cuanto a volúmenes de extracción de agua, sin embargo este aumento no significa que la frontera agrícola del valle haya crecido, sino que se ha incrementado el número de pozos en la zona. Además, el rendimiento de las captaciones ha disminuido con el tiempo y por lo que se ha incrementado el tiempo de bombeo para obtener los volúmenes de extracción requeridos. El agua que se utiliza en la zona de estudio es principalmente agua

subterránea y la densidad de pozos agrícolas varía según su ubicación (CEASG, 1998): a) Hacia el suroeste de la zona de estudio se tenía para 1998 una densidad promedio de 6 captaciones por km^2 ; b) Hacia el centro del valle la densidad era de 3 a 4 pozos por km^2 ; y c) en el norte del valle se tenía una densidad de 1 ó 2 pozos por km^2 .

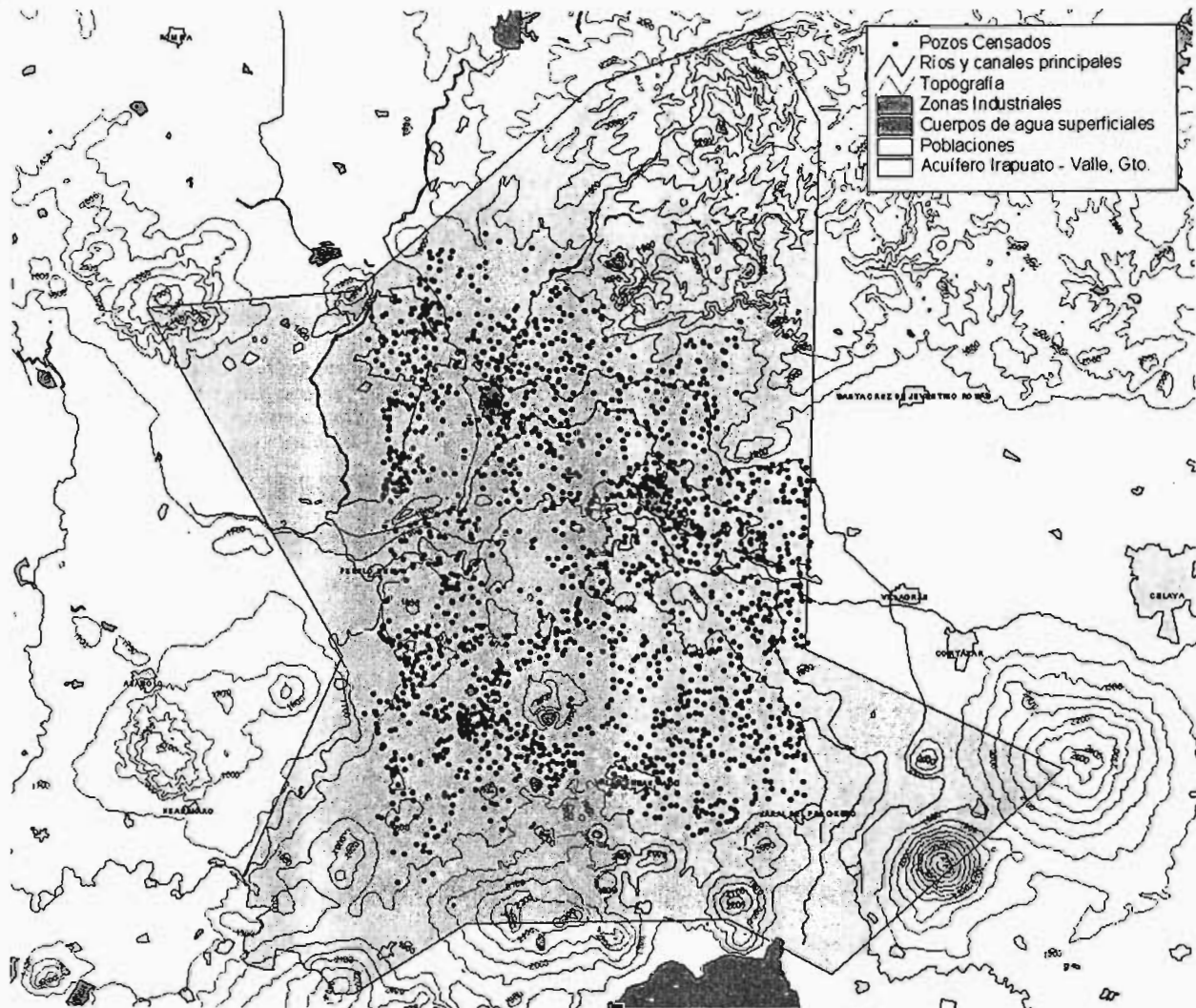


FIGURA 3.15. Censo general de pozos (CEASG, 1998)

El 45% de la superficie del Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma se encuentra dentro de la zona de estudio, por lo que el sector agrícola consume actualmente más del 80% del agua subterránea mediante 1,220 captaciones activas que sustentan el riego de más de 50,000 hectáreas de cultivo. Solamente el 20% de estas captaciones cuentan con un sistema de uso eficiente de para su explotación. La profundidad total de los pozos era entre 30 y 300 m.

260 pozos se encontraban destinados para uso potable. En las principales poblaciones existen organismos operadores de agua que administran la distribución del agua para las ciudades de Irapuato es la JAPAMI (figura 3.23), para Salamanca es el CMAPAS (figura 3.24), y para Valle de Santiago el SAPAM. En estas tres ciudades se extraen el 75% del volumen total para uso potable mediante 69 captaciones activas. El 25% restante se distribuye en 191 captaciones de las cuales 148 pertenecen a comunidades menores de 2,000 habitantes y 43 pozos son propiedad de particulares. La operación diaria de las captaciones que operan los organismos de agua potable es en promedio de 20 horas por día (h/d). En cambio las comunidades manejan sus pozos en un promedio 10 h/d.

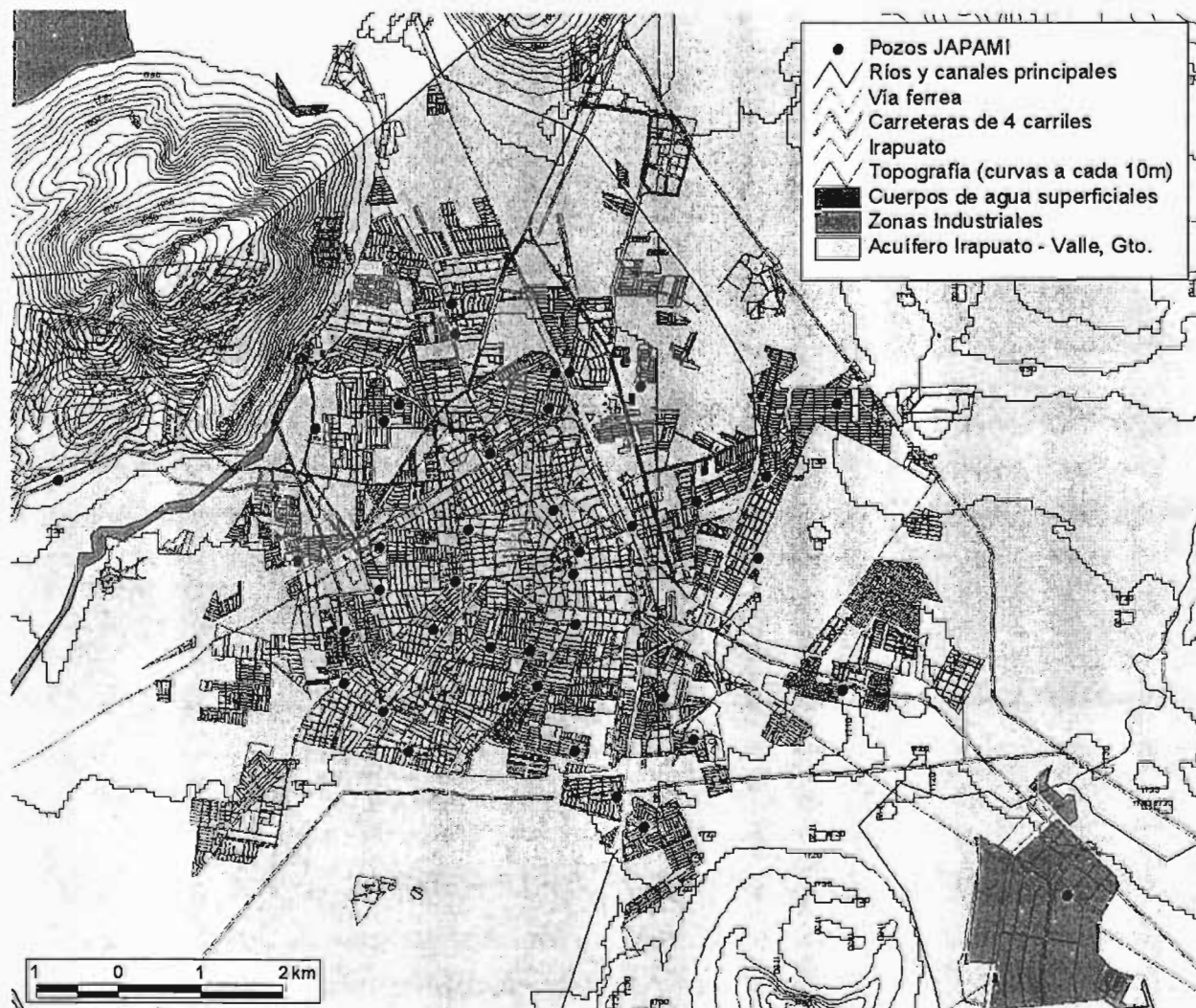


Figura 3.16. Pozos que opera la Junta de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Irapuato (JAPAMI)

El sector industrial en la zona de estudio la encabeza la Refinería Antonio M. Amor de Petróleos Mexicanos seguida por la Central Termoeléctrica de Salamanca de la CFE. La primera cuenta con un total de 49 captaciones (de las cuales 22 eran activas, 14 fuera de operación y 13 en proceso de rehabilitación) que

extraen el 43% del volumen de uso industrial. Mientras que la segunda cuenta con 30 pozos (de los cuales 28 se encontraban activos y 2 inactivos) que extrae el 47%. El 10% del volumen de extracción de uso industrial restante se repartía en plantas industriales del sector de alimentos, agroquímico químico y manufacturero. La profundidad total de los pozos era de 350 m, pero aproximadamente el 20% supera los 500 m de profundidad (CEASG, 1998).

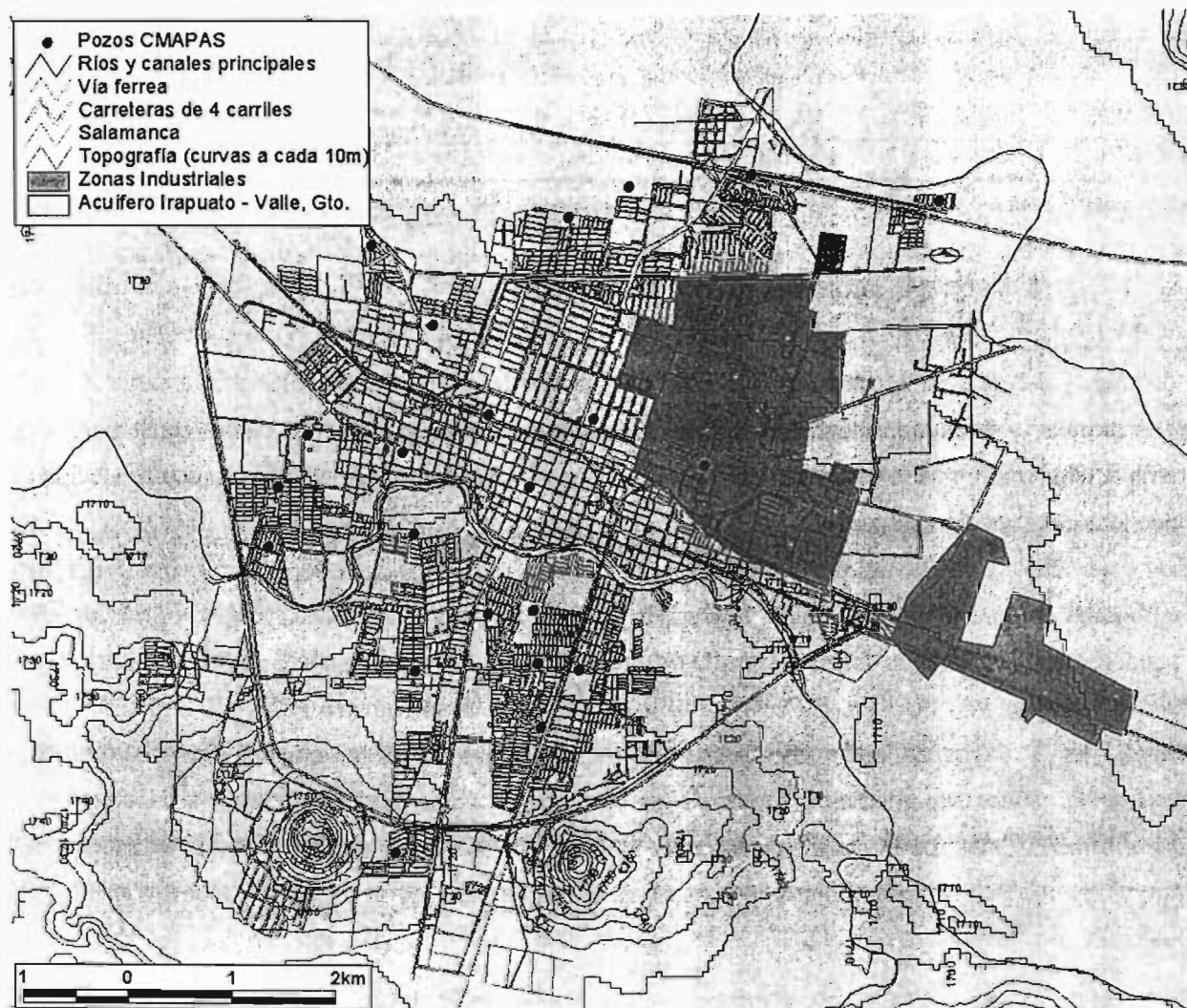


Figura 3.17. Pozos que opera el Comité Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Salamanca (CMAPAS)

Existen dos áreas que presentan problemas muy alarmantes en cuanto al comportamiento de los niveles del agua subterránea, que corresponden a las ciudades de Irapuato y Salamanca. En ambas zonas se presentan depresiones piezométricas (conos) lo cual ha originado asentamientos diferenciales del terreno (fallas), contaminación, etc.

El balance hidráulico subterráneo reportado por la empresa Geofísica de Exploraciones Guysa para 1997 (CEASG, 1998) indica que en el acuífero existía una sobreexplotación del 32% (tabla 3.11), lo que generaba un abatimiento de los niveles estáticos de 1.47 m/año. La disponibilidad del agua subterránea reportada en el Diario Oficial de la Federación (DOF, 2003) para el Acuífero Irapuato – Valle presenta un déficit de 229 Mm³/año que representa el 44% de sobreexplotación del acuífero.

Tabla 3.11. Disponibilidad media anual en el Acuífero Irapuato – Valle, Gto. (Mm³/año)

Fuente	Recarga media anual	Descarga natural comprometida	Volumen concesionado	Volumen de extracción consignado en estudios técnicos	Déficit
CEASG, 1998	528.67	132.39	569.67	-	-173.39
DOF, 2003	522.24	132.39	619.24	563.00	-229.39

3.10. SISTEMA ACUÍFERO Y FLUJO SUBTERRÁNEO

La geometría del sistema acuífero en el subsuelo de Irapuato - Valle, ha sido definida a partir de los medios granular y fracturado identificados en el subcapítulo de hidrogeología, los cuales constituyen un sistema acuífero de tipo libre heterogéneo, en donde el movimiento del agua subterránea ocurre en flujos de tipo local, intermedio y regional.

La topografía es importante para definir la dirección de flujo del agua subterránea, ya que a partir de ella se pueden identificar antiguos sistemas de flujo (figura 3.18). El Valle de Irapuato – Valle se ubica por debajo del nivel medio del valle de Celaya (40 m) y del Valle de Salvatierra (100 m). En condiciones naturales, los acuíferos de estos tres valles, por su situación topográfica, originan un escurrimiento natural de las aguas superficiales a través de los Ríos Lerma, La Laja y Guanajuato, hacia las partes topográficamente más bajas, que corresponde al Valle de Pénjamo Abasolo. En la actualidad el comportamiento de las aguas subterráneas desde el punto de vista de la topografía muestra el mismo esquema de funcionamiento.

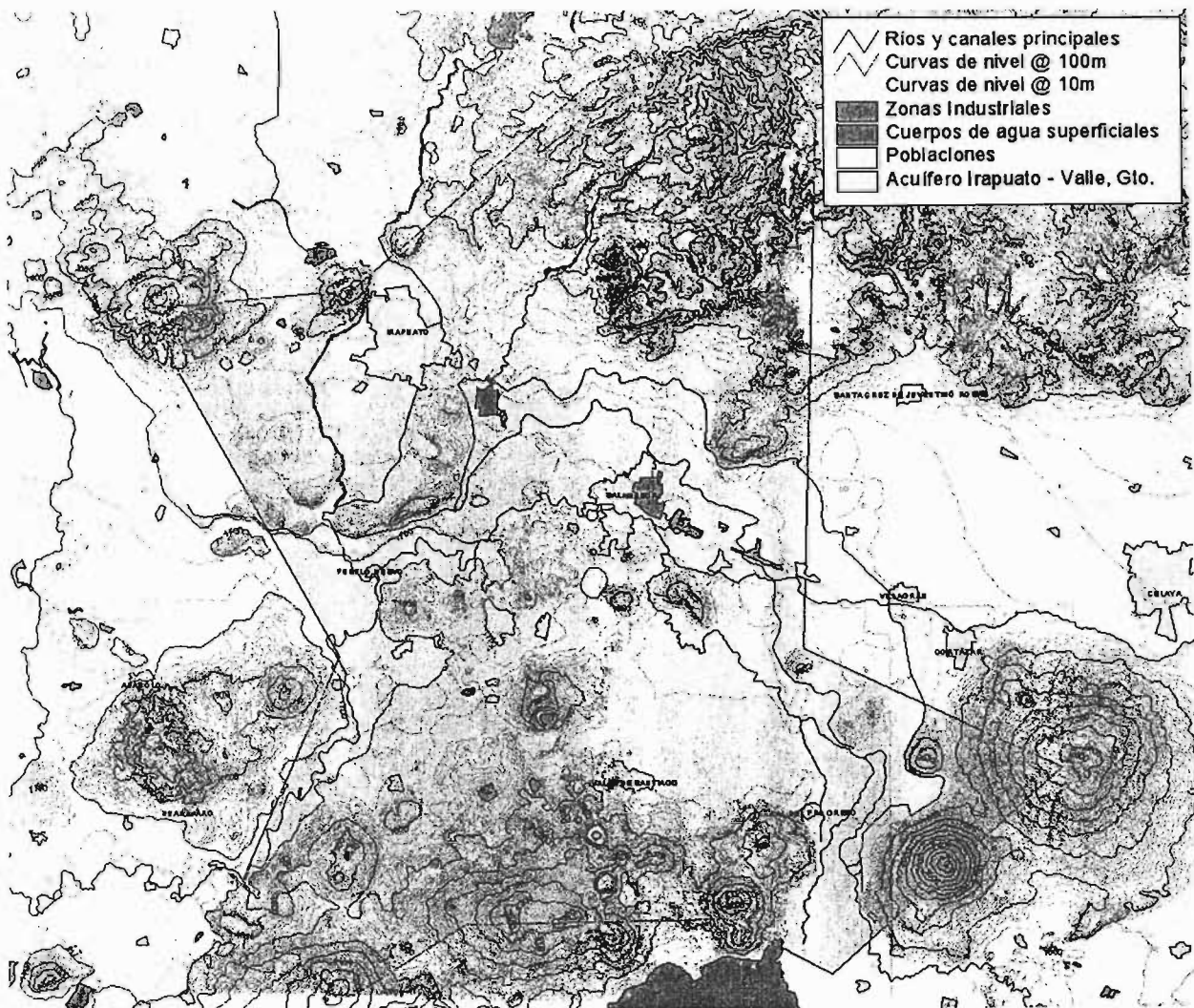


Figura 3.18. Topografía en la zona de estudio

La piezometría es el principal indicador del flujo subterráneo. Para este acuífero se tienen datos desde 1976 y para la tesis se consideraron los datos de los estudios de 1979, 1998 y 2003 para el análisis de comparación. Las zonas de recarga se ubican en: a) la porción Sur y Sureste, la principal fuente de recarga de agua subterránea hacia el valle, definiéndose a partir del frente volcánico de las Siete Luminarias, siguiendo la dirección del cauce del Río Lerma; b) en la porción Norte se manifiestan también importantes pérdidas de carga a favor del acuífero en los límites de las zonas altas que bordean la zona del valle (Sierra de Las Codornices). Mientras que las descargas se presentan en: a) el extremo Oeste y b) Suroeste del valle, las cargas hidráulicas definen un sistema de salidas subterráneas en dirección del Valle de Pénjamo – Abasolo, la tendencia de la dirección del flujo subterráneo de las curvas equipotenciales observada en estos puntos coincide con la dirección del flujo del Río Lerma. Dentro del valle las cargas hidráulicas han sido deformadas por la sobreexplotación, fenómeno que origina conos de abatimiento sobre todo en zonas de alta densidad de pozos como ocurre en las ciudades de Salamanca e Irapuato.

El comportamiento observado para septiembre de 1979 (figura 3.19) se considera como uniforme, se observa la zona de recarga principal hacia el sureste del acuífero con carga hidráulica hasta de 1720 msnm, como segundo frente de recarga se manifiesta la zona norte con una elevación de 1705 msnm, al oriente del acuífero se presenta un flujo con dirección al Valle de Celaya, mientras que para la zona central de la zona de estudio se presenta una elevación de 1705 msnm.

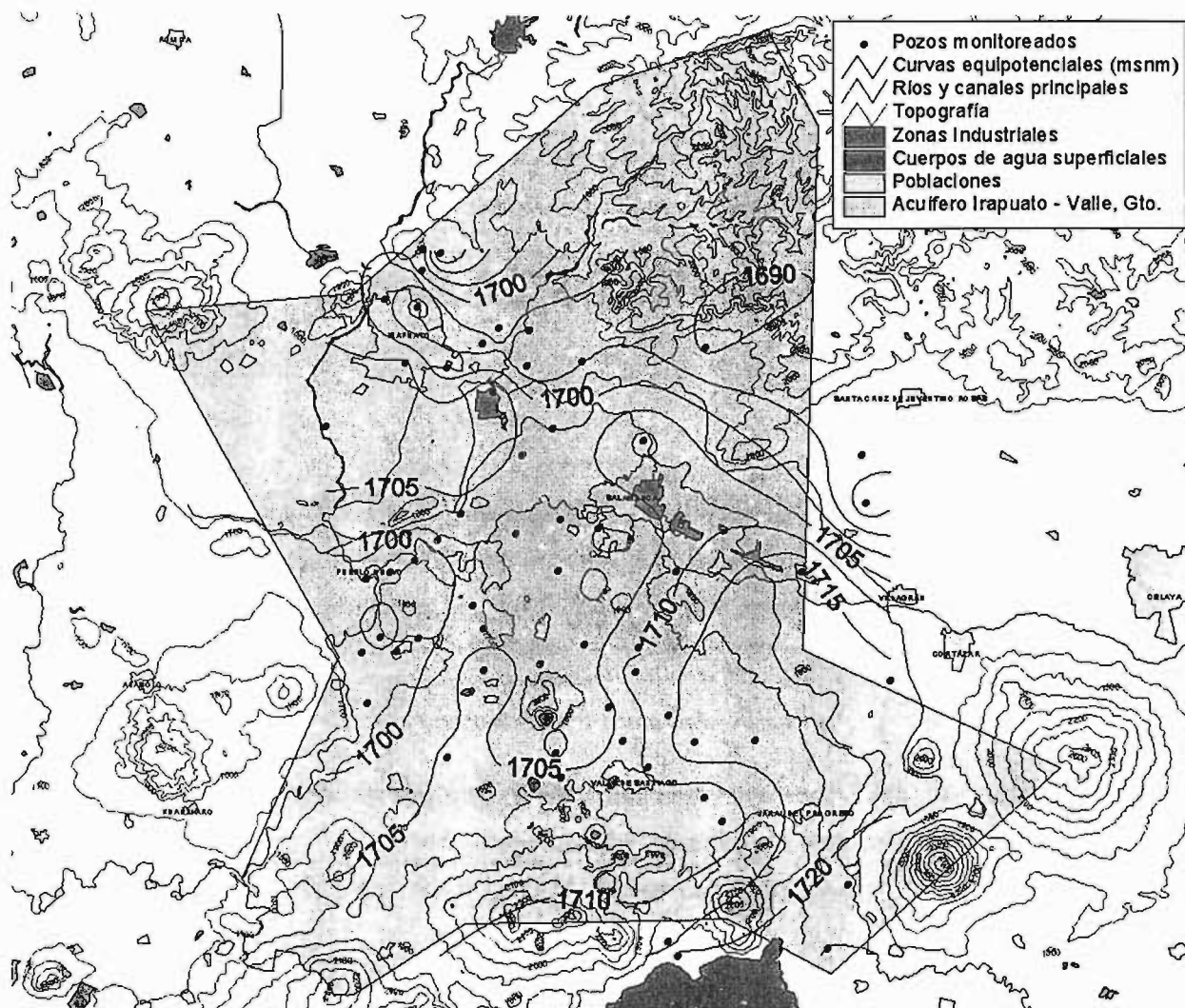


Figura 3.19. Elevación del nivel estático para septiembre de 1979

Para julio de 1998 (figuras 3.20), la piezometría muestra las principales zonas de recarga que se presentan en las porciones Sureste, Norte y Noreste. En el resto del área se observan equipotenciales con una elevación promedio de 1670 a 1680 msnm; y se observan dos conos piezométricos de 1640 y 1660 msnm en las inmediaciones de las ciudades de Salamanca e Irapuato.

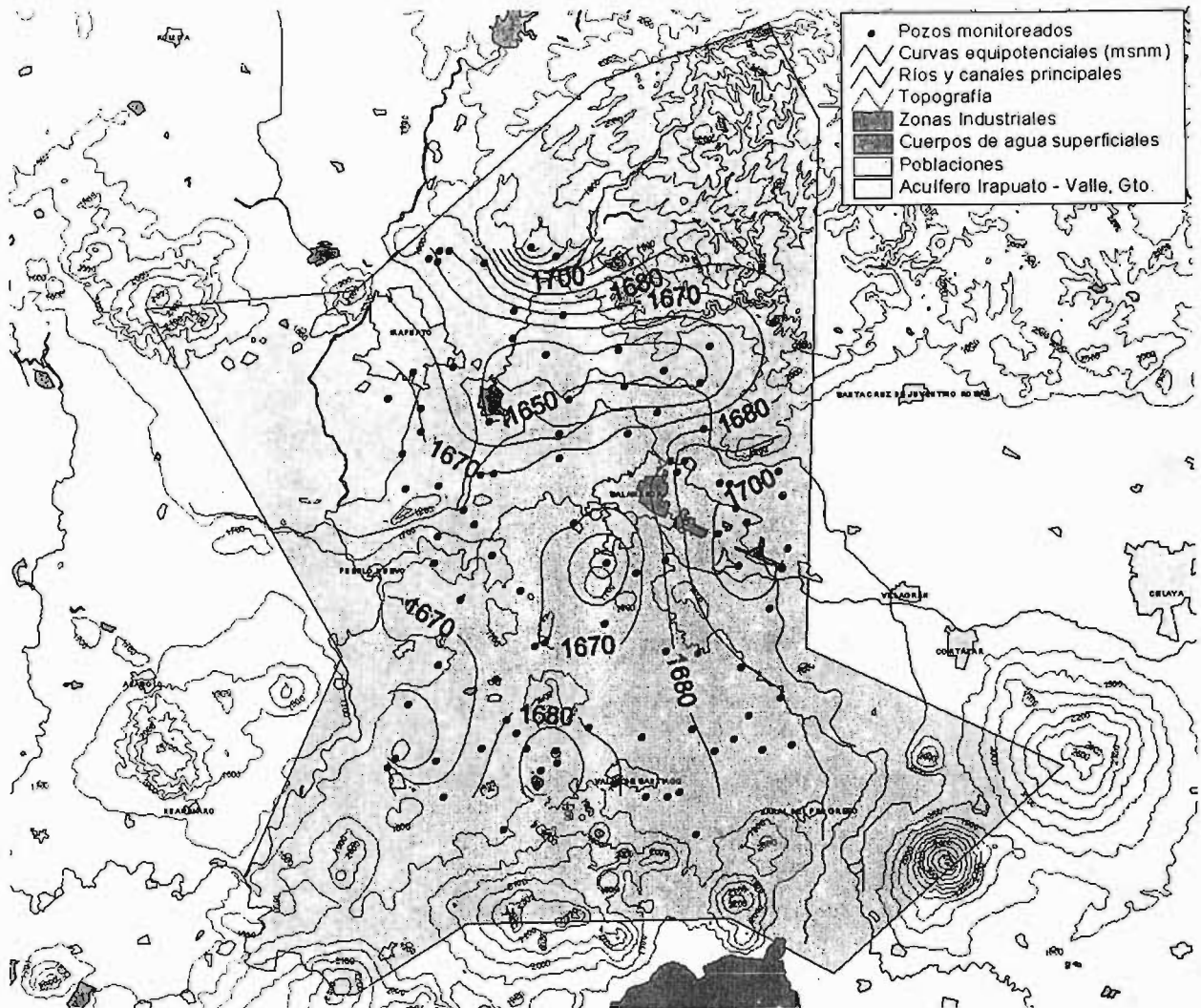


Figura 3.20. Elevación del nivel estático para julio de 1998

El comportamiento de flujo observado para junio de 2003 (figura 3.21) presenta una serie de conos de abatimiento: a) en las inmediaciones de la ciudad de Salamanca; b) en la zona industrial y en la ciudad de Irapuato; y c) al norte de Salamanca. Por otro lado, de manera contraria a los conos de abatimiento, se tiene la presencia de un domo localizado entre las ciudades de Irapuato y Salamanca. La dirección preferencial del flujo se presenta de norte a suroeste. Las entradas principales de agua subterránea se presentan al norte y este desde el Valle de Celaya y al sureste por Valle de Santiago.

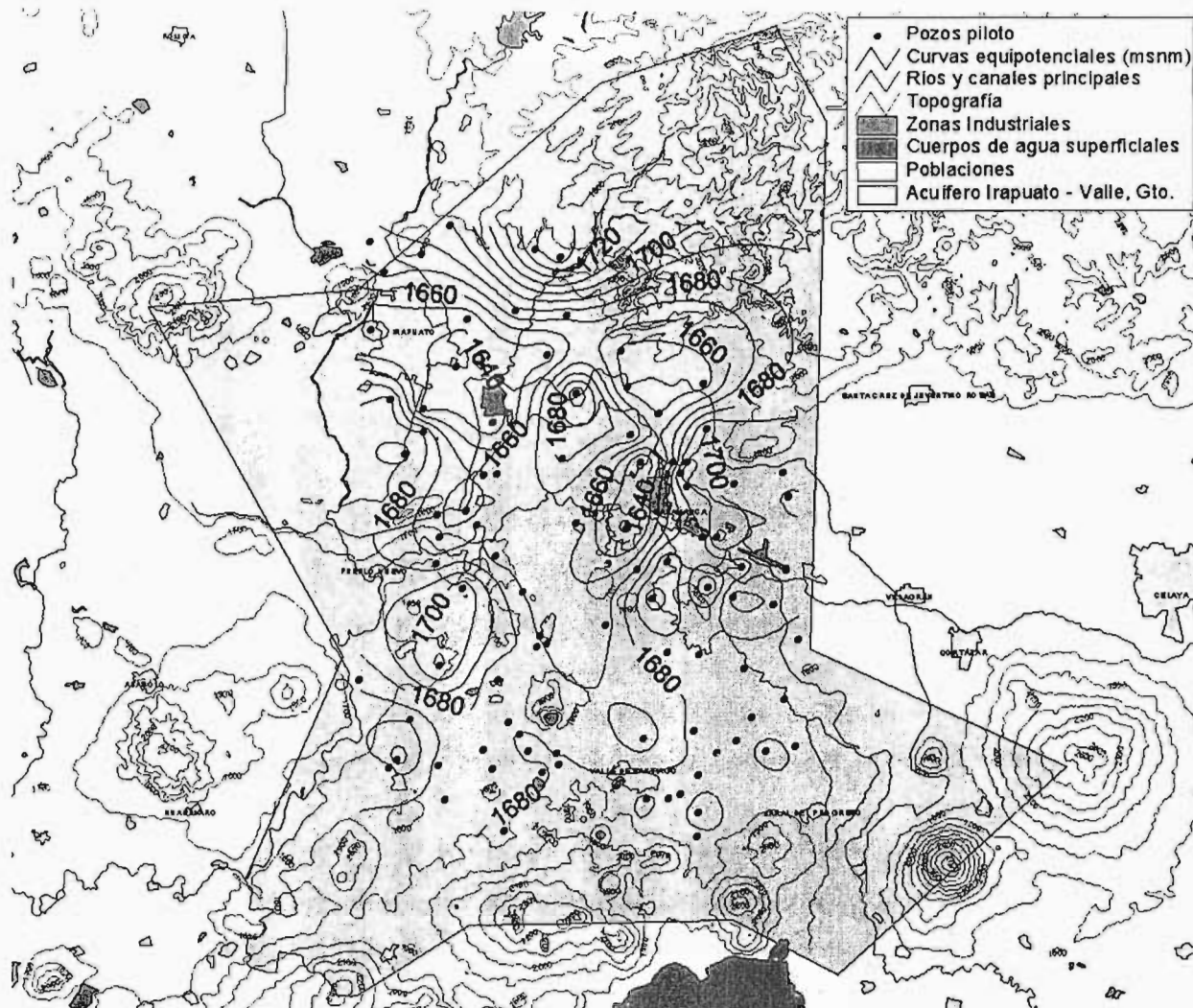


Figura 3.21. Elevación del nivel estático para junio de 2003

3.11. MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO HIDRODINÁMICO

El modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del acuífero de Irapuato-Valle se establece a partir de sistemas de flujo local, intermedio y regional que circulan en los medios granular y fracturado e integran un sistema acuífero del tipo libre heterogéneo (figuras 3.22, 3.23 y 3.24). El granular constituye un paquete que agrupa principalmente depósitos aluviales, suelos residuales y materiales vulcano-sedimentarios. El fracturado lo constituyen principalmente coladas de composición básica alterada, fracturada e intercalaciones de materiales piroclásticos.

Con base en las configuraciones de nivel estático se observa que las fuentes de recarga son: a) la Sierra de las Codornices, ubicada hacia el norte de la zona de estudio; b) el Frente Volcánico de las Siete

Luminarias, ubicado al sureste; y c) en menor proporción la recarga lateral del Acuífero del Valle de Celaya. Mientras que la descarga de agua subterránea del Acuífero Irapuato-Valle se lleva a cabo mediante, a) el bombeo de los aprovechamientos activos; b) por el escurrimiento superficial del Río Lerma; y c) por flujo subterráneo hacia el Valle de Pénjamo-Abasolo. Las depresiones piezométricas y principales zonas de descarga se presentan en las ciudades de Irapuato y Salamanca, hacia el este y sureste de Irapuato, en la zona industrial de Irapuato y hacia el oriente y norte de Salamanca. También cerca de la zona de recarga sureste se ve afectada por una depresión piezométrica al poniente de Valle de Santiago.

En estas condiciones el flujo subterráneo se desplaza horizontalmente en la zona de rellenos granulares no consolidados y en el medio fracturado de oriente a poniente, siguiendo la traza del cauce del Río Lerma, siendo entonces la componente principal de la dirección del agua subterránea.

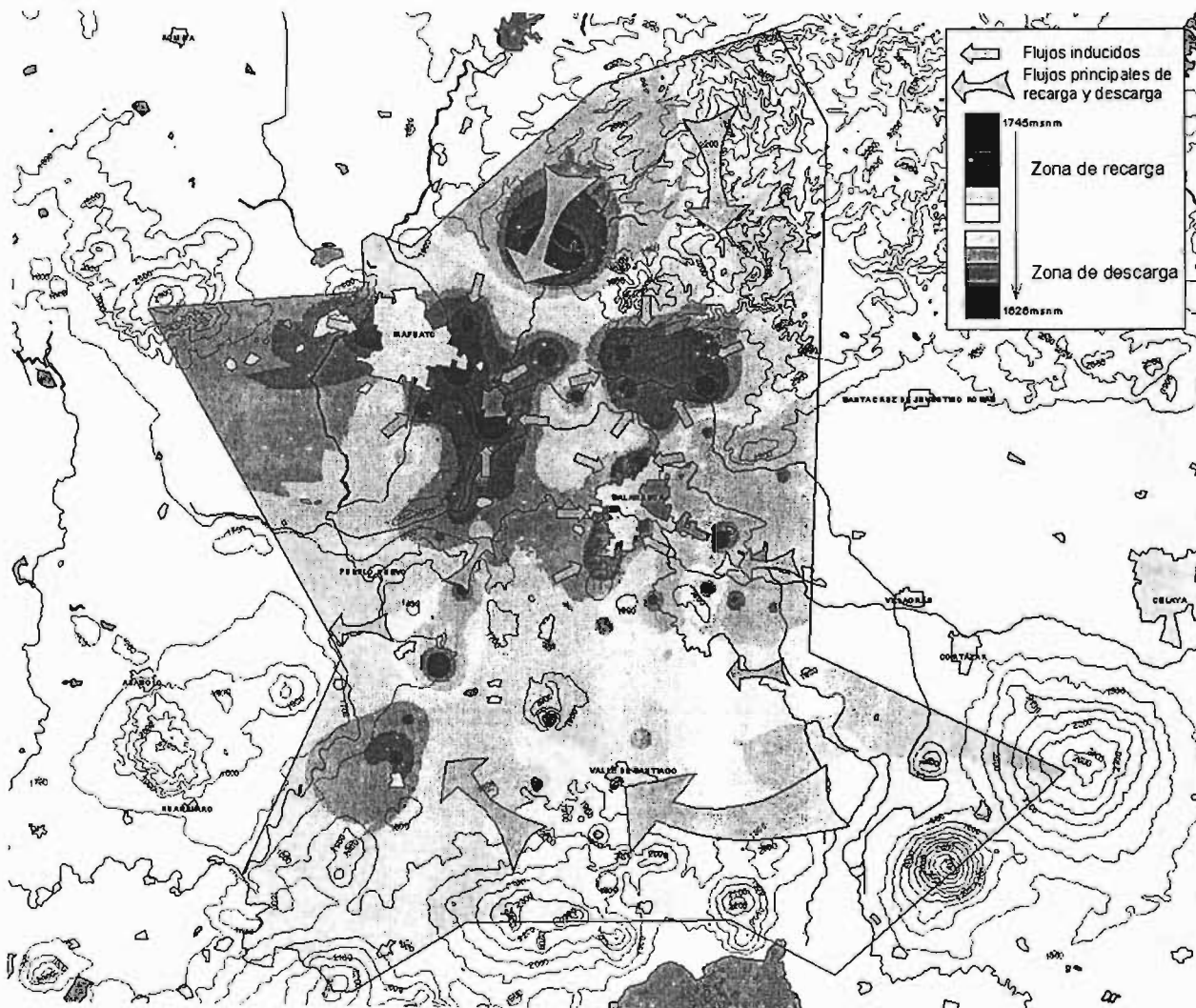


Figura 3.22. Modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico, vista en planta (junio, 2003)

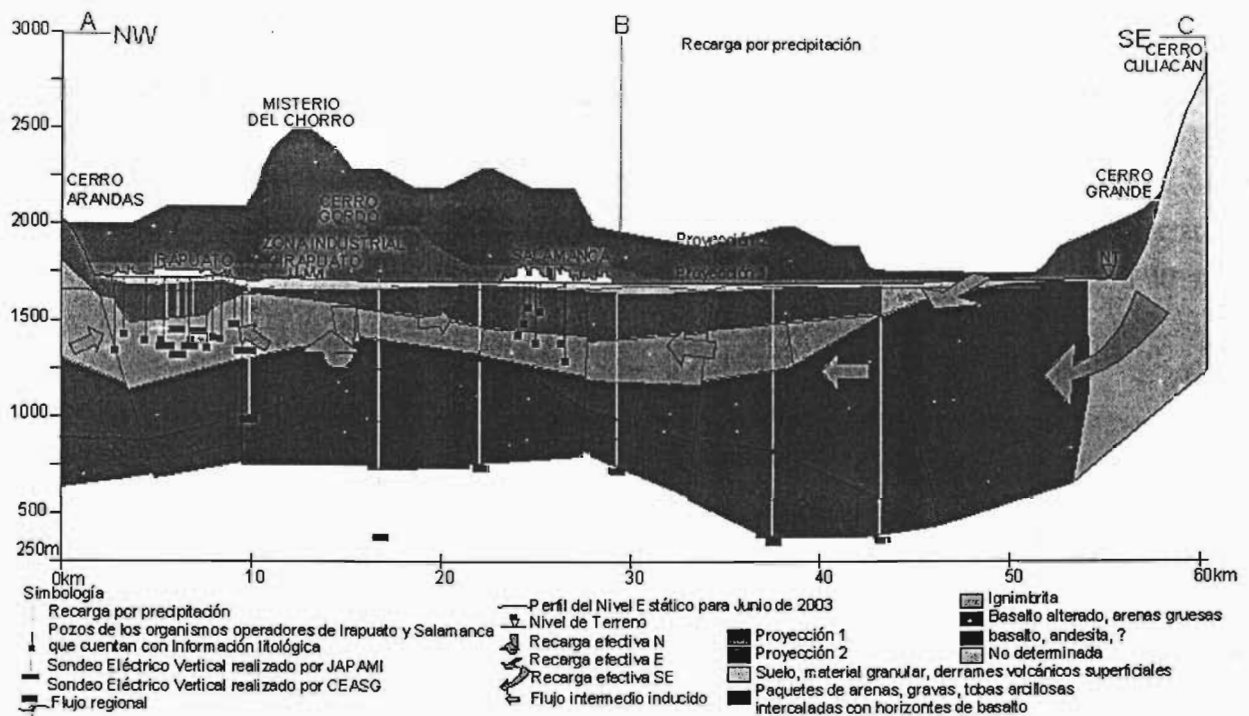


Figura 3.23. Modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico, perfil 1

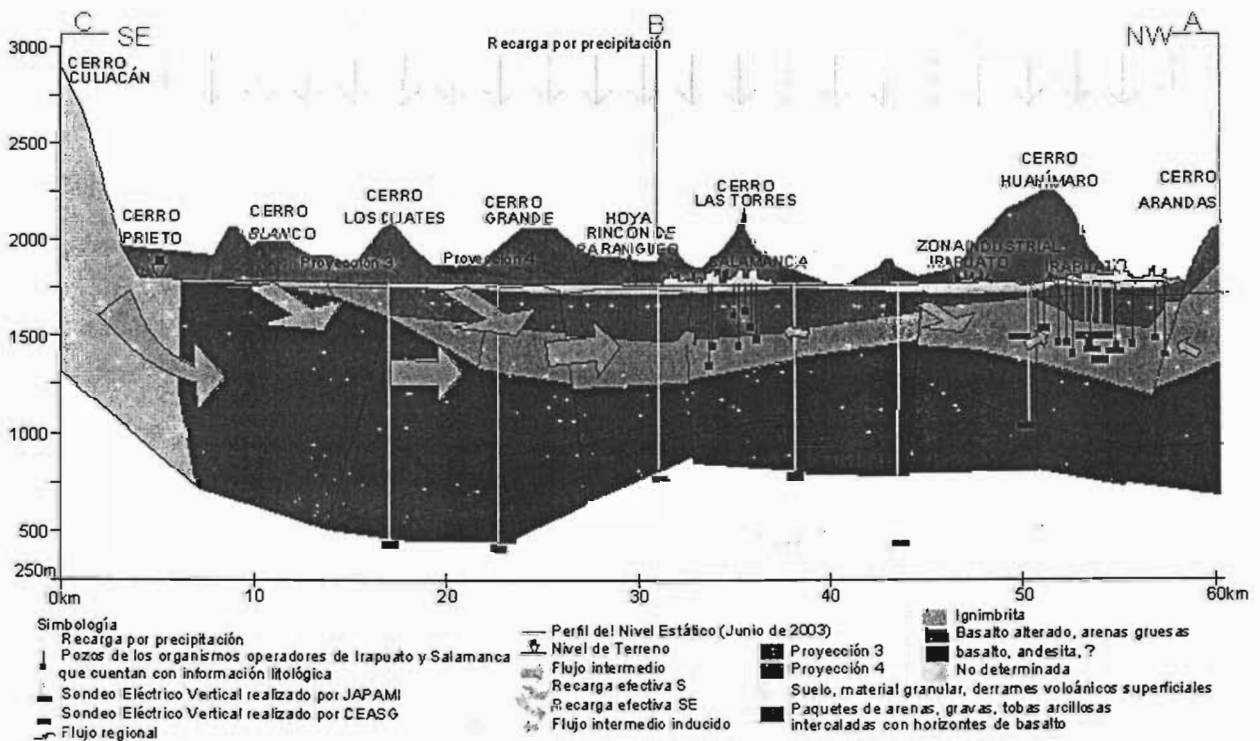


Figura 3.24. Modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico, perfil 2

El sistema de flujo local se presenta solamente después de eventos extraordinarios de precipitación pluvial e incluye también a la recarga generada por los retornos de riego. El sistema de flujo intermedio sustenta casi el total de la extracción en el valle y se presenta principalmente en las ciudades de Irapuato y Salamanca así como en la zona de riego. Por último, el sistema de flujo regional circula en el medio fracturado y descarga fuera de los límites del área de estudio.

3.12. PRINCIPALES RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS

SARH, 1979

El Estudio Geohidrológico de los Acuíferos del Alto Lerma (SARH, 1979) presentó los siguientes objetivos: a) determinar la magnitud de la recarga que recibían los acuíferos de la zona considerada, así como el volumen del agua que se extraía de los mismos; y b) definir si era factible extraer del subsuelo volúmenes adicionales de agua sin inducir efectos perjudiciales y, en caso afirmativo, proponer el régimen y distribución convenientes de la explotación, tendiendo al aprovechamiento racional y óptimo de los recursos hidráulicos subterráneos.

Las principales conclusiones del estudio fueron: En base a la información piezométrica, hidrométrica e hidrogeoquímica disponible, se concluyó que en los bordes del valle la configuración refleja la recarga procedente de las Sierras limítrofes, generada por la infiltración del agua de lluvia en las rocas volcánicas que ahí afloran. La circulación del agua subterránea tiene lugar de las partes altas a las partes bajas del valle, siendo el cauce del Río Lerma y la Laguna de Yuriria receptores de la descarga natural del acuífero. Por otra parte, la aportación subterránea que procedía del Valle de Celaya ha sido totalmente interceptada a causa de la operación del gran número de pozos ahí empleados.

Los resultados del análisis químico del acuífero granular muestran que el agua es de buena calidad, con salinidad total menor a 1000 ppm, es de tipo bicarbonatada sódica, bicarbonatada mixta y la clasificación agrícola es C2-S1 y C3-S1 con bajo riesgo de sodificación y cierto riesgo de salinización de los suelos.

Los resultados de evolución de los niveles estáticos en el periodo de 1970-1977 revelan que la explotación del acuífero ha formado depresiones piezométricas locales en el área de Irapuato, Salamanca. En las localidades de Valle de Santiago y Jaral del Progreso, y al noreste de Salamanca, dichos niveles están ascendiendo a causa de los retornos del agua de riego y de la infiltración de los canales.

En Salamanca los pozos profundos de uso industrial captan un segundo acuífero, constituido por derrames lávicos fracturados (basaltos y riolitas) y clásticos gruesos. El techo de este acuífero tiene una profundidad estimada de 200 m y un espesor de 150 m, su extensión superficial es desconocida y los rendimientos de los pozos varían de 110 a 125 lps, caudales específicos de 11 a 30 lps/m. El volumen de extracción anual era de 70 Mm³/año. Los resultados del análisis químico del acuífero profundo muestran que el agua es de buena calidad, con salinidad total menor a 400 ppm, sin embargo su dureza, temperatura y contenido de sílice son elevados, con características desfavorables, especialmente para uso industrial.

En este estudio se recomendó: a) Incrementar la explotación del acuífero granular en unos 100 Mm³/año; b) Ampliar la distribución espacial entre los pozos; c) Efectuar perforaciones de 150 m con caudales esperados de 50 lps y abatimientos de 15 a 20 m; d) Definir la extensión y configuración del acuífero profundo, mediante pozos exploratorios y sondeos geofísicos; y e) Evitar incrementar el bombeo en el área de Salamanca.

CEASG, 1998

El Estudio Hidrogeológico del Acuífero del Valle de Irapuato–Valle de Santiago realizado en 1998 presentó los objetivos hidrogeoquímicos siguientes: a) Conocer la concentración del elemento químico y sales que contiene el agua, así como su evolución en tiempo y espacio; y b) Manifestar los probables riesgos potenciales de contaminación e impacto ambiental.

Las principales conclusiones fueron las siguientes: a) La información del análisis de los rasgos indicadores de flujo subterráneo y de datos de temperatura y calidad de agua subterránea, indican que la Sierra de las Codornices y el Frente Volcánico de las Siete Luminarias corresponden a las principales zonas de recarga del valle; y b) Es posible distinguir tres diferentes sistemas de flujo en el área: local, intermedio y regional. El sistema de flujo local se encuentra a una profundidad entre 6 y 10 m. El sistema de flujo intermedio sustenta casi el total de la extracción del Valle. El sistema de flujo regional probablemente circula en el medio fracturado debido a las manifestaciones de agua termal.

Se realizó un estudio hidrogeoquímico a partir del análisis fisicoquímico y de la calidad del agua, dicho estudio concuerda con el esquema de flujo subterráneo; el control principal es el Río Lerma el cual divide a la zona de estudio en norte (zona de Irapuato y Salamanca) y sur (zona de Valle de Santiago).

Algunas muestras sobrepasan las normas nacionales e internacionales en calidad del agua para consumo humano, como son: concentraciones de Fe⁺ en 13 de 25 muestras, sólidos totales disueltos en 15

muestras, K^+ en 21 muestras, Mg^+ en 7 muestras; de las cuales solo el hierro y los sólidos totales disueltos se consideran en las normas mexicanas y el magnesio y potasio se incluyen en las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y en la Comunidad Económica Europea (CEE), por lo que se considera aceptable la calidad del agua.

Para uso agrícola, en la parte norte se reportan índices de C2-C3 (peligro de salinación de suelo, rango medio a alto); en casi todas las muestras se reportan índices de absorción de sodio en niveles bajos (S1) y solo dos muestras reportan un valor superior a 10, que es un valor medio (S2), en la zona de Salamanca y al norte de Valle de Santiago. Se realizó un análisis por compuesto organoclorados en un pozo (zona agrícola) al noreste de Valle de Santiago y no mostró afectación por compuestos relacionados con pesticidas.

CNA, 2003

La contaminación difusa que afecta la calidad del agua subterránea, proviene básicamente de: a) fuentes que descargan sustancias contaminantes como consecuencia de actividades productivas (irrigación de cultivos utilizando agua subterránea y aguas residuales, aplicación de pesticidas, aplicación de fertilizantes y residuos de granjas, etc.) y b) fuentes naturales cuya descarga es incrementada por la actividad humana (interacción agua subterránea-agua superficial, lixiviación natural, etc.).

La concentración de iones mayoritarios como salinidad, cloruro, sulfato, sodio y dureza total en el agua subterránea no presentan mayores limitaciones. Por ejemplo, la salinidad establece que el 96% de los aprovechamientos muestreados presentan concentraciones menores al límite permisible. Con relación al cloruro, únicamente en la porción comprendida al noroeste de Valle de Santiago, se identificaron concentraciones mayores al límite establecido en la NOM-127-SSA1-1994. Los aprovechamientos con concentración de fluoruro que rebasa el límite permisible, se ubican en la porción norte del área estudiada, fundamentalmente entre las poblaciones de Irapuato y Salamanca, Gto. En esta última, se localizan los pozos profundos que abastecen a la Central Termoeléctrica Salamanca de la Comisión Federal de Electricidad, en los que se identificaron concentraciones de fluoruro hasta de 13 mg/l. Las regiones donde las concentraciones de nitrato son mayores al nivel de fondo geoquímico (nitrógeno de nitrato < 10 mg/l, tiene relación con las zonas de recarga y donde se presenta menor salinidad, por lo que este valor probablemente represente el límite superior de las concentraciones que pueden originarse en forma natural en el Acuífero Irapuato-Valle) se localizan entre las ciudades de Irapuato y Salamanca y al sur de Irapuato. Las inmediaciones de Pueblo Nuevo, Cortazar y Valle de Santiago, representan el impacto de las actividades agrícolas en el agua subterránea.

La calidad del agua subterránea para uso potable manifiesta algunos problemas con elementos traza. Por ejemplo, algunas de las concentraciones de arsénico identificadas en la zona de Salamanca se ubican por arriba del límite permisible, al igual que un aprovechamiento al norte de la ciudad de Irapuato. Otros aprovechamientos que presentan valores elevados de arsénico se identifican en la región entre Valle de Santiago y Pueblo Nuevo. Los valores de hierro generalmente son bajos, únicamente en tres casos se identifican concentraciones superiores a la establecida en la NOM-127-SSA1-1994. Con respecto al manganeso, se detectaron 11 aprovechamientos que rebasan el límite permisible. Con relación al plomo, no se detectaron concentraciones elevadas en ningún aprovechamiento que se utilice para uso potable o agrícola.

La calidad del agua subterránea para uso agrícola es en general muy favorable, ya que los tipos de agua que predominan son C2-S1 con un 48%, seguido del C3-S1 con un 43%. Con un porcentaje mucho menor se identificaron otros tipos de agua de acuerdo con la clasificación para uso agrícola.

3.13. CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Los monitoreos de calidad de agua subterránea realizados en la zona de estudio, han sido usualmente de tres tipos: a) Monitoreos regionales, los cuales corresponden a los estudios geohidrológicos y al estudio de contaminación difusa; b) Monitoreos locales, realizados en las ciudades de Irapuato y Salamanca; y c) Monitoreos puntuales practicados por diversas dependencias en los pozos de abastecimiento público, como la Secretaría de Salud del Estado de Guanajuato.

Los monitoreos regionales del acuífero se incluyen en los siguientes estudios geohidrológicos: a) Estudio Geohidrológico Cuantitativo de los Acuíferos del Alto Lerma, Gto., realizado por Geohidrológica Mexicana S.A. para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (figura 3.25; SARH, 1979), en el cual se muestrearon 133 aprovechamientos los cuales fueron clasificados en norias y pozos, se midieron tres parámetros en campo y ocho parámetros fisicoquímicos en laboratorio (tabla 3.12); b) Estudio Hidrogeológico y Modelo Matemático del Acuífero del Valle de Irapuato-Valle de Santiago, realizado por Geofísica de Exploraciones GUYSA, S.A. de C.V. para la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Guanajuato (figura 3.26; CEASG, 1998), en este estudio se muestrearon 25 aprovechamientos, se midieron cinco parámetros en campo y diez parámetros fisicoquímicos en laboratorio, la profundidad total de los pozos monitoreados varió de 50 a 250 m; y c) Estudio de Contaminación Difusa en el Agua Subterránea en el Acuífero Irapuato-Valle, Gto. realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua para la Gerencia Regional Lerma-Santiago-Pacífico de la Comisión Nacional del Agua (figura 3.27; CNA, 2003), se muestrearon 140 aprovechamientos de los cuales, 73 son de abastecimiento público, 60 pozos

de riego agrícola y 7 pozos de uso industrial. Adicionalmente se muestrearon 17 pozos de verificación, de los cuales 12 fueron de abastecimiento público y 5 de riego agrícola. Se midieron siete parámetros en campo y 19 parámetros fisicoquímicos, además en algunos aprovechamientos se muestreo para plaguicidas, carbono orgánico total y fenoles. Dos aprovechamientos que fueron muestreados en 2003 no se consideraron para el análisis estadístico debido a que en esos sitios se muestrearon aguas superficiales.

Tabla 3.12. Parámetros medidos en los estudios de alcance regional

TIPO DE PARÁMETROS	PARÁMETROS CONSIDERADOS PARA CADA ESTUDIO	SARH, 1979	CEASG, 1998	CNA, 2003
	Aprovechamientos monitoreados	133	25	157
Parámetros físicos medidos en campo	Temperatura del agua	X	X	X
	Conductividad eléctrica	X	X	X
	pH		X	X
	Redox			X
	Oxígeno disuelto			X
	Alcalinidad total		X	X
	Sólidos disueltos totales	X	X	X
Parámetros fisicoquímicos: elementos mayores y menores, elementos traza medidos en laboratorio	Calcio	X	X	X
	Magnesio	X	X	X
	Sodio	X	X	X
	Potasio	X	X	X
	Carbonato	X	X	
	Bicarbonato	X	X	X
	Fluoruro			X
	Sulfato	X	X	X
	Cloruro	X	X	X
	Nitrógeno en nitratos			X
	Arsénico			X
	Dureza total		X	X
	Hierro		X	X
	Manganeso			X
	Nitrógeno en nitritos			X
	Plomo			X
	Fosfatos			X
Fenoles			X	
Parámetros microbiológicos	Coliformes totales			X
	Coliformes fecales			X
	Carbón orgánico total			X
	Plaguicidas			X

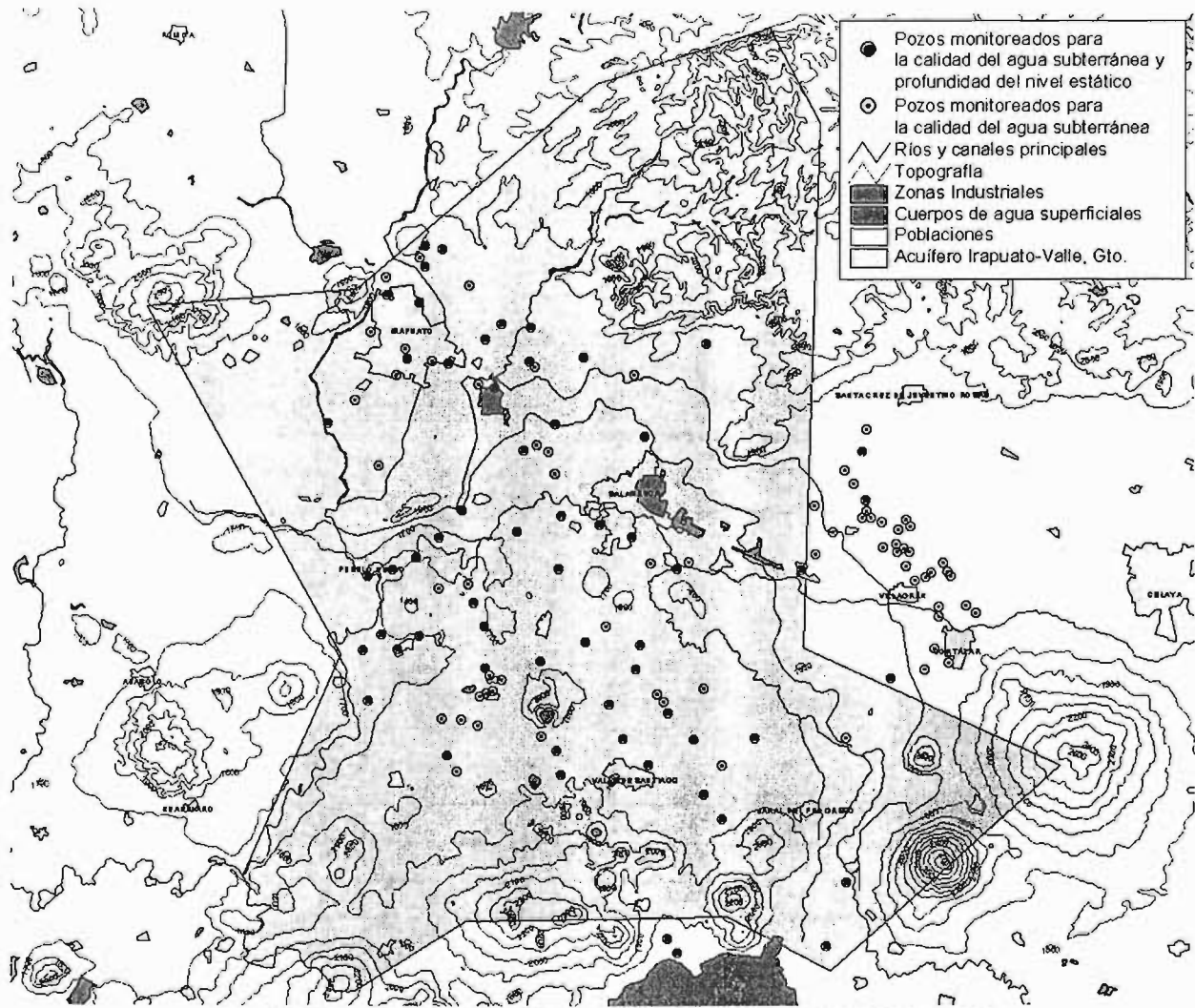


Figura 3.25. Pozos monitoreados para la calidad del agua subterránea, 1979

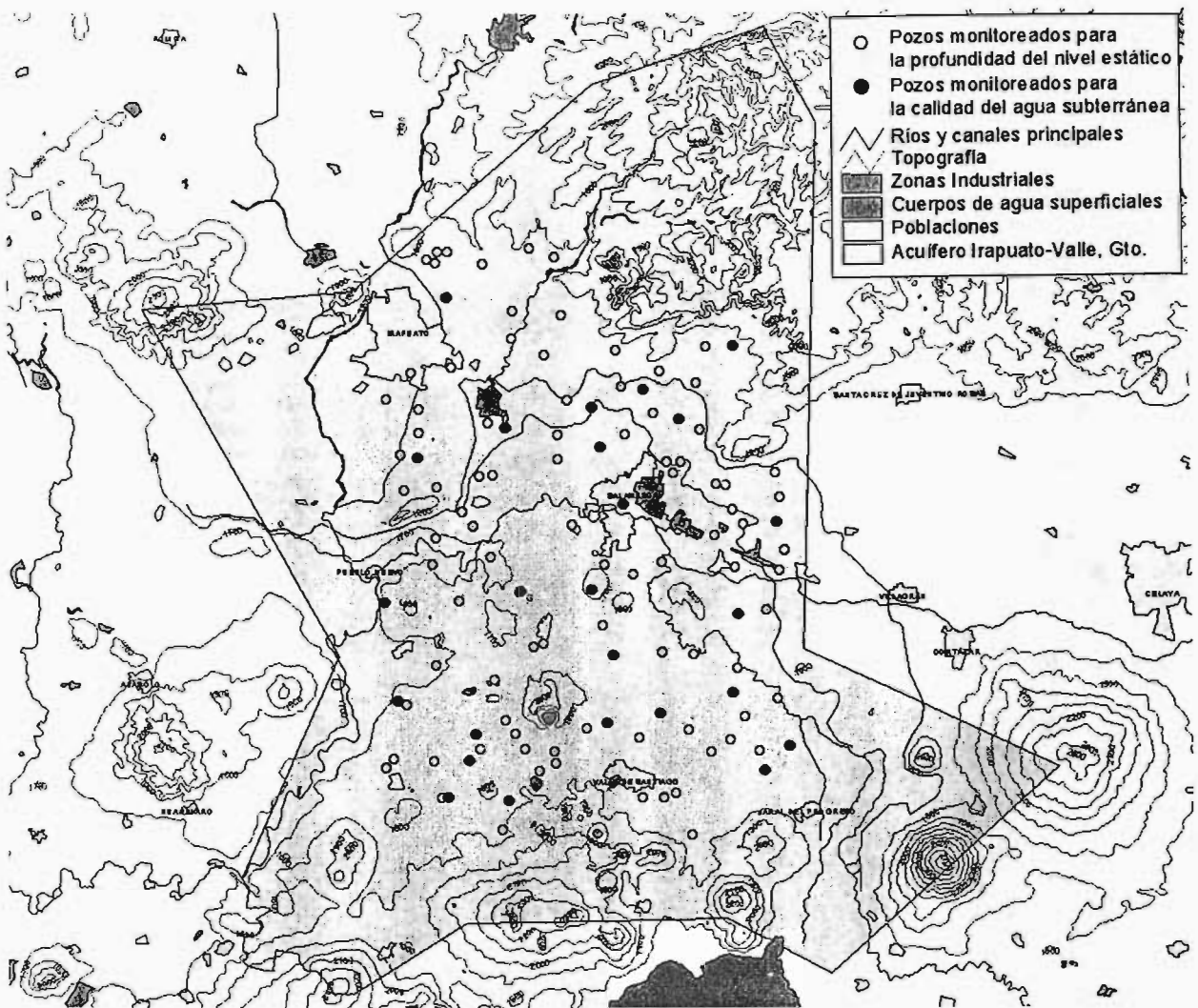


Figura 3.26. Pozos monitoreados para la calidad del agua subterránea, 1998

En cuanto a información sistematizada de alcance local, se cuenta con monitoreos realizados por la JAPAMI, el CMAPAS y la CEAG en las ciudades de Irapuato y Salamanca.

De la ciudad de Irapuato, se cuenta con los cuatro siguientes monitoreos: a) Monitoreo de abril de 1997, en el cual se tomaron en cuenta 39 aprovechamientos, se midieron cinco parámetros en campo y 11 parámetros fisicoquímicos en laboratorio (tabla 3.13); b) Monitoreo de abril de 2001, en el cual se analizaron 48 aprovechamientos, se midieron cuatro parámetros en campo y 12 parámetros fisicoquímicos en laboratorio; c) Monitoreo de mayo de 2003, en el cual se analizó la calidad del agua de 34 aprovechamientos, se midieron tres parámetros en campo y 16 parámetros fisicoquímicos en laboratorio; d) Monitoreo realizado del 25 de noviembre al 16 de diciembre de 2003, se midieron tres parámetros en campo y 21 parámetros fisicoquímicos en laboratorio, la profundidad total de los pozos seleccionados para

éste monitoreo varió de 64 a 300 m. Adicionalmente a los cuatro monitoreos, en el estudio realizado por el IMTA del 2 al 11 de diciembre de 2003, se realizó el monitoreo en los 14 pozos más representativos de la zona urbana de Irapuato operados por la JAPAMI (JAPAMI, 2003), la profundidad total de estos aprovechamientos varió entre 75 y 350 m.

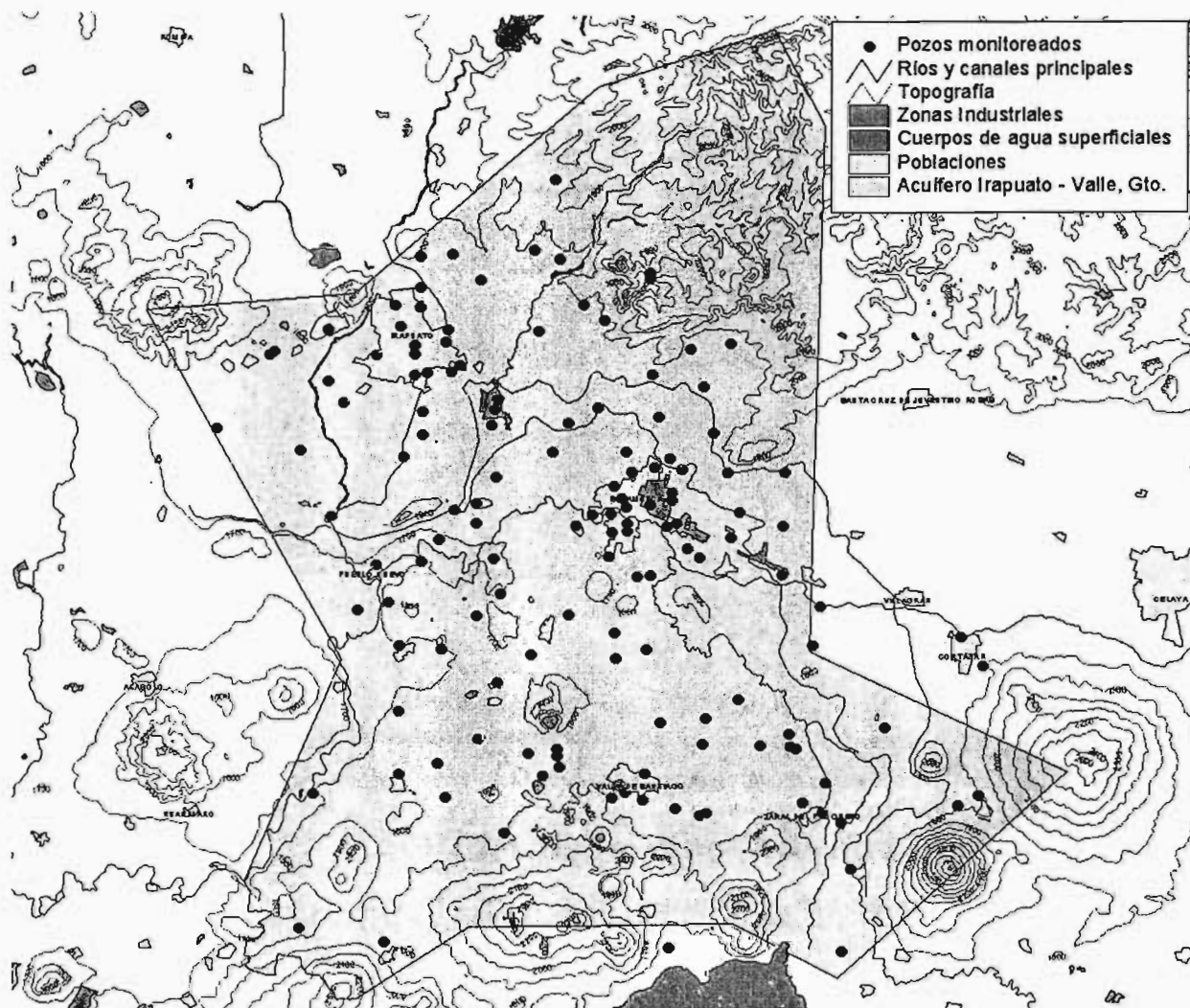


Figura 3.27. Pozos monitoreados para la calidad del agua subterránea, 2003

Tabla 3.13. *Parámetros medidos en los monitoreos realizados en la ciudad de Irapuato*

TIPO DE PARÁMETROS	PARÁMETROS CONSIDERADOS PARA IRAPUATO	ABR, 97	ABR, 01	MAY, 03	DIC, 03
	Aprovechamientos monitoreados	39	48	34	
Parámetros físicos medidos en campo	Temperatura del agua	X*	X	X	X
	Conductividad eléctrica	X*			
	pH	X*	X	X	X
	Alcalinidad total	X*			
	Sólidos totales	X*			
	Sólidos suspendidos totales		X		
	Sólidos disueltos totales		X	X	X
Parámetros fisicoquímicos: elementos mayores y menores, elementos traza medidos en laboratorio	Fluoruro		X	X	X
	Sulfato	X*		X	X
	Cloruro		X	X	X
	Nitrógeno en nitratos	X*	X	X	X
	Arsénico	X		X	X
	Dureza total	X*	X		X
	Fierro	X	X	X	X
	Manganeso	X		X	X
	Mercurio			X	X
	Nitrógeno en nitritos	X*	X	X	X
	Nitrógeno amoniacal		X	X	X
	Cloro residual		X		
	Plomo	X		X	X
	Cadmio	X		X	X
	Cromo	X		X	X
Cianuro			X	X	
Selenio	X				
Parámetros microbiológicos	Coliformes totales		X	X	X
	Coliformes fecales		X	X	X
Parámetros organolépticos	Color		X		X
	Olor				X
	Sabor				X
	Turbidez		X		x

* este parámetro se midió solo en 11 aprovechamientos

En la ciudad de Salamanca se realizaron tres monitoreos de calidad de agua subterránea: a) Monitoreo del 19 de agosto de 1997, en el cual se analizaron 19 aprovechamientos, se midieron siete parámetros en campo y 15 parámetros fisicoquímicos en laboratorio (tabla 3.14); b) Monitoreo realizado entre el 9 y 14 de mayo de 2001, fueron analizados 23 aprovechamientos, se midieron cinco parámetros en campo y 12 parámetros fisicoquímicos en laboratorio; c) Monitoreo realizado en Julio de 2003, en el cual se analizaron 25 aprovechamientos, se midieron seis parámetros en campo y 14 parámetros fisicoquímicos en

laboratorio. Adicionalmente a los tres monitoreos, en el estudio realizado por el IMTA del 2 al 11 de diciembre de 2003, se realizó el monitoreo en los 12 pozos más representativos de la zona urbana de Salamanca con profundidades totales comprendidas entre 90 y 300 m operados por el CMAPAS (CMAPAS, 2003).

Tabla 3.14. *Parámetros medidos en los monitoreos realizados en la ciudad de Salamanca*

TIPO DE PARÁMETROS	PARÁMETROS CONSIDERADOS PARA SALAMANCA	AGO, 97	ABR, 01	JUL, 03
	Aprovechamientos monitoreados	19	23	25
Parámetros físicos medidos en campo	Temperatura del agua	X	X	X
	Conductividad eléctrica	X		X
	pH	X	X	X
	Alcalinidad total	X		
	Sólidos totales	X	X	X
	Sólidos suspendidos totales	X	X	X
	Sólidos disueltos totales	X	X	X
Parámetros fisicoquímicos: elementos mayores y menores, elementos traza medidos en laboratorio	Sodio			X
	Fluoruro		X	X
	Sulfato	X		X
	Cloruro	X	X	X
	Nitrógeno en nitratos	X	X	
	Arsénico	X		X
	Dureza total	X	X	
	Dureza por calcio	X		
	Fierro	X	X	X
	Manganeso	X		X
	Nitrógeno en nitritos	X	X	X
	Nitrógeno amoniacal	X	X	
	Cloro residual		X	
	Plomo	X		X
	Cadmio	X		X
	Cromo	X		
Selenio	X			
Fenoles			X	
Parámetros microbiológicos	Coliformes totales		X	X
	Coliformes fecales		X	X
Parámetros organolépticos	Color	X	X	
	Turbidez		X	
	Grasas y aceites			X

Los monitoreos puntuales no han sido utilizados en los análisis estadísticos debido a que los resultados de calidad de agua se generan de manera aleatoria, no sistematizada e incompleta; ya que, solamente se

dan a conocer los aprovechamientos y los parámetros de calidad donde el valor de la norma NOM-127-SSA1-1994 Modificada se rebasa.

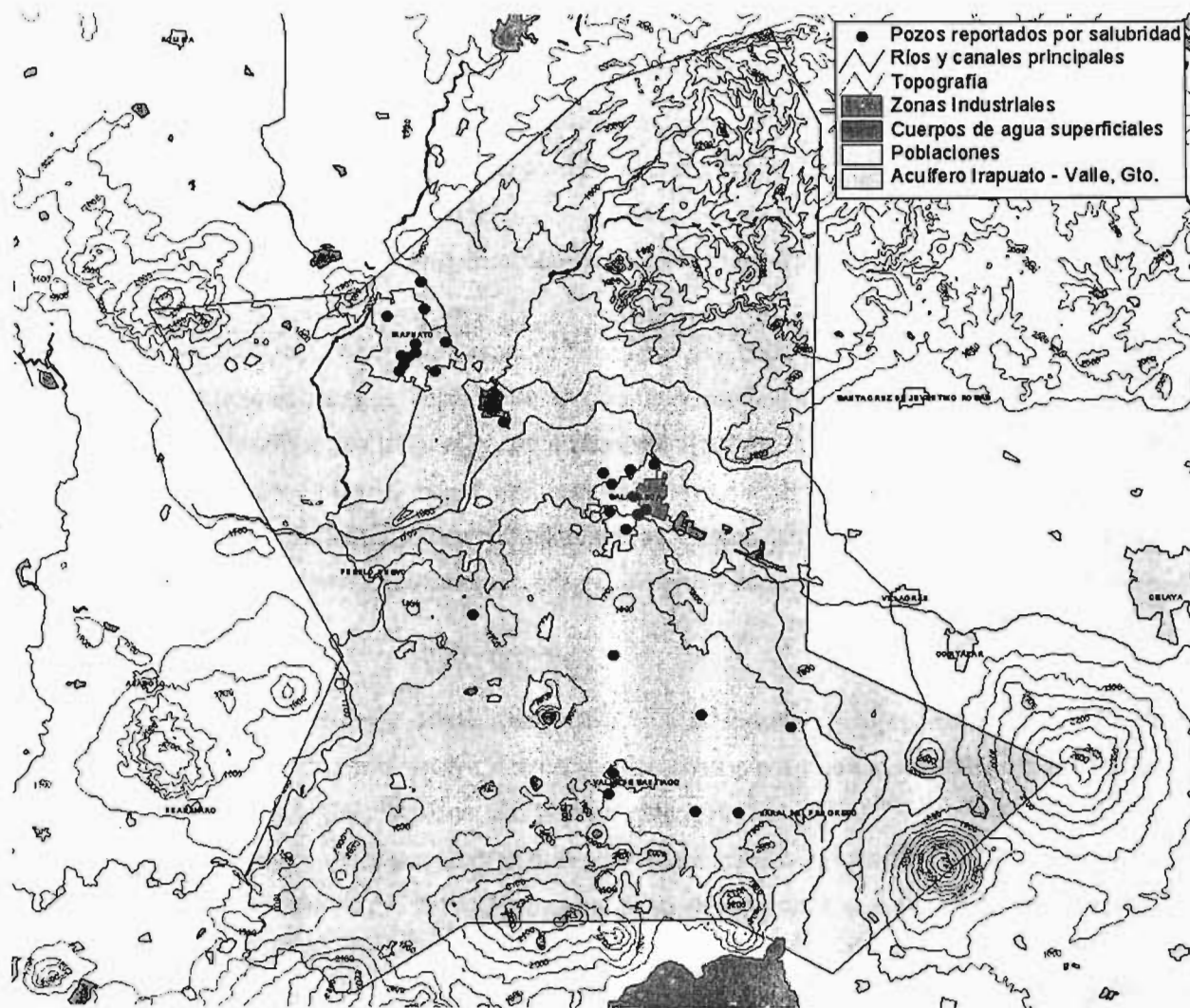


Figura 3.28. Pozos reportados por la Secretaria de Salud, Estado de Guanajuato

4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

4.1. TEORÍA

La estadística es una ciencia derivada de la matemática que estudia los métodos científicos para almacenar, organizar, resumir y analizar datos, así como para obtener conclusiones válidas y tomar decisiones razonables basadas en dicho análisis. La estadística es la única herramienta que permite dar y obtener resultados, y por tanto beneficios, en cualquier tipo de estudio, cuyos movimientos y relaciones, por su variabilidad intrínseca, no puedan ser abordadas desde la perspectiva de las leyes deterministas.

La estadística se ocupa de los métodos y procedimientos para coleccionar, clasificar, resumir, hallar regularidades y analizar los datos, siempre y cuando la variabilidad e incertidumbre sea una causa intrínseca de los mismos; así como de realizar inferencias a partir de ellos, con la finalidad de ayudar a la toma de decisiones y en su caso formular predicciones. Por tanto la estadística se clasifica en: a) Descriptiva, cuando los resultados del análisis no pretenden ir más allá del conjunto de datos; y b) Inferencial, cuando el objetivo del estudio es derivar las conclusiones obtenidas a un conjunto de datos más amplio (DATA MINING INSTITUTE S.L., 2004).

La estadística descriptiva como su nombre lo indica describe, analiza y representa un grupo de datos utilizando métodos numéricos y gráficos que resumen y presentan la información contenida en ellos. Se basa en procedimientos empleados para organizar, presentar y analizar conjuntos de datos numéricos. Los conjuntos de datos numéricos no organizados resultan de poco valor, sin embargo, se dispone de técnicas estadísticas para organizar este tipo de datos en forma significativa (Mason y Lind, 1995).

La estadística inferencial, también llamada estadística inductiva, se basa en el cálculo de probabilidades y a partir de datos muestrales, efectúa estimaciones, decisiones, predicciones u otras generalizaciones sobre un conjunto mayor de datos. Lo más importante con respecto a la estadística inferencial es determinar algo acerca de una población (conjunto de todos los posibles individuos; personas, objetos o mediciones de interés). Para deducir algo acerca de una población, por lo general se toma una muestra (una parte de la población de interés) de dicha población (Mason y Lind, 1995).

El objetivo de la estadística inferencial es hacer deducciones con respecto a parámetros poblacionales desconocidos, basadas en la información obtenida mediante datos muestrales. Estas inferencias se expresan en una de dos maneras, como estimaciones de los parámetros respectivos o como pruebas de hipótesis referentes a sus valores (W. Mendenhall et al, 1994).

Con respecto a las estimaciones de los parámetros (poblaciones que se describen mediante medias numéricas), las inferencias se presentan en forma de estimaciones puntuales o por intervalo. El procedimiento de estimación puntual utiliza la información de la muestra para obtener un solo número o punto que estima el parámetro objetivo. Mientras que en el procedimiento de estimación por intervalo se obtienen dos números que se supone van a incluir el parámetro de estudio. En cada caso la estimación real se hace mediante un estimador, que es una regla que establece como utilizar los datos de la muestra para determinar el valor o valores que se utilizan como la estimación puntual o por intervalo.

En el caso de las pruebas de hipótesis, el procedimiento es similar al método científico, el cual observa la naturaleza, establece una teoría y después prueba su teoría respecto de la observación. Las pruebas de hipótesis se realizan en todos los ámbitos en los cuales puede contrastarse la teoría frente a la observación.

En este contexto el analista propone una teoría relativa a los valores específicos de uno o más parámetros poblacionales. Luego obtiene una muestra de la población y compara la observación con la teoría. Si las observaciones se contraponen a la teoría, el analista rechaza la hipótesis. En caso contrario concluye que la teoría es válida o bien que la muestra no detectó la diferencia entre los valores reales y los valores de la hipótesis respecto de los parámetros poblacionales.

Una parte de la estadística inferencial se basa en métodos paramétricos. Estos métodos establecen el muestreo de una población con parámetros específicos, como la media (μ), la desviación estándar (σ) o la proporción (p). Usualmente tienen que ajustarse a algunas condiciones completamente estrictas, así como el requisito de que los datos de la muestra provengan de una población normalmente distribuidas.

Las pruebas paramétricas requieren supuestos acerca de la naturaleza o forma de las poblaciones involucradas. Las pruebas paramétricas más utilizadas son las presentadas en la tabla 4.1

Tabla 4.1. Pruebas paramétricas más utilizadas

Nivel de medición	Tipo de grupo	Prueba estadística	Valoración
Intervalos	Un solo grupo o dos relacionados	Z_i o R.C.	Utilizable con N mayor que 30
Intervalos	Un solo grupo o dos relacionados	"t" de Student	Utilizable con N menor que 30
Intervalos	Dos grupos independientes	Z_i o R.C.	Utilizable con N mayor que 30
Intervalos	Dos grupos independientes	"t" de Student	Utilizable con N menor que 30
Intervalos	K grupos independientes	Análisis de varianza (F)	Prueba paramétrica más poderosa
Intervalos	K grupos relacionados	(F)	Prueba paramétrica más poderosa

Fuente: <http://www.ucm.es/info/mide/docs/pruebas.doc>

Las pruebas no paramétricas no requieren supuestos. Consecuentemente, las pruebas no paramétricas de hipótesis son frecuentemente llamadas pruebas de libre distribución.

Aunque el término no paramétrico sugiere que la prueba no está basada en un parámetro, hay algunas pruebas no paramétricas que dependen de un parámetro tal como la media. Sin embargo, no requieren una distribución particular. Las pruebas no paramétricas más utilizadas son las presentadas en la tabla 4.2

Tabla 4.2. Pruebas no paramétricas más utilizadas

Nivel de medición	Tipo de grupo	Prueba estadística	Valoración
Nominal	Uno, dos o más grupos	Chi cuadrado	Sencilla y muy útil; preferible con grupos grandes
Ordinal	Un solo grupo o dos relacionados	Prueba de los signos	Muy sencilla, utilizando la distribución binomial
Ordinal	Un solo grupo o dos relacionados	T de Wilcoxon	Preferible a la anterior ya que toma en cuenta más información
Ordinal	Dos grupos independientes	Prueba de la mediana	Sencilla de calcular; poco fiable
Ordinal	Dos grupos independientes	U de Mann-Whitney	Una de las mejores no paramétricas
Ordinal	Más de dos grupos relacionados	Prueba de Friedman	Bastante potente; réplica de F
Ordinal	Más de dos grupos independientes	Prueba de Kruskal- Wallis	La prueba más eficiente de las no paramétricas para K grupos

Fuente: <http://www.ucm.es/info/mide/docs/pruebas.doc>

Las ventajas de los métodos no paramétricos son: a) Los métodos no paramétricos pueden ser aplicados a una amplia variedad de situaciones porque ellos no tienen los requisitos rígidos de los métodos paramétricos correspondientes. En particular, los métodos no paramétricos no requieren poblaciones normalmente distribuidas; b) Diferente a los métodos paramétricos, los métodos no paramétricos pueden

frecuentemente ser aplicados a datos no numéricos, tal como el género; y c) Los métodos no paramétricos usualmente involucran simples cálculos que los correspondientes en los métodos paramétricos y son por lo tanto, más prácticos para entender y aplicar.

Las desventajas de los métodos no paramétricos son: a) Los métodos no paramétricos tienden a perder información porque datos numéricos exactos son frecuentemente reducidos a una forma cualitativa; b) Las pruebas no paramétricas no son tan eficientes como las pruebas paramétricas, de manera que con una prueba no paramétrica generalmente se necesita evidencia más fuerte (así como una muestra más grande o mayores diferencias) antes de rechazar una hipótesis nula.

Cuando los requisitos de la distribución de una población se satisfacen, las pruebas no paramétricas generalmente son menos eficientes que sus contrapartes paramétricas, pero la reducción de eficiencia puede ser compensada por el aumento en el tamaño de la muestra.

4.2. ELECCIÓN DEL TIPO DE PRUEBA

En el capítulo tres se presentó el contexto general de la zona de estudio del acuífero de Irapuato-Valle, los estudios realizados a nivel regional y sus resultados principales, el marco general de referencia para la identificación de la zona de estudio, su problemática y la utilización de los parámetros físico-químicos y biológicos para la identificación del comportamiento de la calidad del agua subterránea y su variación en el acuífero.

La intención de realizar este trabajo es de poder obtener un marco de referencia de la calidad del agua subterránea, determinar su evolución en el tiempo y el espacio en base a la información de datos históricos para: a) clasificar por zonas el agua subterránea, b) identificar los parámetros más representativos en cada zona, c) relacionar la calidad del agua con posibles fuentes de contaminación natural y antropogénica, y d) relacionar la calidad del agua subterránea con los volúmenes de explotación y niveles piezométricos.

Debido a la anisotropía y heterogeneidad del acuífero, para que las muestras de agua sean las más representativas del sistema, los aprovechamientos deben ser los mismos sitios de muestreo para diferentes tiempos. Esta condición no se puede aplicar al Acuífero de Irapuato – Valle; ya que, la información histórica recabada, no cuenta con esta característica. Por ello, Se ha optado por analizar los datos de calidad de agua subterránea a través de pruebas estadísticas como una opción práctica para obtener una comparación con un grado de certidumbre. Las pruebas estadísticas utilizadas son pruebas

no paramétricas de análisis de datos ordenados por rango y de datos de nivel nominal para poblaciones independientes. Los métodos paramétricos no fueron utilizados en este caso debido a que los muestreos analizados provienen de fechas y laboratorios distintos en las cuales no se cumplen con los requisitos de los métodos como poblaciones normalmente distribuidas. Se utilizaron pruebas paramétricas debido a que en una tercera parte de los análisis se utilizaron datos de nivel nominal y debido a que son más prácticos para aplicar. La prueba no paramétrica que determina si es posible considerar que dos muestras provienen de la misma población es la prueba de U de Mann Whitney y ésta se utiliza cuando no pueden verificarse las consideraciones para la prueba paramétrica de t de Student.

Las técnicas empleadas para la obtención de los valores de los parámetros en distintas fechas y con distintos laboratorios permiten realizar las pruebas de análisis ordenados por rango como es la prueba de U de Mann Whitney debido a que estas pruebas se basan en las concentraciones de los parámetros. Los parámetros en los que se aplica ésta prueba son principalmente fisicoquímicos medidos en campo y iones mayoritarios, los cuales generalmente presentan concentraciones por arriba del límite de detección. Para En las pruebas de datos de nivel nominal, como es la prueba de la tabla de contingencia y la probabilidad exacta de Fisher, los límites de detección son determinantes. Los parámetros en los que se aplican estas pruebas son químicos, metales pesados y/o elementos traza y bacteriológicos. En estos parámetros generalmente se presentan concentraciones bajo el límite de detección por lo que al comparar dos monitoreos en fechas y laboratorios distintos se consideró el límite de detección más alto. El análisis estadístico que se muestra en este capítulo presenta resultados que contribuyen y complementan la interpretación realizada en los distintos estudios referentes a la zona del Acuífero de Irapuato-Valle.

4.2.1. PRUEBA DE U DE MANN – WHITNEY

Esta prueba se utiliza cuando se seleccionan dos conjuntos aleatorios independientes de observaciones muestrales, de por lo menos de nivel ordinal (los datos deben ser tales que puedan ordenarse en rangos de menor a mayor). La prueba tiene por objetivo determinar si las dos muestras independientes, provienen de la misma población, la cual es un conjunto de todas las posibles mediciones de interés (Mason y Lind, 1995).

Se siguen cinco pasos usuales en la prueba de *U* de Mann-Whitney para llegar a tomar una decisión:

- a. Planteamiento de hipótesis nula y alternativa
- b. Selección del nivel de significancia
- c. Cálculo del estadístico de prueba

- d. Regla de decisión
- e. Conclusión

Planteamiento de la hipótesis nula y alternativa. Dependiendo de cómo se plantee la hipótesis alternativa la prueba puede ser unilateral o bilateral. Una prueba unilateral es cuando se presenta una sola opción de hipótesis alternativa y se plantea de la siguiente forma:

$$\begin{array}{ll}
 H_0 : \theta = \theta_0 & H_0 : \theta = \theta_0 \\
 H_1 : \theta < \theta_0 & \text{o bien} \quad H_1 : \theta > \theta_0
 \end{array}$$

Mientras que en la prueba bilateral, la hipótesis alternativa puede contener variantes de solución y se plantea de la siguiente forma:

$$\begin{array}{l}
 H_0 : \theta = \theta_0 \\
 H_1 : \theta \neq \theta_0
 \end{array}$$

Por lo que la hipótesis alternativa puede ser:

$$H_1 : \theta < \text{ó} > \theta_0$$

Selección del nivel de significancia. Es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera. Se denota mediante la letra griega alfa (comúnmente $\alpha = 0.05$; German, 1996). También se denomina nivel de riesgo.

Cálculo del estadístico de prueba. Se realiza a partir de las siguientes ecuaciones:

$$U = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - \sum R_1 \qquad U' = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - \sum R_2$$

- donde:
- n_1 tamaño de una muestra
 - n_2 tamaño de otra muestra
 - ΣR_1 suma de rangos para la muestra denominada como 1
 - ΣR_2 suma de rangos para la muestra denominada como 2.

El menor valor calculado para U sirve para llegar a la decisión de rechazar o aceptar la hipótesis nula.

Conforme aumentan los tamaños de las dos muestras independientes, la distribución del estadístico U tiende hacia la distribución normal. Por lo que, si una de las muestras excede de 20 observaciones, se aplica una forma de la prueba de z , y el estadístico de prueba es:

$$z = \frac{\sum R_1 - \sum R_2 - \left[(n_1 - n_2) \frac{n_1 + n_2 + 1}{2} \right]}{\sqrt{n_1 n_2 \left[\frac{n_1 + n_2 + 1}{3} \right]}}$$

Regla de decisión. Se obtienen los valores críticos (punto divisorio entre la región de aceptación y la región de rechazo) de U o de z , según sea el caso, a partir de tablas (Valores críticos de U en la prueba de Mann-Whitney, tabla 4.3; Valores críticos de z , tabla 4.4), con estos valores se determinan las regiones de rechazo y de aceptación. La conclusión se realiza comparando el estadístico de prueba con respecto al valor crítico, se acepta o rechaza la hipótesis nula.

Tabla 4.3. Valores críticos de U en la prueba de Mann-Whitney (n entre 1 y 20)
Valores críticos de U para una prueba unilateral: $\alpha = 0.025$ y para una prueba bilateral: $\alpha = 0.05$

n1 \ n2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1																				
2								0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2
3					0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8
4				0	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	10	11	11	12	13	13
5			0	1	2	3	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	17	18	19	20
6			1	2	3	5	6	8	10	11	13	14	16	17	19	21	22	24	25	27
7			1	3	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
8		0	2	4	6	8	10	13	15	17	19	22	24	26	29	31	34	36	38	41
9		0	2	4	7	10	12	15	17	20	23	26	28	31	34	37	39	42	45	48
10		0	3	5	8	11	14	17	20	23	26	29	33	36	39	42	45	48	52	55
11		0	3	6	9	13	16	19	23	26	30	33	37	40	44	47	51	55	58	62
12		1	4	7	11	14	18	22	26	29	33	37	41	45	49	53	57	61	65	69
13		1	4	8	12	16	20	24	28	33	37	41	45	50	54	59	63	67	72	76
14		1	5	9	13	17	22	26	31	36	40	45	50	55	59	64	67	74	78	83
15		1	5	10	14	19	24	29	34	39	44	49	54	59	64	70	75	80	85	90
16		1	6	11	15	21	26	31	37	42	47	53	59	64	70	75	81	86	92	98
17		2	6	11	17	22	28	34	39	45	51	57	63	67	75	81	87	93	99	105
18		2	7	12	18	24	30	36	42	48	55	61	67	74	80	86	93	99	106	112
19		2	7	13	19	25	32	38	45	52	58	65	72	78	85	92	99	106	113	119
20		2	8	13	20	27	34	41	48	55	62	69	76	83	90	98	105	112	119	127

Valores críticos de U para una prueba unilateral : $\alpha = 0.05$ y para una prueba bilateral: $\alpha = 0.10$

n1 \ n2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1																				
2					0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4
3			0	0	1	2	2	3	3	4	5	5	6	7	7	8	9	9	10	11
4			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18
5		0	1	2	4	5	6	8	9	11	12	13	15	15	18	19	20	22	23	25
6		0	2	3	5	7	8	10	12	14	16	17	19	21	23	25	26	28	30	32
7		0	2	4	6	8	11	13	15	17	19	21	24	26	28	30	33	35	37	39
8		1	3	5	8	10	13	15	18	20	23	26	28	31	33	36	39	41	44	47
9		1	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54
10		1	4	7	11	14	17	20	24	27	31	34	37	41	44	48	51	55	58	62
11		1	5	8	12	16	19	23	27	31	34	38	42	46	50	54	57	61	65	69
12		2	5	9	13	17	21	26	30	34	38	42	47	51	55	60	64	68	72	77
13		2	6	10	15	19	24	28	33	37	42	47	51	56	61	65	70	75	80	84
14		2	7	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	77	82	87	92
15		3	7	12	18	23	28	33	39	44	50	55	61	66	72	77	83	88	94	100
16		3	8	14	19	25	30	36	42	48	54	60	65	71	77	83	89	95	101	107
17		3	9	15	20	26	33	39	45	51	57	64	70	77	83	89	96	102	109	115
18		4	9	16	22	28	35	41	48	55	61	68	75	82	88	95	102	109	116	123
19	0	4	10	17	23	30	37	44	51	58	65	72	80	87	94	101	109	116	123	130
20	0	4	11	18	25	32	39	47	54	62	69	77	84	92	100	107	115	123	130	138

Fuente: Reproducida de Bulletin of the Institute of Educational Research at Indiana University, Vol 1, No. 2; con autorización del autor y editor. Tomado de Mason y Lind, 1995

Tabla 4.4. *valores críticos de z para pruebas unilaterales y bilaterales en varios niveles de significancia*

Nivel de significancia	0.10	0.05	0.01	0.005	0.02
Valores críticos de z (prueba unilateral)	-1.28 ó +1.28	-1.645 ó +1.645	-2.33 ó +2.33	-2.58 ó +2.58	-2.88 ó +2.88
Valores críticos de z (prueba bilateral)	-1.645 y +1.645	-1.96 y +1.96	-2.58 y +2.58	-2.81 y +2.81	-3.08 y +3.08

La prueba de U de Mann Whitney se realiza cuando se tienen pocos valores que se encuentran por debajo del límite de detección (valores censurados). La prueba no es apropiada si más del 20% de los datos están por debajo de este límite de detección (Helsel and Ragone, 1984). Para este último caso se usa el análisis de la tabla de contingencia.

4.2.2. TABLA DE CONTINGENCIA

Otro método de intercomparación mediante el análisis de datos de nivel nominal es la tabla de contingencia (Johnson, 1997), en la cual, las muestras de las poblaciones se clasifican en unidades con respecto a dos categorías, usualmente cualitativas. El análisis de la tabla de contingencia se basa en la frecuencia más que en la concentración de los parámetros de la calidad del agua.

Los pasos a seguir en la prueba de la tabla de contingencia son los siguientes:

- a. Planteamiento de hipótesis nula y alternativa
- b. Selección del nivel de significancia
- c. Cuantificación de las muestras
- d. Determinación del valor crítico
- e. Regla de decisión
- f. Determinación del valor de χ^2
- g. Conclusión

Como se mencionó con anterioridad, el primer paso es establecer las hipótesis nula y alternativa; seguido de la selección del nivel de significancia; considerando el mismo nivel de $\alpha = 0.05$ (German, 1996).

Para cuantificar las muestras se consideran las características de la calidad del agua para cada muestra, y se construye una tabla, como la mostrada a continuación (tabla 4.5), este tipo de tabla de contingencia usada se conoce como tabla de 2X2.

Tabla 4.5. Tabla de contingencia 2X2

Número de sitios donde:	Fecha anterior	Fecha posterior
Se detectaron	N1	N2
No se detectaron	N3	N4

Donde: N1 y N2 número de sitios donde los parámetros fueron detectados
N3 y N4 número de sitios donde los parámetros no se detectaron

Para determinar el valor crítico en una prueba de significancia de χ^2 donde se clasifican en cruce dos características en una tabla de contingencia, se determinan los grados de libertad (*g.l.*) por medio de:

$$g.l. = (\text{renglones} - 1) \cdot (\text{columnas} - 1)$$

Por lo que el valor crítico se obtiene, a partir del grado de libertad y del nivel de significancia, a través de la tabla de valores críticos de χ^2 (tabla 4.3). En consecuencia, se formula la regla de decisión con la cual se acepta la hipótesis nula si el valor calculado de χ^2 es igual o menor al valor crítico; si el valor calculado de χ^2 es mayor que el valor crítico se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Tabla 4.6. Valores críticos de la distribución χ^2 (extremo superior)

Grados de libertad g.l.	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879
2	4.605	5.991	7.378	9.210	10.597
3	6.251	7.815	9.348	11.345	12.838
4	7.779	9.488	11.143	13.277	14.860
5	9.236	11.070	12.832	15.086	16.750
6	10.645	12.592	14.449	16.812	18.548
7	12.017	14.067	16.013	18.475	20.278
8	13.362	15.507	17.535	20.090	21.955
9	14.684	16.919	19.023	21.666	23.589
10	15.987	18.307	20.483	23.209	25.188
11	17.275	19.675	21.920	24.725	26.757
12	18.549	21.026	23.337	26.217	28.300
13	19.812	22.362	24.736	27.688	29.819
14	21.064	23.685	26.119	29.141	31.319
15	22.307	24.996	27.488	30.578	32.801
16	23.542	26.296	28.845	32.000	34.267
17	24.769	27.587	30.191	33.409	35.718
18	25.989	28.869	31.526	34.805	37.156
19	27.204	30.144	32.852	36.191	38.582
20	28.412	31.410	34.170	37.566	39.997
21	29.615	32.671	35.479	38.932	41.401
22	30.813	33.924	36.781	40.289	42.796
23	32.007	35.172	38.076	41.638	44.181
24	33.196	36.415	39.364	42.980	45.558
25	34.382	37.652	40.646	44.314	46.928
26	35.563	38.885	41.923	45.642	48.290
27	36.741	40.113	43.195	46.963	49.645
28	37.916	41.337	44.461	48.278	50.994
29	39.087	42.557	45.722	49.588	52.335
30	40.256	43.773	46.979	50.892	53.672

Tomada de <http://w3.mor.itesm.mx/~cmendoza/ma835/tablas/te-ji.xls>

Para determinar del valor calculado de χ^2 se utiliza la fórmula siguiente:

$$\chi^2 = \sum \left[\frac{(f_0 - f_e)^2}{f_e} \right]$$

donde: f_0 frecuencias observadas (N1, N2, N3 y N4)
 f_e frecuencias esperadas

$$f_e = \frac{(\sum \text{renglón}_k) \cdot (\sum \text{columna}_k)}{(\sum \text{total})} \quad k = 1,2$$

donde:

Número de sitios donde:	Fecha anterior	Fecha posterior	
Se detectaron	N1	N2	$\Sigma \text{ renglón}_{k=1}$
No se detectaron	N3	N4	$\Sigma \text{ renglón}_{k=2}$
	$\Sigma \text{ columna}_{k=1}$	$\Sigma \text{ columna}_{k=2}$	$\Sigma \text{ total}$

Por último se concluye comparando el valor calculado de χ^2 con respecto al valor crítico y se acepta o rechaza la hipótesis nula.

No obstante, para que la aplicación de la tabla de contingencia de 2X2 sea adecuada, debe cumplirse con ciertas condiciones: que las frecuencias esperadas (f_e) de al menos el 80% de las celdas en la tabla de contingencia tengan valores mayores de 5, por lo que en éste tipo de tablas (2X2) será necesario que todas las celdas verifiquen esta condición, aunque en la práctica suele permitirse que una de ellas muestre un valor ligeramente por debajo de 5. Cuando esta prueba no se aplica, una alternativa que se utiliza es la prueba de probabilidad exacta de Fisher.

4.2.3. PRUEBA DE PROBABILIDAD EXACTA DE FISHER

La prueba exacta de Fisher permite analizar si dos variables dicotómicas (método de clasificación en que las divisiones sólo tienen dos partes) están asociadas cuando la muestra a estudiar es demasiado

pequeña y no se cumplen las condiciones necesarias para calcular el valor χ^2 de manera adecuada (Pértega Díaza, 2004).

Esta prueba se basa en evaluar la probabilidad asociada a cada una de las tablas 2X2 que se pueden formar manteniendo los mismos totales de filas y columnas que los de la tabla observada. Cada una de estas probabilidades se obtiene bajo la hipótesis nula de independencia de las dos variables que se están considerando.

Número de sitios donde:	Fecha anterior	Fecha posterior	
Se detectaron	a	b	a + b
No se detectaron	c	d	c + d
	a + c	b + d	n

La probabilidad exacta de observar un conjunto concreto de frecuencias a, b, c y d en una tabla 2X2 cuando se asume independencia y los totales de filas y columnas se consideran fijos viene dada por la distribución hipergeométrica:

$$p = \frac{(a+b)! \cdot (c+d)! \cdot (a+c)! \cdot (b+d)!}{n! \cdot a! \cdot b! \cdot c! \cdot d!}$$

Esta fórmula se obtiene calculando todas las posibles formas en las que podemos disponer n sujetos en una tabla 2X2 de modo que los totales de filas y columnas sean siempre los mismos, (a+b), (c+d), (a+c) y (b+d).

La probabilidad exacta se calcula para todas las tablas de contingencia que puedan formarse con los mismos totales marginales (a+b, c+d, a+c y b+d) de la tabla observada. Posteriormente, estas probabilidades se usan para calcular valores de la P asociado a la prueba exacta de Fisher. Este valor de P indicará la probabilidad de obtener una equivalencia entre los grupos menor o igual a la observada bajo la hipótesis nula. Si esta probabilidad es pequeña ($P < 0.05$) se deberá rechazar la hipótesis de partida y se aceptará la hipótesis alternativa.

5. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO AL ACUÍFERO DE IRAPUATO – VALLE

5.1. EVOLUCIÓN TEMPORAL

Para lograr obtener la evolución temporal de la calidad del agua subterránea, es necesario contar con información histórica de monitoreo de aprovechamientos existentes en la zona del acuífero, que permita compararse en función del tiempo. Los datos de calidad de agua (mencionados en el subcapítulo de calidad del agua subterránea, 3.12) son comparados de manera regional y local para distintos tiempos. Se utilizan tres tipos de análisis estadístico (German, 1996), el uso de una u otra prueba depende de la cantidad de información generada en cada uno de los parámetros medidos. La decisión de considerar uno u otro método se discute en el reporte realizado por Helsén y Ratone en 1984 (citado en German, 1996), esto es, si al menos el 80% de los valores de cada parámetro de calidad de agua se encuentra por arriba del límite analítico de detección; se utiliza la prueba de U de Mann-Whitney, de lo contrario se usa la prueba de la tabla de contingencia o en su defecto la prueba exacta de Fisher.

5.1.1. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y SELECCIÓN DEL NIVEL DE SIGNIFICANCIA

La hipótesis nula para las pruebas es la misma:

$H_0 =$ no hay diferencia en la calidad del agua o la calidad es la misma en los distintos tiempos. Esto es, los valores de los parámetros no han variado significativamente en el tiempo

Mientras que la hipótesis alternativa es:

$H_1 =$ hay diferencia en la calidad del agua o la calidad del agua ha variado en los distintos tiempos. Por lo que los valores de los parámetros ha variado significativamente en el tiempo

A partir de estas pruebas se calcula la probabilidad de la variación de la calidad en el tiempo, la cual puede atribuirse al efecto de la contaminación difusa, a la explotación del acuífero, a la precipitación extraordinaria, etc. según sea la fecha. La hipótesis nula se rechaza si el estadístico de prueba es mayor al valor crítico propuesto con un nivel de significancia de 0.05 (German, 1996).

5. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO AL ACUÍFERO DE IRAPUATO – VALLE

5.1. EVOLUCIÓN TEMPORAL

Para lograr obtener la evolución temporal de la calidad del agua subterránea, es necesario contar con información histórica de monitoreo de aprovechamientos existentes en la zona del acuífero, que permita compararse en función del tiempo. Los datos de calidad de agua (mencionados en el subcapítulo de calidad del agua subterránea, 3.12) son comparados de manera regional y local para distintos tiempos. Se utilizan tres tipos de análisis estadístico (German, 1996), el uso de una u otra prueba depende de la cantidad de información generada en cada uno de los parámetros medidos. La decisión de considerar uno u otro método se discute en el reporte realizado por Helsen y Ratone en 1984 (citado en German, 1996), esto es, si al menos el 80% de los valores de cada parámetro de calidad de agua se encuentra por arriba del límite analítico de detección; se utiliza la prueba de U de Mann-Whitney, de lo contrario se usa la prueba de la tabla de contingencia o en su defecto la prueba exacta de Fisher.

5.1.1. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y SELECCIÓN DEL NIVEL DE SIGNIFICANCIA

La hipótesis nula para las pruebas es la misma:

$H_0 =$ no hay diferencia en la calidad del agua o la calidad es la misma en los distintos tiempos. Esto es, los valores de los parámetros no han variado significativamente en el tiempo

Mientras que la hipótesis alternativa es:

$H_1 =$ hay diferencia en la calidad del agua o la calidad del agua ha variado en los distintos tiempos. Por lo que los valores de los parámetros ha variado significativamente en el tiempo

A partir de estas pruebas se calcula la probabilidad de la variación de la calidad en el tiempo, la cual puede atribuirse al efecto de la contaminación difusa, a la explotación del acuífero, a la precipitación extraordinaria, etc. según sea la fecha. La hipótesis nula se rechaza si el estadístico de prueba es mayor al valor crítico propuesto con un nivel de significancia de 0.05 (German, 1996).

5.1.2. PREPARACIÓN PARA EL CÁLCULO DEL ESTADÍSTICO DE PRUEBA

Para realizar el análisis estadístico se llevan a cabo los resúmenes del número de datos de los parámetros medidos en cada uno de los estudios a nivel regional y local. El análisis a nivel regional se considera a partir de los datos obtenidos en los monitoreos realizados en los estudio hidrogeológicos y el análisis a nivel local se realiza en base a los monitoreos realizados por los organismos operadores de las ciudades de Irapuato y Salamanca además de los monitoreos realizados por la CEASG y el IMTA (ver subcapitulo de calidad del agua subterránea, 3.12). Las comparaciones de tipo local se hicieron para analizar los efectos de las variaciones de la calidad del agua a nivel regional en las ciudades más grandes e importantes de la zona de estudio.

En la siguiente tabla se presenta la cantidad de sitios muestreados en cada estudio, asimismo se clasifican según el tipo de prueba que se puede aplicar para cada parámetro en las distintas fechas.

Tabla 5.1. Parámetros considerados para el análisis estadístico, comparación regional

Parámetro	CE		pH		T		AT		SDT		DT		Fe	
	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND
1979	133	*	*	*	130	3*	*	*	133	*	*	*	13	12
1998	25	*	25	*	25	*	25	*	25	*	25	0	13	12
2003	138	*	138	*	138	*	138	*	138	*	138	0	96	42

Parámetro	Ca ⁺²		Mg ⁺²		Na ⁺		K ⁺		HCO ₃ ⁻		CO ₃ ⁻²		SO ₄ ⁻²		Cl ⁻	
	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND
1979	133	0	133	0	133	0	133	0	133	0	131	2*	115	18*	133	0
1998	25	0	25	0	25	0	25	0	25	0	2	23*	25	0	25	0
2003	138	0	138	0	138	0	138	0	138	0	*	*	138	0	138	0

Tabla 5.2. Parámetros considerados para el análisis estadístico, comparación local (Irapuato)

Parámetro	CE		pH		T		SDT		F ⁻		SO ₄ ⁻²		Cl ⁻		N ⁻ NO ₃	
	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND
Abr-97	11	*	11	*	11	*	*	*	*	*	11	0	*	*	11	*
Abr-01	*	*	48	*	48	*	48	*	48	0	48	0	48	0	44	4
May-03	*	*	34	*	32	2*	34	*	29	5	32	2	34*	0	34	0
Nov-03	*	*	62	*	51	11*	62	*	49	13	49	13*	54	8*	61	1
Dic-03	14	*	14	*	14	*	14	*	14	0	14	0	14	0	14	0

Parámetro	As		DT		Fe		Mn		N ⁻ NO ₂		Pb	
	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND
Abr-97	33	6	11	*	35	4	37	2	0	11	13	26
Abr-01	*	*	48	0	32	16	*	*	*	*	*	*
May-03	19	2	34	0	7	27	1	33	1	33	11	23
Nov-03	61	1	60	2*	2	60	0	62	1	61	22	40
Dic-03	14	0	14	0	14	0	13	1	0	14	6	8

Tabla 5.2 Parámetros considerados para el análisis estadístico, comparación local (Irapuato) continuación

Parámetro	C T		C F		Cd		Cianuro		Cr		Hg	
	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND
Fecha												
Abr-97	*	*	*	*	10	29	*	*	39	0	*	*
Abr-01	36	12	5	43	*	*	*	*	*	*	*	*
May-03	4	30	1	33	18	16	0	34	1	33	29	5
Nov-03	0	11	0	11	1	61	0	62	0	62	1	61
Dic-03	2	12	1	13	*	*	*	*	*	*	*	*

Tabla 5.3. Parámetros considerados para el análisis estadístico, comparación local (Salamanca)

Parámetro	C E		PH		T		SDT		Na ⁺		F ⁻		SO ₄ ⁻²		Cl ⁻		N ⁺ NO ₃		
	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	
Fecha																			
Ago-97	19	*	19	*	19	*	19	*	*	*	*	*	19	0	19	0	19	0	
May-01	5	18*	23	*	23	*	23	*	*	*	*	23	0	23	0	23	0	23	0
Jul-03	25	*	25	*	25	*	25	*	25	0	25	0	25	0	25	0	24	1	
Dic-03	12	*	12	*	12	*	12	*	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	

Parámetro	As		D T		Fe		Mn		N ⁺ NO ₂		Pb		Fenoles		C T		C F	
	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND	SM	ND
Fecha																		
Ago-97	19	0	19	*	6	13	19	0	10	9	17	2	*	*	*	*	*	*
May-01	*	*	23	*	20	3	*	*	1	22	*	*	*	*	13	8	4	17
Jul-03	25	0	*	*	4	21	3	22	*	*	6	19	0	25	6	19	0	25
Dic-03	12	0	12	*	7	5	11	1	4	8	8	4	0*	2	0	12	0	12

Donde:

CE=Conductividad eléctrica, T=Temperatura del agua, AT= Alcalinidad total (CaCO₃), SDT= Sólidos disueltos totales, DT=Dureza total (CaCO₃)

SM = Número de sitios donde se midió el parámetro correspondiente,

ND = Puede contener las siguientes variantes: * = No aplica medición bajo el límite de detección, 3* = Número de sitios no muestreados en el parámetro en cuestión, 3 = Número de sitios donde el valor del parámetro se encuentra bajo el límite de detección

= Análisis mediante prueba de Mann Whitney. = Análisis mediante prueba de tabla de contingencia.

= No se realizó análisis debido a falta de información.

Las comparaciones se realizarán de dos formas; la primera de manera consecutiva entre fecha y fecha, mientras que la segunda forma es comparando todas las fechas registradas con respecto al muestreo más reciente.

A continuación se presenta un ejemplo de cada uno de los métodos empleados para la obtención de los resultados de la comparación temporal.

5.1.3. EJEMPLO DE LAS PRUEBAS ESTADÍSTICAS

PRUEBA DE U DE MANN-WHITNEY (MUESTRAS GRANDES)

Para ejemplificar la prueba de U de Mann-Whitney se presenta el parámetro de conductividad eléctrica, en una comparación regional entre las fechas de 1979 y 2003 (tabla 5.4).

Tabla 5.4. Resumen de la conductividad eléctrica (1979-1998)

Parámetro	C E	
	SM	ND
1979	133	*
1998	138	*

Los valores de conductividad eléctrica en el agua subterránea medido en los aprovechamientos de los estudios de 1979 y 2003 son los que se presentan en las tablas 5.5 y 5.6 respectivamente.

Tabla 5.5. Valores medidos de conductividad eléctrica en 1979

No. Pozo	C E (mmhos)	No. Pozo	C E (mmhos)	No. Pozo	C E (mmhos)	No. Pozo	C E (mmhos)	No. Pozo	C E (mmhos)
1443	750	1805	1200	2101	420	2426	380	2818	510
1445	990	1810	1200	2111	750	2444	590	2850	1000
1474	1600	1812	620	2121	500	2464	940	2885	700
1523	800	1835	800	2127	850	2491	650	2921	1200
1529	920	1852	550	2140	800	2497	770	2939	440
1543	700	1871	620	2183	500	2499	770	2943	1800
1561	650	1876	400	2190	700	2508	300	2950	1210
1575	1200	1915	580	2195	900	2563	700	2955	900
1590	620	1922	400	2196	925	2564	580	2957	900
1606	950	1927	400	2199	700	2570	950	2962	2600
1613	650	1938	680	2204	900	2586	600	2984	650
1627	1000	1940	640	2216	550	2587	950	2989	320
1650	600	1949	600	2217	550	2605	600	2991	420
1655	2000	1963	620	2223	320	2608	850	2993	590
1657	500	1974	470	2240	560	2660	240	2994	590
1669	600	1984	480	2249	400	2720	350	3002	600
1680	750	2003	600	2276	280	2724	500	3003	800
1684	1300	2004	560	2285	950	2733	300	3008	450
1687	1800	2005	550	2287	1210	2745	1050	3009	480
1688	1000	2018	480	2309	480	2751	380	3011	800
1707	250	2019	600	2311	400	2765	700	3015	430
1714	850	2024	750	2324	1390	2769	540	3017	660
1751	750	2060	1200	2348	460	2774	500	3018	650
1752	1050	2061	250	2357	1100	2785	650	3020	500
1767	760	2066	250	2400	600	2787	500	3021	670
1790	570	2069	500	2409	500	2793	730	3022	580
1800	650	2070	550	2412	3010				

Tabla 5.6. Valores medidos de conductividad eléctrica en 2003

No.Pozo (hoja de campo)	C E (mmhos)	No.Pozo (hoja de campo)	C E (mmhos)	No.Pozo (hoja de campo)	C E (mmhos)	No.Pozo (hoja de campo)	C E (mmhos)	No.Pozo (hoja de campo)	C E (mmhos)
1	721	37	1105	68	1067	103	621	134	797
2	865	38	626	69	446	104	1430	135	1009
3	563	39	590	70	1299	105	775	136	1182
4	698	40	750	72	1182	106	792	137	1131
6	248	41	647	73	686	108	680	138	907
7	739	42	828	74	925	109	1158	139	642
8	581	43	413	75	943	111	611	140	716
9	674	45	655	76	748	112	1523	141	658
11	1113	46	572	77	1119	113	1582	142	1184
12	502	47	1378	78	945	114	590	145	276
15	787	48	1000	79	823	115	682	148	535
17	839	49	663	80	1076	116	2040	149	593
18	802	50	1034	81	1149	117	945	150	712
19	821	51	867	83	406	118	1910	152	751
20	857	52	703	84	782	120	960	155	1109
22	594	53	681	87	507	122	1495	156	410
23	876	56	570	89	887	123	859	157	417
25	666	57	727	91	1779	124	1213	158	619
27	749	58	690	92	1166	125	1670	159	320
28	500	59	551	93	1117	126	756	160	417
29	678	60	485	94	520	127	991	161	1149
30	1471	61	610	96	1533	128	796	162	872
31	748	62	628	97	615	129	892	163	684
32	482	63	590	98	620	130	848	164	909
33	1474	64	933	99	679	131	559	165	657
34	916	65	673	100	726	132	1501	166	743
35	977	66	746	101	874	133	537	167	650
36	2410	67	703	102	827				

El primer paso para la realización de la prueba es ordenar las dos muestras en una sola muestra y ordenar los valores de los aprovechamientos por rango. El rango se puede ordenar de menor a mayor o viceversa.

Por ejemplo ordenando de menor a mayor se obtiene que el rango 1 es del aprovechamiento 2660 monitoreado en 1979 con un valor de conductividad eléctrica de 240 μ mhos. El rango 2 es del aprovechamiento 6 monitoreado en 2003 con un valor de conductividad eléctrica de 248 μ mhos. Para el siguiente rango se puede observar que hay 3 valores de 250 μ mhos en los aprovechamientos monitoreados en 1979: 1707, 2061 y 2066, por lo que, deberían ser los rangos 3, 4 y 5. La paridad se resuelve asignando la media aritmética del rango; esto es, $3+4+5 = 12$, $12/3 = 4$. Después se obtiene

el rango 6, con 276 μ hos de conductividad eléctrica del aprovechamiento 6 monitoreado en 2003, y así sucesivamente (tabla 5.7).

Tabla 5.7. Rango de los valores de conductividad eléctrica para 1979 y 2003

RANGO	C E	RANGO	C E	RANGO	C E	RANGO	C E	RANGO	C E	RANGO	C E	RANGO	C E
1	240	44.5	500	76.5	590	118	663	155.5	750	195.5	900	234.5	1149
2	248	44.5	500	80	593	119	666	155.5	750	195.5	900	234.5	1149
4	250	44.5	500	81	594	120	670	159	751	198	907	236	1158
4	250	44.5	500	86	600	121	673	160	756	199	909	237	1166
4	250	44.5	500	86	600	122	674	161	760	200	916	238.5	1182
6	276	44.5	500	86	600	123	678	162.5	770	201	920	238.5	1182
7	280	44.5	500	86	600	124	679	162.5	770	202.5	925	240	1184
8.5	300	44.5	500	86	600	125.5	680	164	775	202.5	925	243	1200
8.5	300	44.5	500	86	600	125.5	680	165	782	204	933	243	1200
11	320	44.5	500	86	600	127	681	166	787	205	940	243	1200
11	320	50	502	86	600	128	682	167	792	206	943	243	1200
11	320	51	507	86	600	129	684	168	796	207.5	945	243	1200
13	350	52	510	91	610	130	686	169	797	207.5	945	246.5	1210
14.5	380	53	520	92	611	131	690	172	800	210.5	950	246.5	1210
14.5	380	54	535	93	615	132	698	172	800	210.5	950	248	1213
18	400	55	537	94	619	135.5	700	172	800	210.5	950	249	1299
18	400	56	540	97	620	135.5	700	172	800	210.5	950	250	1300
18	400	59	550	97	620	135.5	700	172	800	213	960	251	1378
18	400	59	550	97	620	135.5	700	175	802	214	977	252	1390
18	400	59	550	97	620	135.5	700	176	821	215	990	253	1430
21	406	59	550	97	620	135.5	700	177	823	216	991	254	1471
22	410	59	550	100	621	139.5	703	178	827	218.5	1000	255	1474
23	413	62	551	101	626	139.5	703	179	828	218.5	1000	256	1495
24.5	417	63	559	102	628	141	712	180	839	218.5	1000	257	1501
24.5	417	64.5	560	103	640	142	716	181	848	218.5	1000	258	1523
26.5	420	64.5	560	104	642	143	721	183	850	221	1009	259	1533
26.5	420	66	563	105	647	144	726	183	850	222	1034	260	1582
28	430	67.5	570	109.5	650	145	727	183	850	223.5	1050	261	1600
29	440	67.5	570	109.5	650	146	730	185	857	223.5	1050	262	1670
30	446	69	572	109.5	650	147	739	186	859	225	1067	263	1779
31	450	71	580	109.5	650	148	743	187	865	226	1076	264.5	1800
32	460	71	580	109.5	650	149	746	188	867	227	1100	264.5	1800
33	470	71	580	109.5	650	150.5	748	189	872	228	1105	266	1910
35.5	480	73	581	109.5	650	150.5	748	190	874	229	1109	267	2000
35.5	480	76.5	590	109.5	650	152	749	191	876	230	1113	268	2040
35.5	480	76.5	590	114	655	155.5	750	192	887	231	1117	269	2410
35.5	480	76.5	590	115	657	155.5	750	193	892	232	1119	270	2600
38	482	76.5	590	116	658	155.5	750	195.5	900	233	1131	271	3010
39	485	76.5	590	117	660	155.5	750	195.5	900				

A continuación se obtiene la suma de los rangos (ΣR) para cada una de las muestras y se define el tamaño de cada muestra (n); generalmente se coloca el subíndice 1 a la muestra que tiene el mayor número de datos y el subíndice 2 a la muestra pequeña:

Rangos de los valores de conductividad eléctrica para 2003:

2	51	80	114	130	150.5	176	191	214	233	254
6	53	81	115	131	150.5	177	192	216	234.5	255
11	54	91	116	132	152	178	193	218.5	234.5	256
21	55	92	118	139.5	155.5	179	198	221	236	257
22	62	93	119	139.5	159	180	199	222	237	258
23	63	94	121	141	160	181	200	225	238.5	259
24.5	66	97	122	142	164	185	202.5	226	238.5	260
24.5	67.5	100	123	143	165	186	204	228	240	262
30	69	101	124	144	166	187	206	229	248	263
38	73	102	125.5	145	167	188	207.5	230	249	266
39	76.5	104	127	147	168	189	207.5	231	251	268
44.5	76.5	105	128	148	169	190	213	232	253	269
50	76.5	109.5	129	149	175					

$$\Sigma R_1 = 21,264; n_1 = 138$$

Rangos de los valores de conductividad eléctrica para 1979:

1	18	35.5	52	71	86	109.5	155.5	183	210.5	243
4	18	35.5	56	76.5	97	117	155.5	183	210.5	243
4	18	35.5	59	76.5	97	120	155.5	183	215	246.5
4	18	44.5	59	76.5	97	125.5	155.5	195.5	218.5	246.5
7	26.5	44.5	59	86	97	135.5	161	195.5	218.5	250
8.5	26.5	44.5	59	86	103	135.5	162.5	195.5	218.5	252
8.5	28	44.5	59	86	109.5	135.5	162.5	195.5	223.5	261
11	29	44.5	64.5	86	109.5	135.5	172	201	223.5	264.5
11	31	44.5	64.5	86	109.5	135.5	172	202.5	227	264.5
13	32	44.5	67.5	86	109.5	135.5	172	205	243	267
14.5	33	44.5	71	86	109.5	146	172	210.5	243	270
14.5	35.5	44.5	71	86	109.5	155.5	172	210.5	243	271
18										

$$\Sigma R_2 = 15,592; n_2 = 133$$

Se sustituyen los valores apropiados en la fórmula de z ya que las muestras son grandes en este caso:

$$z = \frac{\sum R_1 - \sum R_2 - \left[(n_1 - n_2) \frac{n_1 + n_2 + 1}{2} \right]}{\sqrt{n_1 n_2 \left[\frac{n_1 + n_2 + 1}{3} \right]}}$$

Sustituyendo:

$$z = \frac{21264 - 15592 - \left[(138 - 133) \frac{138 + 133 + 1}{2} \right]}{\sqrt{138 \cdot 133 \left[\frac{138 + 133 + 1}{3} \right]}} = 3.87$$

Obtenido el estadístico de prueba se busca el valor crítico de z, de esta manera se crea una regla de decisión, con la cual se determinan las regiones de rechazo y de aceptación. El valor crítico de z obtenido a partir de tablas (tabla 4.2) es ± 1.96 ya que se tiene una prueba bilateral.

Tabla 5.8. Valores críticos de z para un nivel de significancia de 0.05 y una prueba bilateral

Nivel de significación	0.05
Valores críticos de z (prueba bilateral)	-1.96 y +1.96

Conclusión. Debido a que el estadístico de prueba 3.87 no se encuentra dentro de la región de aceptación de -1.96 a $+1.96$ (figura 5.1), se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa:

$H_1 =$ hay diferencia en la calidad del agua o la calidad del agua ha variado en los distintos tiempos. Los valores de los parámetros han variado significativamente en el tiempo.

Esto es:

$$H_1 : \theta \neq \theta_0$$

Pueden presentarse dos opciones, que los valores de los parámetros aumenten o disminuyan en la comparación realizada en el tiempo debido a que se ha rechazado la hipótesis nula.

Por lo que la hipótesis alternativa puede ser:

$$H_1 : \theta < \theta_0 \text{ ó } \theta > \theta_0$$

Gráficamente se presentan las áreas de aceptación y rechazo, con una prueba de bilateral y nivel de significancia 0.05, equivalente a un valor crítico de ± 1.96 .

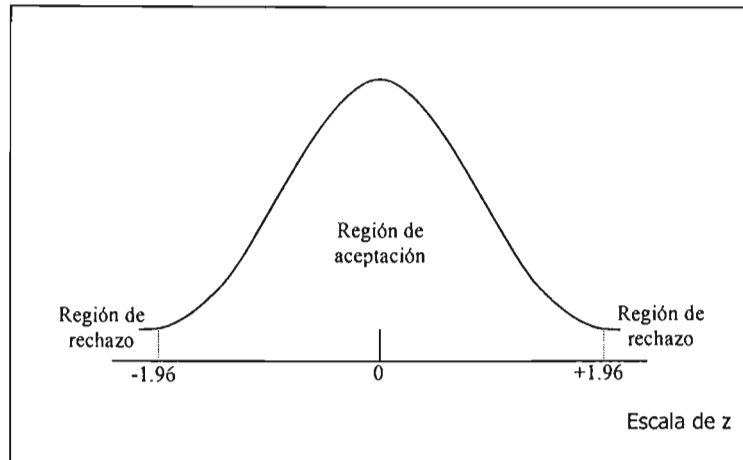


Figura 5.1. Áreas de aceptación y rechazo en prueba bilateral y nivel de significancia de 0.05

Para este caso, el estadístico de prueba 3.87 fue positivo y como el orden en el que se consideraron las muestras fue primero la de 2003 y luego la de 1979, se infiere que en la hipótesis alternativa los valores obtenidos de la conductividad eléctrica son mayores en 2003.

PRUEBA DE U MANN WHITNEY (MUESTRAS PEQUEÑAS)

En el caso de que la muestra fuera pequeña, el procedimiento para la solución de la prueba es casi el mismo, con la diferencia de que el estadístico de prueba se calcula de la siguiente forma:

Por ejemplo, para la comparación local realizada de la zona de Irapuato entre las fechas de abril de 1997 y diciembre de 2003 (tabla 5.9).

Tabla 5.9. Resumen de la conductividad eléctrica (abril de 1997 - diciembre de 2003)

Parámetro	Cond Elect	
	SM	ND
Abr 97	11	*
Dic 03	14	*

Como se ha mencionado en el párrafo anterior, la prueba se realiza de la misma manera, hasta obtener los datos:

$$\begin{aligned}\Sigma R_1 &= 240; n_1 = 14 \\ \Sigma R_2 &= 85; n_2 = 11\end{aligned}$$

Los cuales se sustituyen en las siguientes ecuaciones:

$$U = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - \Sigma R_1 \qquad U' = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - \Sigma R_2$$

$$U = 14 \cdot 11 + \frac{14(14 + 1)}{2} - 240 = 19 \qquad U' = 14 \cdot 11 + \frac{11(11 + 1)}{2} - 85 = 135$$

De estos dos resultados, se utiliza el menor para realizar la comparación con los valores críticos, los cuales se obtiene de tabla de los valores críticos de U en la prueba de Mann-Whitney (tabla 4.1). A partir del número de muestras ($n_1 = 14$, $n_2 = 11$), del nivel de significancia de 0.05 y para una prueba bilateral, los valores críticos son 40 y 114.

Por lo que al comparar el estadístico de prueba con respecto a los valores críticos, se concluye que, como el valor calculado de $U = 19$ queda fuera del rango entre 40 y 114 se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

De esta manera se calcula para todas las comparaciones en las que se puede aplicar la prueba de U de Mann-Whitney.

En la prueba de U de Mann Whitney se realizó el cálculo utilizando el programa Mann-Whitney Test: $n_a = \text{NaN}$; $n_b = \text{NaN}$, de VassarStats, por ©Richard Lowry 2001 - 2005

PRUEBA DE LA TABLA DE CONTINGENCIA

Para cuando no se puede aplicar la prueba de U de Mann-Whitney se cuenta como opción la prueba de tabla de contingencia. Para ejemplificar esta prueba se consideró la comparación regional realizada al parámetro del hierro entre las fechas de 1998 y 2003 (tabla 5.10).

Tabla 5.10. Resumen del Hierro (1998 - 2003)

Parámetro	Fe		Límite de detección
	SM	ND	
Fecha			
1998	13	12	0.0300
2003	96	42	0.0055

Se conservan las hipótesis nula y alternativa propuestas con anterioridad en el subcapítulo 4.2.1, y se recuerda que el nivel de significancia es $\alpha = 0.05$. Para el análisis de la tabla de contingencia se procedió a contar el número de valores que se encuentran bajo el límite de detección y los que no, para cada uno de los muestreos (tablas 5.11 y 5.12). Como se mencionó en el capítulo 4, se realizó la prueba considerando el límite de detección más alto, con el cual se homogeneizó la comparación. Para este caso el límite de detección a considerar es de 0.03.

Tabla 5.11. Valores medidos de hierro en 1998

Estudio 1998		Estudio 1998		Estudio 1998		Estudio 1998	
No.Pozo	Hierro (mg/l)	No.Pozo	Hierro (mg/l)	No.Pozo	Hierro (mg/l)	No.Pozo	Hierro (mg/l)
C-1	<0.03	I0374	3.92	I0900-A	<0.03	I1431	3.64
C-2	1.12	I0435	3.36	I0985	0.84	I1463	0.84
C-3	1.40	I0502-A	<0.03	I1073	0.84	I1622	2.24
I0020	<0.03	I0549	<0.03	I1083	0.84	I1780	<0.03
I0161	<0.03	I0710	<0.03	I1328	1.68	I1804	1.40
I0191	<0.03	I0863	3.92	I1393	<0.03	I1815	<0.03
I0214	<0.03						

Nota:

<0.03
1.12

Concentración por abajo del límite de detección de 0.03

Concentración por arriba del límite de detección de 0.03

Tabla 5.12. Valores medidos de hierro en 2003

Hoja de campo	Fe (mg/l)	Hoja de campo	Fe (mg/l)	Hoja de campo	Fe (mg/l)	Hoja de campo	Fe (mg/l)	Hoja de campo	Fe (mg/l)
1	0.0059	37	0.0138	68	0.0576	103	<0.0055	134	0.0059
2	<0.0055	38	0.0133	69	0.0175	104	0.5226	135	<0.0055
3	0.0190	39	<0.0055	70	<0.0055	105	0.0066	136	0.0102
4	0.0069	40	0.0421	72	<0.0055	106	<0.0055	137	0.1980
6	0.0190	41	0.0295	73	0.0245	108	<0.0055	138	0.0333
7	0.0188	42	0.0173	74	0.1809	109	<0.0055	139	<0.0055
8	0.0167	43	0.0474	75	0.0266	111	0.2576	140	<0.0055
9	0.0205	45	0.0119	76	0.0169	112	0.1088	141	0.0096
11	<0.0055	46	0.0710	77	<0.0055	113	0.0564	142	0.0123
12	<0.0055	47	0.0328	78	<0.0055	114	0.0297	145	<0.0055
15	<0.0055	48	0.0240	79	0.0019	115	0.0460	148	<0.0055
17	0.0235	49	0.0112	80	<0.0055	116	0.3859	149	<0.0055
18	0.0352	50	0.2477	81	0.0864	117	0.0222	150	0.0073
19	0.0277	51	<0.0055	83	0.0058	118	0.1160	152	<0.0055
20	0.0606	52	0.0173	84	<0.0055	120	0.2789	155	0.0856
22	<0.0055	53	0.0125	87	0.1085	122	0.0306	156	<0.0055
23	0.0084	56	<0.0055	89	<0.0055	123	0.0063	157	<0.0055
25	<0.0055	57	<0.0055	91	0.0065	124	0.0150	158	<0.0055
27	0.0249	58	0.0080	92	0.0172	125	0.0881	159	<0.0055
28	0.0088	59	0.0232	93	0.0081	126	1.8096	160	<0.0055
29	0.0319	60	0.0112	94	<0.0055	127	0.0536	161	<0.0055
30	0.0121	61	0.0089	96	0.0093	128	0.0190	162	<0.0055
31	<0.0055	62	0.0186	97	0.0144	129	0.0203	163	<0.0055
32	0.2011	63	0.0149	98	0.0427	130	0.0066	164	0.1206
33	<0.0055	64	0.0199	99	<0.0055	131	0.1042	165	<0.0055
34	0.0109	65	0.0162	100	<0.0055	132	0.0055	166	0.0083
35	0.0077	66	0.0108	101	0.0067	133	0.0051	167	0.0475
36	0.0072	67	0.0064	102	0.0098				

Nota:

0.0059

Concentración por abajo del límite de detección de 0.03

0.0352

Concentración por arriba del límite de detección de 0.03

De los datos registrados se obtiene el siguiente resumen y se construye la tabla 2X2 (tabla 5.13)

Tabla 5.13. Tabla de contingencia del hierro (1998-2003)

Fe	1998	2003
Concentraciones por arriba del límite de detección de 0.03	13	32
Concentraciones por abajo del límite de detección de 0.03	12	106

Antes de determinar el valor crítico se verificó que éste método es el adecuado, de acuerdo con la restricción del uso de la prueba de U, debido a que en las dos fechas se presentan más del 20% de los datos bajo el límite de detección, esto es: en 1998 se muestrearon 25 sitios, de los cuales 12 valores se presentaron abajo del límite de detección y representan el 48% de los sitios muestreados. En el 2003 se muestrearon 138 sitios, de los cuales 106 valores se presentaron abajo del límite de detección y representan el 77% de los sitios muestreados. Aunque no es necesario que en las dos fechas se presente esta restricción para usar este método.

El valor crítico se determina a partir del nivel de significancia y de los grados de libertad.

$$g.l. = (\text{renglones} - 1) \cdot (\text{columnas} - 1)$$

$$g.l. = (2 - 1) \cdot (2 - 1)$$

$g.l. = 1$ y $\alpha = 0.05$; de la tabla de los valores críticos de la distribución χ^2 (tabla 4.4) se obtiene

Tabla 5.14. Valores críticos de distribución de χ^2 cuadrada para un grado de libertad

Grados de libertad g.l.	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879

Por lo que se aceptará la hipótesis nula si el valor calculado de χ^2 es igual o menor al valor crítico de 3.841, o se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, si el valor calculado de χ^2 es mayor que el valor crítico de 3.841.

Para determinar el valor de χ^2 , se calculan las frecuencias esperadas a partir de las frecuencias observadas

Fe	1998	2003
Concentraciones por arriba del límite de detección (fo)	13	32
Concentraciones por abajo del límite de detección (fo)	12	106

Para ello, primeramente se obtienen los totales de las columnas y las filas:

Fe	1998	2003	Σ
Concentraciones por arriba del límite de detección (fo)	13	32	45
Concentraciones por abajo del límite de detección (fo)	12	106	118
Σ	25	138	163

A partir de los totales se calculan las frecuencias esperadas con la fórmula:

$$f_e = \frac{(\sum \text{renglón}) \cdot (\sum \text{columna})}{(\sum \text{total})}$$

Por ejemplo, para el valor esperado (f_e) de las muestras detectadas en 1998 se tiene:

$$Sd(f_e) = \frac{45 \cdot 25}{163} = 6.902$$

Obteniendo de esta manera las frecuencias esperadas:

Fe	1998	2003
Concentraciones por arriba del límite de detección (fe)	6.902	38.100
Concentraciones por abajo del límite de detección (fe)	18.098	99.900

Posteriormente se debe verificar si el análisis de tabla de contingencia es el adecuado. Esto es, si las frecuencias esperadas son mayores de 5, es posible continuar con éste análisis, pero si alguna de las celdas no cumple con esta condición, entonces se usará la prueba de probabilidad exacta de Fisher.

Para este caso, se continúa usando la prueba de la tabla de contingencia, ya que todas las frecuencias observadas son mayores de cinco.

Por lo que se procede a calcular el estadístico de prueba χ^2 a partir de:

$$\chi^2 = \sum \left[\frac{(f_o - f_e)^2}{f_e} \right]$$

Sustituyendo

$$\chi^2 = \frac{(13 - 6.9)^2}{6.9} + \frac{(12 - 18.1)^2}{18.1} + \frac{(32 - 38.1)^2}{38.1} + \frac{(106 - 99.9)^2}{99.9} = 8.791$$

Puesto que el valor calculado ($\chi^2 = 8.791$) es mayor al valor crítico de 3.841 (figura 5.2), se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, por lo existe diferencia significativa en los valores comparados para el hierro entre las fechas de 1998 y 2003.

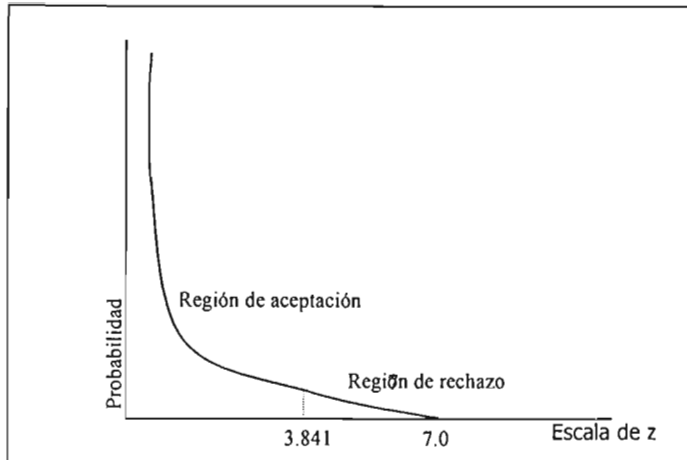


Figura 5.2. Gráfica de la distribución de ji cuadrada para un grado de libertad

PRUEBA DE LA PROBABILIDAD EXACTA DE FISHER

Como se había mencionado, esta prueba se propone para cuando alguna de las frecuencias esperadas en el análisis de tabla de contingencia es menor de cinco. Por lo que a continuación se mostrará un ejemplo de este análisis a partir de la determinación de estas frecuencias.

Para lo cual consideraremos la comparación local en la zona de la Ciudad de Irapuato realizada entre las fechas de mayo y noviembre de 2003 (tabla 5.15).

Tabla 5.15. Resumen del Hierro (Mayo 03 – Nov 03)

Parámetro	Fe		Límite de detección
	SM	ND	
May 03	7	27	0.104
Nov 03	2	60	0.173

Homogeneizando a partir del límite de detección más alto (tabla 5.16).

Tabla 5.16. Tabla 2X2 del hierro (Mayo 03 – Nov 03)

Fe	May 03	Nov 03
	Concentraciones por arriba del límite de detección de 0.173	6
Concentraciones por abajo del límite de detección de 0.173	28	60

Se sigue el procedimiento de la tabla de contingencia para obtener las frecuencias esperadas (tabla 5.17).

Tabla 5.17. Determinación de las f_e para la comparación local may-nov de 2003

Fe	May 03	Nov 03	Σ
Concentración por arriba del límite de detección (fo)	6	2	8
Concentración por abajo del límite de detección (fo)	28	60	88
Σ	34	62	96

>>>

Fe	May 03	Nov 03
Se detectó (fe)	2.833	5.167
No se detectó (fe)	31.167	56.833

Como se puede observar la frecuencia esperada de las concentraciones por arriba del límite de detección de mayo de 2003 es $f_e = 2.8 < 5$, por lo que es necesario usar la prueba de probabilidad exacta de Fisher.

Ahora se debe calcular la probabilidad exacta asociada a los valores observados:

$$p = \frac{(a+b)!(c+d)!(a+c)!(b+d)!}{n!a!b!c!d!}$$

Sustituyendo

$$p = \frac{8!88!34!62!}{96!6!2!28!60!} = 0.01918$$

Como siguiente paso, a partir de los totales de las filas y columnas (Σ) determinados en el tabla 5.17, se deberán determinar todas las posibles tablas de contingencia que puedan formarse:

	May-03	Nov-03	May-03	Nov-03	May-03	Nov-03
Se detectó	5	3	2	6	7	1
No se detectó	29	59	32	56	27	61
Se detectó	4	4	1	7	8	0
No se detectó	30	58	33	55	26	62
Se detectó	3	5	0	8		
No se detectó	31	57	34	54		

Para cada una de las tablas se calcula la probabilidad exacta, obteniendo los siguientes resultados:

$p = 0.0794$	$p = 0.2601$	$p = 0.0025$
$p = 0.1951$	$p = 0.1261$	$p = 0.0001$
$p = 0.2920$	$p = 0.0255$	

Por último, se calcula la probabilidad asociada a la prueba de Fisher, sumando las probabilidades de las tablas que resultan ser menores o iguales a la probabilidad de la tabla que ha sido observada:

$$P = 0.0192 + 0.0025 + 0.0001 = 0.0218$$

Este valor de P indica la probabilidad de obtener una equivalencia entre los grupos menor o igual a la observada bajo la hipótesis nula. En este caso se como $P = 0.0218 < 0.05$ se de deberá rechazar la hipótesis de partida y aceptar la hipótesis alternativa.

5.1.4. RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA EVOLUCIÓN TEMPORAL

COMPARACIÓN REGIONAL

Los resultados de los valores calculados de z de las prueba de Mann Whitney para muestras grandes a nivel regional se presentan en la tabla 5.18, recordando del capítulo que el valor crítico de z es ± 1.96

Tabla 5.18. Valores calculados de z en la comparación regional

Fechas	1998	2003	2003
Parámetro	1979	1998	1979
Conductividad eléctrica	-1.88	0.51	3.87
PH	•	0.81	•
Temperatura	-2.52	1.70	6.33
Alcalinidad	•	-3.53	•
Sólidos disueltos totales	-2.25	-0.33	3.54
Calcio	-2.40	0.05	3.98
Magnesio	-5.58	-5.38	0.30
Sodio	-0.79	-1.49	-0.62
Potasio	-5.89	-5.52	2.92
Bicarbonato	-4.94	-3.22	5.21
Sulfato	-1.55	-5.68	-3.24
Cloruro	-4.51	-5.11	-2.84
Dureza total	•	-4.17	•

Donde :

-1.88
-2.52
•

El estadístico de prueba (z) se encuentra en la región de aceptación

El estadístico de prueba (z) se encuentra en la región de rechazo

No se realizó la prueba por falta de información

Los valores calculados de χ^2 de la tabla de contingencia para la comparación regional se presentan en la tabla 5.19, recordando que el valor crítico es 3.841

Tabla 5.19. Valores calculados de χ^2 en la comparación regional

Fechas	1998	2003
Parámetro	1979	1998
Carbonato	129.40	•
Hierro	•	8.79

Donde :

129.40
•

El estadístico de prueba (χ^2) se encuentra en la región de rechazo

No se realizó la prueba por falta de información

En el caso de la comparación regional no fue necesario utilizar la prueba de la probabilidad exacta de Fisher.

COMPARACIÓN LOCAL (IRAPUATO)

Los resultados de los valores calculados del estadístico de prueba U para muestras pequeñas se presentan en la tabla 5.20; debido a que el total de las comparaciones para muestras pequeñas se realizaron entre abril de 1997 y diciembre de 2003 con los número de muestras ($n1 = 14$, $n2 = 11$), siempre se consideraron los valores críticos de 40 y 114 con un nivel de significancia de 0.05 en una prueba bilateral.

Tabla 5.20. Valores calculados de U en la comparación local de Irapuato

Fecha	Dic-03
Parámetros	Abr-97
Conductividad eléctrica	19.0
PH	147.5
Temperatura	36.0
Sulfato	58.0
Nitrógeno en nitrato	0.0
Dureza total	87.0

Donde :

19.0
87.0

El estadístico de prueba (U) se encuentra en la región de rechazo

El estadístico de prueba (U) se encuentra en la región de aceptación

Los resultados de los valores calculados del estadístico de prueba z para muestras grandes se presentan en la tabla 5.21, recordando que el valor crítico de z es ± 1.96

Tabla 5.21. Valores calculados de z en la comparación local de Irapuato

Fechas	Abr-01	May-03	Nov-03	Dic-03	Dic-03	Dic-03	Dic-03
Parámetros	Abr-97	Abr-01	May-03	Nov-03	Abr-97	Abr-01	May-03
PH	-1.24	-0.09	1.05	4.62	U	4.02	4.03
Temperatura	0.78	-0.31	-2.32	-1.37	U	-0.02	-0.10
Sólidos totales	-0.33	•	•	•	•	•	•
Sólidos disueltos totales	•	4.64	-1.35	-2.76	•	1.73	-1.96
Sulfato	3.44	0.82	-1.18	1.48	U	3.16	2.26
Cloruro	•	0.00	0.97	0.96	•	0.48	0.37
Nitrógeno en nitrato	4.87	-2.94	-0.99	2.15	U	0.60	2.60
Arsénico	•	•	-0.91	1.41	-1.92	•	1.31
Dureza total	-1.12	1.71	0.94	-1.29	U	-0.72	-2.14

Donde :

-1.24
3.44
•
U

El estadístico de prueba (z) se encuentra en la región de aceptación

El estadístico de prueba (z) se encuentra en la región de rechazo

No se realizó la prueba por falta de información

La prueba se realizó con Mann-Whitney para muestras pequeñas

Los valores calculados de χ^2 de la tabla de contingencia para la comparación local de Irapuato se presentan en la tabla 5.22, recordando que el valor crítico es 3.841

Tabla 5.22. Valores calculados de χ^2 en la comparación local de Irapuato

Fechas	Abr-01	May-03	Nov-03	Dic-03	Dic-03
Parámetros	Abr-97	Abr-01	May-03	Abr-01	May-03
Hierro	0.15	0.42	PEF	PEF	PEF
Plomo	•	•	0.00	•	PEF
Fluoruro	•	0.012	7.09	0.04	0.07
Coliformes totales	•	12.94	PEF	5.68	PEF

Donde :

0.15
12.94
•
PEF

El estadístico de prueba (χ^2) se encuentra en la región de aceptación

El estadístico de prueba (χ^2) se encuentra en la región de rechazo

No se realizó la prueba por falta de información

La prueba se realizó con la probabilidad exacta de Fisher

Los valores calculados de P asociado a la probabilidad exacta de Fisher son los presentados en la tabla 5.23; el valor crítico de probabilidad para aceptar la hipótesis nula es $P > 0.05$

Tabla 5.23. Valores calculados de P en la comparación local de Irapuato

Fechas	May-03	Nov-03	Dic-03	Dic-03	Dic-03	Dic-03
Parámetros	Abr-01	May-03	Nov-03	Abr-97	Abr-01	May-03
Hierro	TC	0.02	0.46	0.66	1.00	0.66
Manganeso	•	1.00	1.00	1.00	•	1.00
Nitrógeno en nitrito	•	1.00	1.00	1.00	•	1.00
Plomo	•	TC	0.54	0.06	•	0.52
Fluoruro	TC	TC	0.10	•	TC	TC
Coliformes totales	TC	0.56	0.49	•	TC	1.00
Coliformes fecales	0.39	1.00	1.00	•	1.00	0.50
Cadmio	•	1.00	•	•	•	•
Cianuro	•	0.35	•	•	•	•
Cromo	•	0.35	•	•	•	•
Mercurio	•	1.00	•	•	•	•

Donde :

0.39	La probabilidad asociada (P) se encuentra en la región de aceptación
0.02	La probabilidad asociada (P) se encuentra en la región de rechazo
•	No se realizó la prueba por falta de información
TC	La prueba se realizó con la tabla de contingencia

COMPARACIÓN LOCAL (SALAMANCA)

Los resultados de los valores calculados del estadístico de prueba U para muestras pequeñas se presentan en la tabla 5.24; debido a que las comparaciones se realizaron con número de muestras variables, también se presentan los valores críticos para cada comparación.

Tabla 5.24. Valores calculados de U en la comparación local de Salamanca

Fecha	May-01	Dic-03	Dic-03
Parámetros	Ago-97	Ago-97	May-01
Conductividad eléctrica	79	184	26
pH	Z	1	Z
Temperatura	Z	140	Z
Sólidos disueltos totales	Z	130.5	Z
Sulfato	Z	217	Z
Cloruro	Z	138.5	Z
Nitrógeno en nitrato	Z	228	Z
Arsénico	Z	102	Z
Dureza total	Z	207	Z
Manganeso	Z	PEF	Z
Valores críticos (con $\alpha=0.05$)	19 - 76	65 - 163	11 - 49

Donde:

79	El estadístico de prueba (U) se encuentra en la región de rechazo
26	El estadístico de prueba (U) se encuentra en la región de aceptación
Z	La prueba se realizó con Mann-Whitney para muestras grandes
PEF	La prueba se realizó con la probabilidad exacta de Fisher

Los resultados de los valores calculados del estadístico de prueba z para muestras grandes se presentan en la tabla 5.25, donde el valor crítico de z es ± 1.96

Tabla 5.25. Valores calculados de z en la comparación local de Salamanca

Fechas	May-01	Jul-03	Dic-03	Dic-03
Parámetros	Ago-97	May-01	Jul-03	May-01
Conductividad eléctrica	U	-0.58	-1.51	U
pH	2.69	-3.23	4.43	4.78
Temperatura	1.25	-0.83	-0.67	0.16
Sólidos disueltos totales	2.48	-3.36	-1.48	0.68
Sodio	•	•	2.25	•
Fluoruro	•	0.23	0.42	0.16
Sulfato	5.00	0.35	0.67	0.02
Cloruro	-2.30	0.19	-2.61	-2.59
Nitrógeno en nitrato	5.51	-2.53	0.28	2.52
Arsénico	•	•	3.46	•
Dureza total	-0.88	•	•	-3.94

Donde :

2.69	El estadístico de prueba (z) se encuentra en la región de aceptación
1.25	El estadístico de prueba (z) se encuentra en la región de rechazo
•	No se realizó la prueba por falta de información
U	La prueba se realizó con Mann-Whitney para muestras pequeñas

Los valores calculados de χ^2 de la tabla de contingencia para la comparación local de Salamanca se presentan en la tabla 5.26, recordando que el valor crítico es 3.841

Tabla 5.26. Valores calculados de χ^2 en la comparación local de Salamanca

Fechas	May-01	Jul-03
Parámetros	Ago-97	May-01
Hierro	18.45	24.13
Nitrógeno en nitrito	PEF	•
Coliformes totales	•	23.57
Coliformes fecales	•	PEF

Donde :

18.45	El estadístico de prueba (χ^2) se encuentra en la región de rechazo
•	No se realizó la prueba por falta de información
PEF	La prueba se realizó con la probabilidad exacta de Fisher

Los valores calculados de P asociado a la probabilidad exacta de Fisher son los presentados en la tabla 5.27; el valor crítico de probabilidad para aceptar la hipótesis nula es $P > 0.05$

Tabla 5.27. Valores calculados de P en la comparación local de Salamanca

Fechas	May-01	Jul-03	Dic-03	Dic-03	Dic-03
Parámetros	Ago-97	May-01	Jul-03	Ago-97	May-01
Hierro	TC	TC	1.00	1.00	0.00
Manganeso	•	•	0.65	1.00	•
Nitrógeno en nitrito	1.00	•	•	0.02	0.04
Plomo	•	•	0.03	0.00	•
Coliformes totales	•	TC	0.15	•	0.00
Coliformes fecales	•	0.02	1.00	•	0.13

Donde :

1.00	La probabilidad asociada (P) se encuentra en la región de aceptación
0.02	La probabilidad asociada (P) se encuentra en la región de rechazo
•	No se realizó la prueba por falta de información
TC	La prueba se realizó con la tabla de contingencia

La interpretación de los resultados se presentará en el capítulo cinco, en el cual se analizarán los escenarios obtenidos y se relacionarán con respecto a la geohidrología de la zona de estudio, así como a las condiciones que prevalecen para cada uno de los tiempos comparados.

5.2. EVOLUCIÓN ESPACIAL

En este apartado se aplican las pruebas estadísticas con la finalidad de realizar comparaciones de los parámetros considerando la distribución de los aprovechamientos dentro de la zona de estudio. Se realizó una zonificación de la región considerando el funcionamiento hidrodinámico del acuífero. Se definen las zonas características del acuífero, como son las de control, de desarrollo y zonas especiales, las cuales presentan características particulares. Se realizan comparaciones con respecto a las zonas de control. Además se compara entre zonas de un mismo tipo a través de los parámetros medidos.

5.2.1. DEFINICIÓN DE LAS ZONAS DE ANÁLISIS

Para realizar la comparación espacial se identifican las siguientes zonas: a) zonas de control; las cuales se identifican como las zonas de recarga principal del acuífero y que además no presentan desarrollos de tipo antropogénico que puedan afectar la calidad del agua subterránea; b) zonas desarrolladas; estas zonas están directamente relacionadas con actividades antropogénicas, como son la urbanización, la agricultura y el bombeo intenso; c) y zonas especiales, las cuales tienen que ver con la contaminación de origen natural (figura 5.3).

Cada una de las zonas de estudio se seleccionó en base a su actividad predominante de uso de suelo y a los datos de calidad del agua del estudio de 2003, que es el que presenta mayor información a lo largo y ancho de la zona de estudio.

Una zona particular se presenta hacia el norte de la población de Cortázar. En esta zona, muy cerca de la rivera del río Lerma se monitorearon dos aprovechamiento en los estudios de 2003 y 1979. Fue necesario dejar ésta zona fuera de las pruebas estadísticas ya que la influencia de la contaminación del Río Lerma era muy evidente. Por lo que se realizó una zona sin que se consideraran los aprovechamientos muestreados en ese lugar.

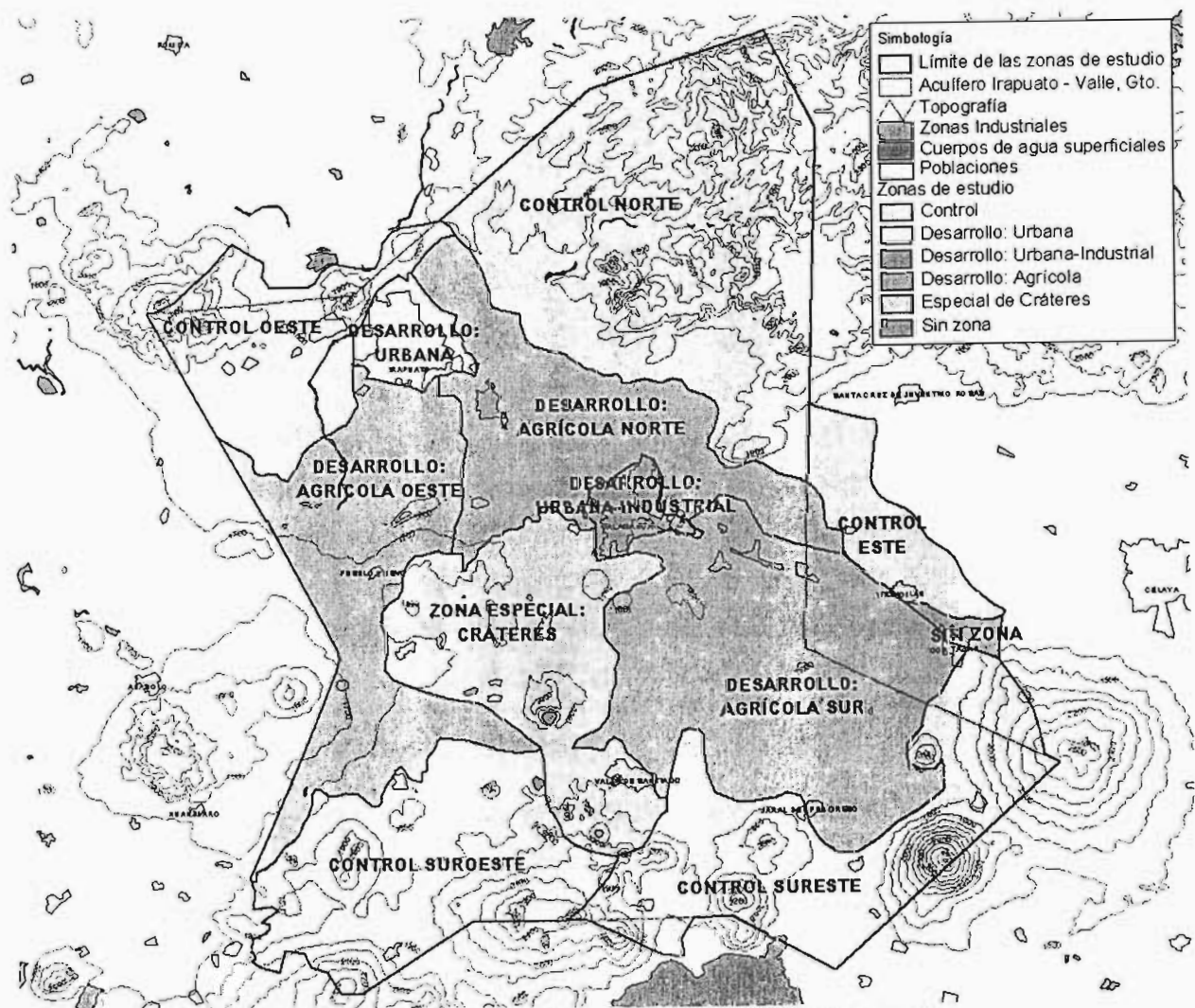


Figura 5.3. Zonas de Estudio para el análisis de evolución espacial

ZONAS DE CONTROL

Se consideró como zonas de control a las cuatro principales zonas de recarga del acuífero que se mencionan a continuación. Zona de control norte, zona de control oeste, zona de control sureste y zona de control suroeste. Adicionalmente se consideró una zona de control ubicada fuera de la zona de estudio debido a que en el estudio de 1979 se monitorearon aprovechamientos en una superficie mayor.

Zona de control norte; es la principal zona de recarga al norte del acuífero. Se ubica en la parte alta de la sierra de las codornices, cuenta con flujos de tipo intermedio y regional; tiene una área de 547 km².

Zona de control oeste; Por la piezometría observada en esta zona y debido a las condiciones de explotación, la dirección del flujo en la zona noroeste del acuífero se ha modificado sustancialmente, por lo que se ha considerado a esta zona como de recarga aunque históricamente la porción poniente del acuífero ha descargado lateralmente hacia el acuífero continuo del valle de Pénjamo – Abasolo. El área que cubre esta zona es de 145 km².

Zona de control sureste; se considera la principal fuente de recarga de agua subterránea hacia el valle y se define a partir del frente volcánico de las siete luminarias hasta los Cerros Culiacán y Grande, siguiendo la dirección del cauce del Río Lerma (CEASG, 1998). Comprende un área de 265 km².

Zona de control suroeste; forma parte de la principal fuente de recarga. En esta zona se localiza parte importante del frente volcánico de la siete luminarias, y abarca un área de 285 km².

Zona de control este; esta zona de recarga se encuentra fuera de la región del acuífero en estudio, se considera una entrada lateral del acuífero del valle de Celaya hacia el Acuífero de Irapuato–Valle. Solamente en el estudio de 1979 se presenta información del muestreo de aprovechamientos de dicha región.

ZONAS DE DESARROLLO

Urbana Norte; Esta zona de estudio considera a la ciudad más grande dentro de la región del acuífero que es la ciudad de Irapuato, la cual ha presentado un fuerte incremento poblacional en los últimos 20 años. Esta zona urbana presenta descargas de agua residuales generada por la población y fuentes de menores dimensiones como son rellenos sanitarios y lagunas de oxidación (CNA, 2003); además de la sobreexplotación que se refleja en el cono de abatimiento que provoca la extracción del agua en esta zona, la cual comprende un área de 49 km².

Urbano – Industrial Centro; esta zona de estudio comprende a la ciudad de Salamanca y el complejo industrial conformado principalmente por la refinería RIAMA de PEMEX y la termoeléctrica de la CFE, la cual presenta los pozos más profundos del valle. En esta zona se forma el cono de abatimiento más crítico del acuífero. Además de las fuentes de contaminación de tipo urbano mencionadas anteriormente, también se presentan en la zona industrias, y tanques de almacenamiento. Esta zona representa un área de 32 km².

La característica de las zonas agrícolas, por su parte; es que utilizan aguas residuales para el riego, así como fertilizantes y pesticidas. Asociado a las actividades agrícolas se presentan en la zona pequeñas localidades que no cuentan con sistemas de saneamiento integrado, por lo que utilizan fosas sépticas.

Zona Agrícola Norte; cuenta con una superficie de 259 km². Su principal fuente de recarga es la zona norte. Se localiza principalmente entre las zonas urbanas de Irapuato y Salamanca, lo atraviesan los cauces de los ríos Temascalatío y Lerma, además de los canales Coria y Bajo Salamanca. Esta zona esta conformada por la porción norte de los módulos del distrito de riego 011 riego Cortázar, Salamanca y una pequeña porción del módulo de Irapuato.

Zona agrícola sur; tiene un área de 357 km² dentro de la zona de estudio y cuenta con dos fuentes de recarga principalmente, las zonas de control sureste y de control este. Se localiza hacia el sureste de la ciudad de Salamanca. Los principales cauces que atraviesan esta zona son los ríos Lerma y Laja, además de los canales Coria y Bajo Salamanca. Esta zona esta conformada por el módulo de riego Valle de Santiago, además de las porciones sureste de los módulos de Cortázar y Salamanca y la porción norte del módulo de Jaral.

Zona agrícola oeste; cuenta con una superficie de 299 km². Se ubica en zona de descarga lateral del acuífero hacia el Valle de Pénjamo – Abasolo ubicado al poniente de la zona de estudio. Los cauces que atraviesan esta zona son los Ríos Lerma y Guanajuato además del Canal Alto Lerma. Los módulos del distrito de riego 011 que se encuentran dentro de esta zona son Irapuato y Pueblo Nuevo principalmente.

ZONAS ESPECIALES

Zona de Cráteres; la región centro sur forma parte del Campo Volcánico Michoacán Guanajuato. Esta zona es producto de la intensa actividad volcánica presentada durante el cuaternario. Los cráteres de Valle de Santiago muestran una orientación preferencial en dirección NNW. Los lagos-cráter ubicados en esta zona son en su mayoría cráteres de explosión de forma burda circular, presentan un borde formado por depósitos piroclásticos, compuestos de cenizas y brechas con espesores variables de 20 a 100 m; con

diámetros entre 400 y 3000 m y profundidades mayores a los 200m, con una elevación promedio de 1720 msnm. Esta zona especial se distribuye en una superficie de 272 km² y por sus características puede presentar contaminación de tipo natural.

5.2.2. DISTRIBUCIÓN DE APROVECHAMIENTOS POR ZONAS EN LOS AÑOS DE MUESTREO REGIONAL

Los parámetros medidos en los muestreos realizados en los estudios regionales son analizados para cada una de las zonas propuestas anteriormente, Como se mencionó anteriormente se tomaran las zonas de control como base para comparar la calidad del agua con las zonas desarrolladas. Además se comparó entre zonas de un mismo tipo como se observa en la figura 5.4.

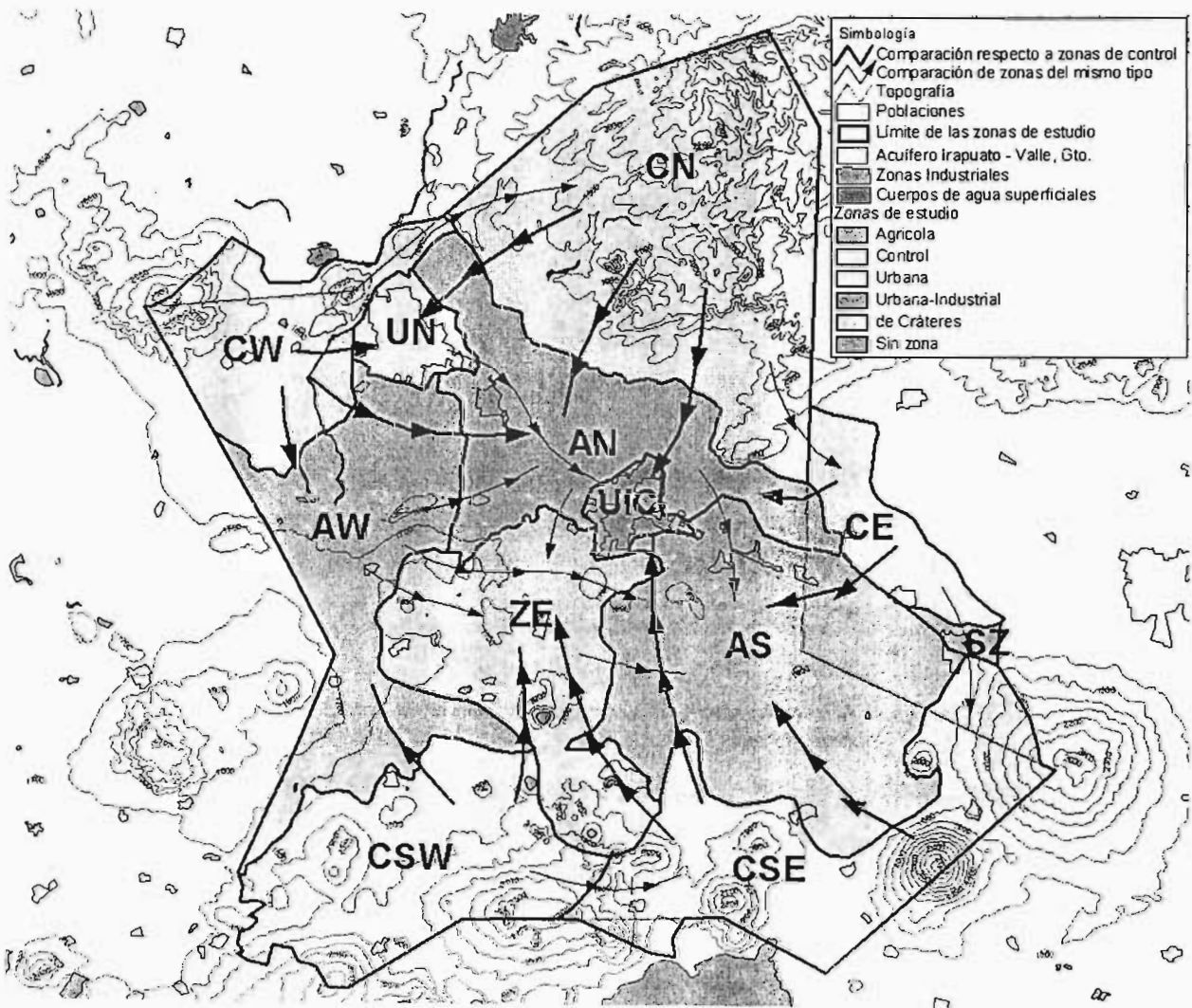


Figura 5.4. Esquema de las comparaciones realizadas

MUESTREO DE 1979

Se presenta la distribución geográfica de los 133 aprovechamientos (figura 5.5) que fueron muestreados para obtener la calidad del agua subterránea en 1979, así como su distribución dentro de las zonas de estudio.

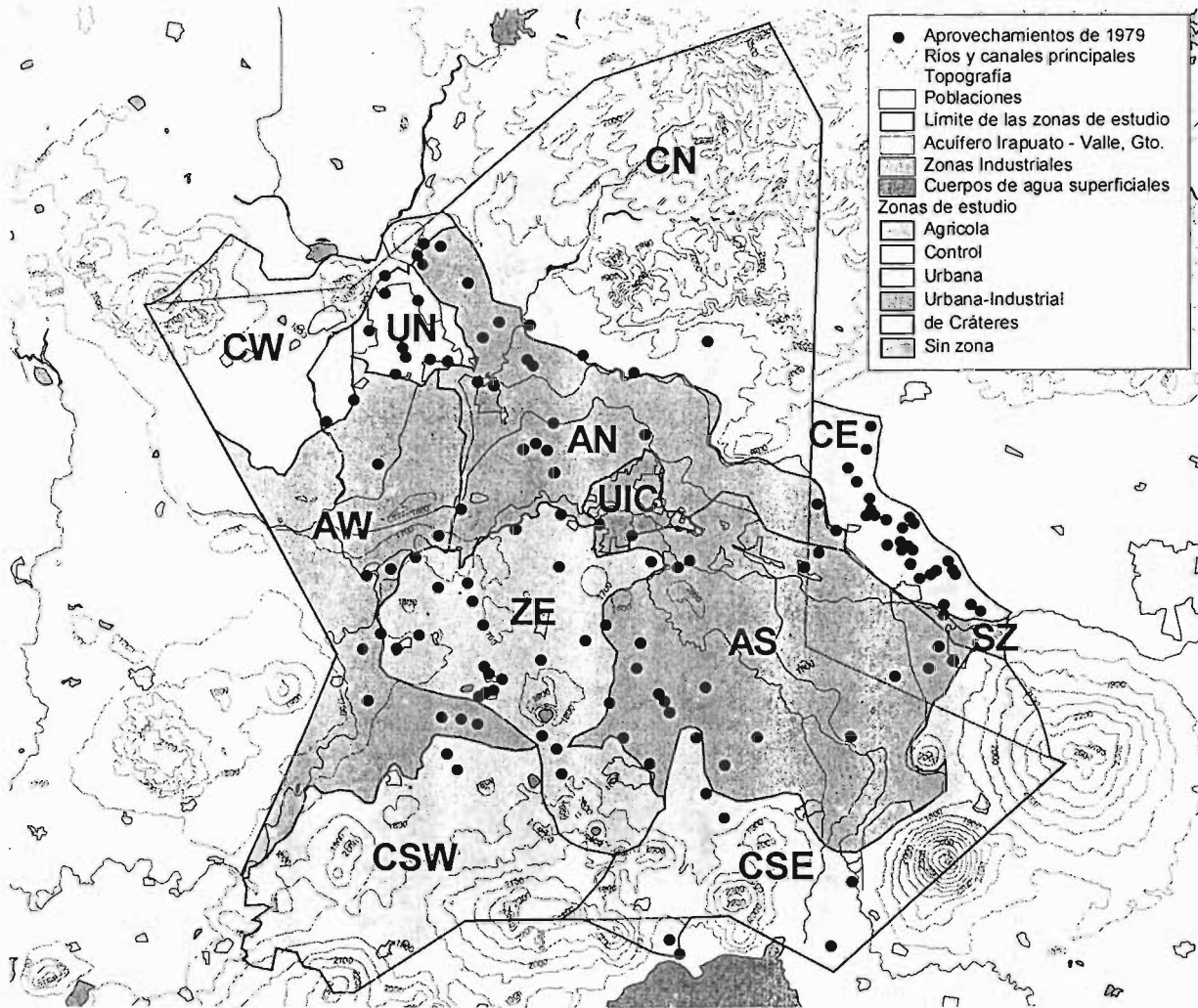


Figura 5.5. Aprovechamientos muestreados en 1979 en la zona de estudio

El resumen de la distribución de los aprovechamientos muestreados en 1979 se presenta en la tabla 5.28

Tabla 5.28. Resumen de aprovechamientos muestreados en 1979 por zona

Tipo de Zona	Nombre de La zona estudio	Clave de zona	Número de aprovechamientos
Zonas de Control	Control norte	CN	5
	Control noroeste	CW	5
	Control sureste	CSE	8
	Control suroeste	CSW	2
	Control este	CE	29
Zonas Desarrolladas	Agrícola norte	AN	18
	Agrícola sur	AS	22
	Agrícola oeste	AW	10
	Urbana norte	UN	8
	Urbana industrial centro	UIC	2
Zona Especial	de Cráteres	ZE	23
Total de aprovechamientos			132*

*Se dejó fuera del análisis un aprovechamiento

Las pruebas estadísticas se realizaron entre las zonas que cuentan con al menos cuatro aprovechamientos, por lo que las zonas de control suroeste y la zona urbana-industrial centro no se compararon debido a los pocos puntos de muestreo que se realizaron en dichas zonas.

Las comparaciones se realizaron considerando las dos zonas de recarga principales, por lo que estas zonas de control norte o sur se comparan con respecto a las zonas desarrolladas que recargan (tabla 5.29).

Tabla 5.29. Comparaciones entre las zonas de recarga y zonas de desarrollo para 1979

Zonas de recarga	Zonas de desarrollo	Número de aprovechamientos	
		zona de recarga	zona de desarrollo
CN	AN	5	18
CN	UN	5	8
CN	AS	5	22
CW	UN	5	8
CW	AW	5	10
CW	AN	5	18
CSE	AS	8	22
CSE	ZE	8	23
CE	AN	29	18
CE	AS	29	22

También se realizó una evaluación de la identificación de las zonas y los efectos de la calidad del agua subterránea con respecto al uso del suelo, por lo que se compararán las zonas similares de uso de suelo (tabla 5.30).

Tabla 5.30. Comparaciones entre zonas con características similares para 1979

Zonas de estudio con características similares		Número de aprovechamientos	
		zona 1	zona 2
CN	CW	5	5
CE	CN	29	4
CE	CSE	29	8
AN	AS	18	22
AN	AW	18	10
AS	AW	22	10
ZE	AN	23	18
ZE	AS	23	22
ZE	AW	23	10

Se realizaron comparaciones entre la zona especial con respecto a las zonas agrícolas, esto debido a que en la zona especial se cuenta con un alto porcentaje de superficie que es de uso agrícola.

MUESTREO DE 1998

En el estudio de 1998 solamente se muestrearon 25 aprovechamientos (figura 5.6) para obtener la calidad del agua subterránea en la región del Acuífero de Irapuato – Valle, por lo que la distribución de los aprovechamientos en las distintas zonas es muy dispersa.

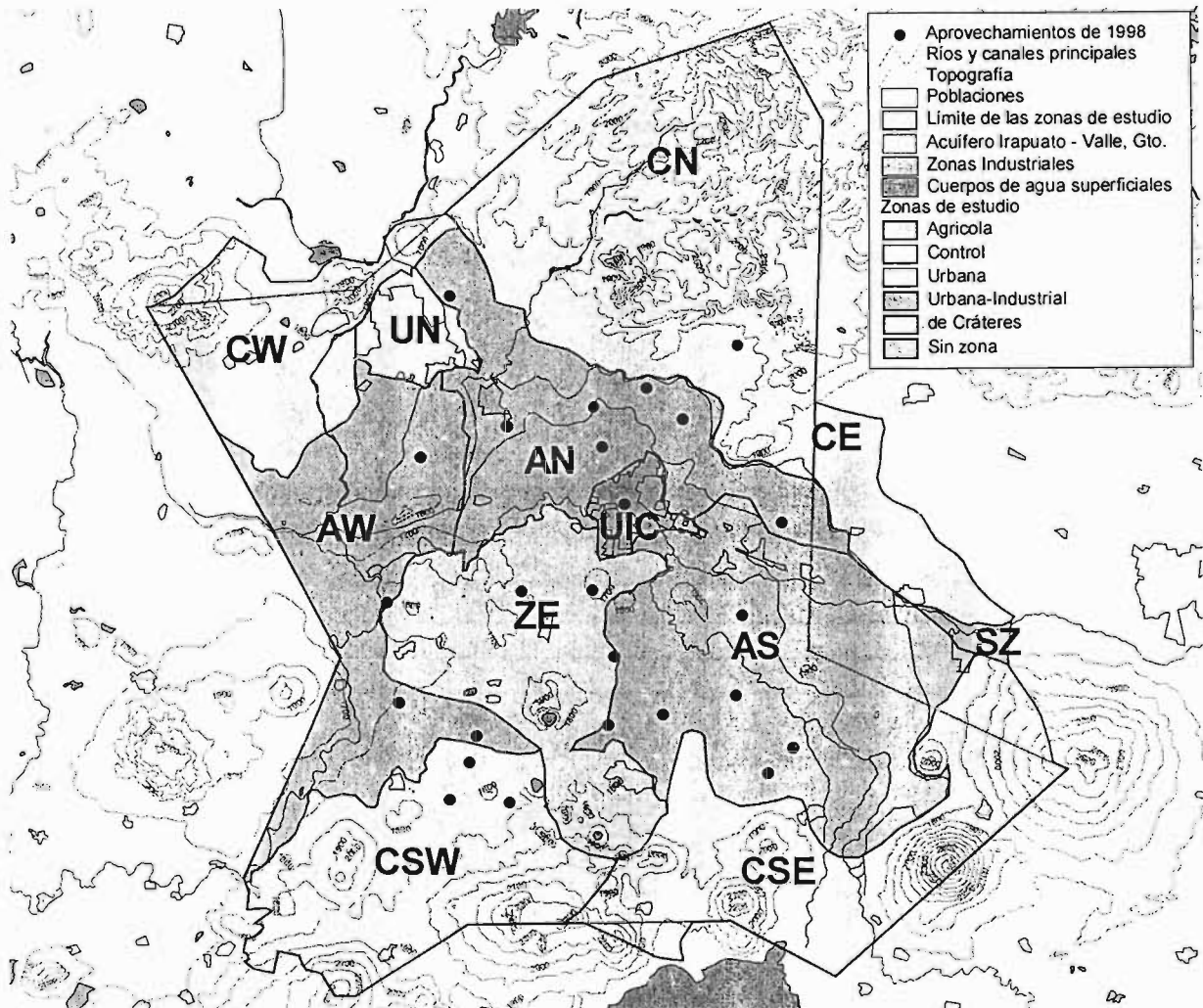


Figura 5.6. Aprovechamientos muestreados en 1998 en la zona de estudio

La distribución de los aprovechamientos muestreados en 1998 por zona se presenta en la tabla 5.31.

Tabla 5.31. Resumen de aprovechamientos muestreados en 1998 por zona

Tipo de zona	Zona de estudio	Clave de zona	Número de aprovechamientos
Zonas de Control	Control norte	CN	1
	Control suroeste	CSW	3
Zonas Desarrolladas	Agrícola norte	AN	7
	Agrícola sur	AS	6
	Agrícola oeste	AW	4
	Urbana industrial centro	UIC	1
Zona Especial	de Cráteres	ZE	3
Total de aprovechamientos			25

Debido a la poca información que se cuenta para cada uno de las zonas de estudio, solamente se puede realizar la comparación de las zonas similares de uso de suelo (tabla 5.32), esto es, para las zonas agrícolas

Tabla 5.32. Comparaciones entre zonas con características similares para 1998

Zonas de estudio con características similares		Número de aprovechamientos	
		zona 1	zona 2
AN	AS	7	6
AN	AW	7	4
AS	AW	6	4

MUESTREO DE 2003

Los aprovechamientos muestreados de manera regional (figura 5.7) son 140 pozos en una primera etapa y 17 pozos de verificación en una segunda etapa.

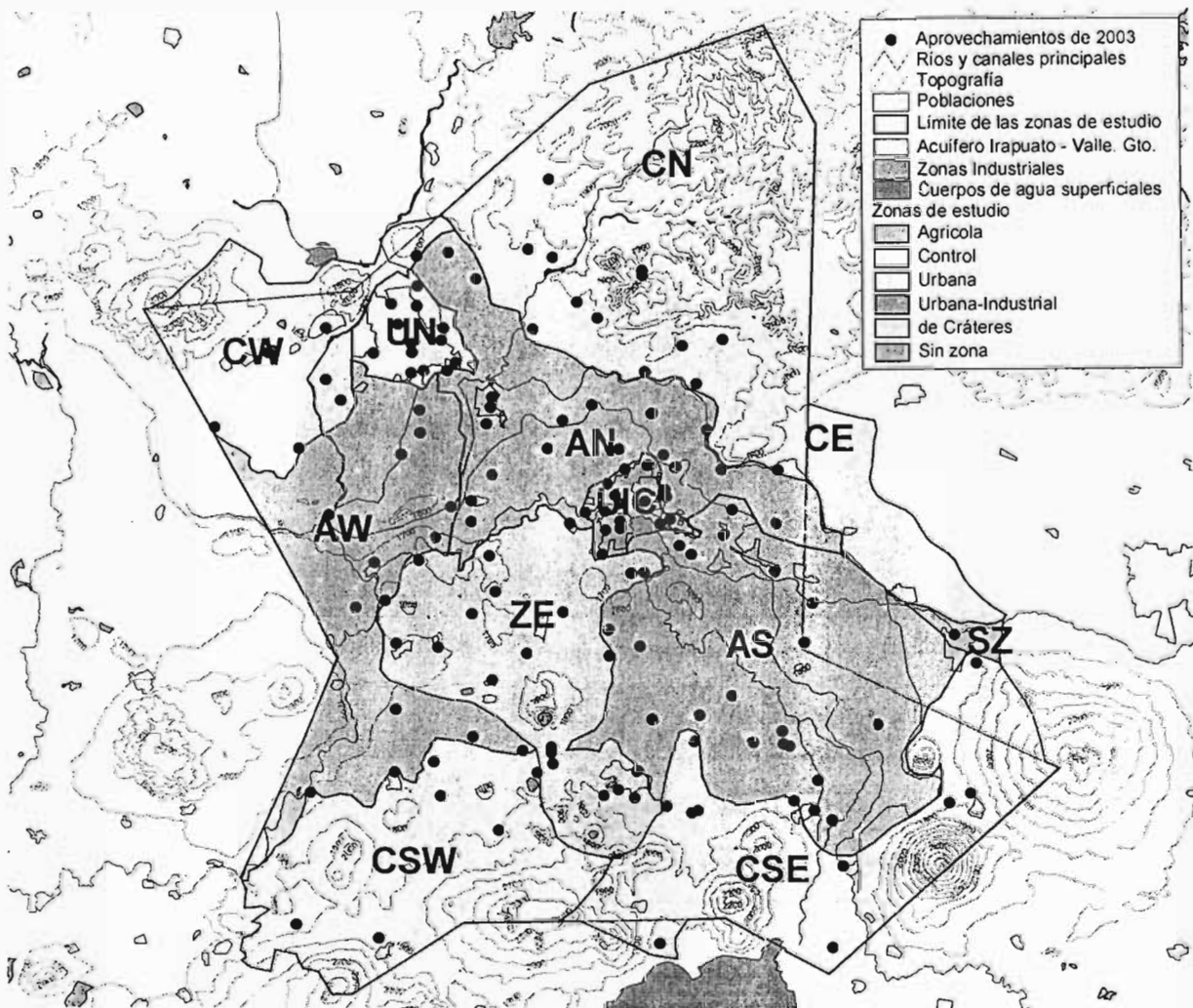


Figura 5.7. Aprovechamientos muestreados en 2003 en la zonas de estudio

El resumen de la distribución de los aprovechamientos muestreados en 2003 se presenta en la tabla 5.33; debido a que en el muestreo realizado por el IMTA se verificaron algunos sitios, éstos se consideraron como un muestreo aparte para la selección de zonas.

Tabla 5.33. Resumen de aprovechamientos muestreados en 2003 por zona

Tipo de Zona	Zona de estudio	Clave de zona	Número de aprovechamientos	Número de verificaciones
Zonas de Control	Control norte	CN	11	1
	Control noroeste	CW	8	2
	Control sureste	CSE	11	0
	Control suroeste	CSW	8	2
	Control este	CE	--	3
Zonas Desarrolladas	Agrícola norte	AN	20	2
	Agrícola sur	AS	20	0
	Agrícola oeste	AW	12	0
	Urbana norte	UN	13	2
	Urbana industrial centro	UIC	14	2
Zona Especial	de Cráteres	ZE	20	5
Total de aprovechamientos			138*	17

*Se dejó fuera del análisis un aprovechamiento

Las comparaciones entre las zonas de control y las desarrolladas se presentan en la tabla 5.34.

Tabla 5.34. Comparaciones entre las zonas de recarga y zonas de desarrollo para 2003

Zonas de recarga	Zonas de desarrollo	Número de aprovechamientos en	
		zona de recarga	zona de desarrollo
CN	AN	11	20
CN	UN	11	13
CN	UIC	11	14
CW	AN	8	20
CW	UN	8	13
CW	AW	8	12
CSE	AS	11	20
CSE	ZE	11	20
CSE	UIC	11	14
CSE	ZE*	11	5
CSW	AW	8	12
CSW	ZE	8	20
CSW	ZE*	8	5

ZE* muestreo de verificación

En cuanto a la evaluación de la identificación de las zonas y los efectos de la calidad del agua subterránea con respecto al uso del suelo se realizaron las comparaciones de la tabla 5.35.

Tabla 5.35. Comparaciones entre zonas con características similares para 2003

Zonas de estudio con características similares		Número de aprovechamientos	
		zona 1	zona 2
CN	CW	11	8
CSE	CSW	11	8
UN	UIC	14	13
AN	AS	20	20
AN	AW	20	12
AS	AW	20	12
ZE	AN	20	20
ZE	AS	20	20
ZE	AW	20	12
ZE	ZE*	20	5

La zona especial fue la única en la que se pudo realizar comparación entre el muestreo inicial y el muestreo de verificación por lo que lo se analiza su evaluación.

Se realizaron las pruebas estadísticas a los planteamientos antes mencionados, los parámetros que se utilizaron para las muestras son los mismos que los utilizados en el análisis temporal.

5.2.3. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA EVOLUCIÓN ESPACIAL

MUESTREO DE 1979

Los resultados de los valores calculados del estadístico de la prueba U para muestras pequeñas se presentan en la tabla 5.36; debido a que las comparaciones se realizaron con número de muestras variables, también se presentan los valores críticos para cada comparación.

Tabla 5.36. Valores calculados de U en la comparación espacial de 1979

ZONA	UN	AN	UN	AN	AW	CN	AN
Parámetro	CN		CW			CW	AW
Temperatura	28.0	54.0	13.5	25.5	18.5	20.0	79.0
Conductividad eléctrica	8.0	44.0	11.5	50.0	17.0	8.0	127.0
Sólidos disueltos totales	7.0	45.5	11.5	50.5	17.0	6.5	128.0
Calcio	5.0	19.5	16.0	71.0	41.0	0.0	58.0
Magnesio	21.0	46.5	24.0	51.0	12.0	8.0	156.0
Sodio	22.0	58.5	11.0	35.0	10.0	19.0	128.5
Potasio	21.5	49.5	12.0	35.0	8.0	20.0	144.5
Bicarbonato	21.0	60.0	12.0	45.0	11.5	16.0	133.0
Carbonato	11.0	57.0	9.5	42.0	8.5	11.0	129.5
Sulfato	4.0	23.5	13.0	61.0	30.0	4.0	68.0
Cloruro	5.0	28.5	13.5	57.0	12.0	5.0	156.0
Valores críticos (con $\alpha=0.05$)	6-34	18-72	6-34	18-72	8-42	2-23	48-132

Donde :

28.0	El estadístico de prueba (U) se encuentra en la región de aceptación
5.0	El estadístico de prueba (U) se encuentra en la región de rechazo

Los resultados de los valores calculados de z de las prueba de U para muestras grandes a nivel regional se presentan en la tabla 5.37, recordando que el valor crítico de z es ± 1.96

Tabla 5.37. Valores calculados de z en la comparación espacial de 1979

ZONA	CSE			CE		CE		AS		ZE		
Parámetro	AS	AS	ZE	AN	AS	CN	CSE	AN	AW	AN	AS	AW
Temperatura	-0.34	0.8	2.1	3.17	3.46	1.79	2.95	0.34	0.75	1.90	1.83	1.96
Conductividad eléctrica	1.03	-0.8	-0.38	-1.37	-3.16	-1.02	-2.93	1.84	-0.79	2.98	0.60	-0.41
Sólidos disueltos totales	1.19	-0.89	-0.43	-1.27	-3.2	-0.63	-2.99	1.86	-0.87	3.13	0.62	-0.41
Calcio	1.53	-0.4	-3.27	-3.81	-3.45	-1.73	-3.52	0.24	1.24	-3.17	-2.86	-0.86
Magnesio	1.15	-0.89	-0.47	-2.67	-4.24	-1.31	-3.45	2.45	-1.38	2.48	0.31	-1.08
Sodio	-0.28	-0.68	0.74	2.07	0.69	0.97	-0.35	0.67	-1.24	3.13	1.86	0.00
Potasio	0	-0.12	2.08	3.38	2.28	1.68	1.97	0.29	-1.63	3.24	2.18	0.37
Bicarbonato	-0.41	-1.85	-1.92	-3.02	-2.67	-2.63	-3.1	0.56	-1.89	0.11	-0.24	-1.98
Carbonato	0	0.42	1.51	1.15	-0.8	-0.19	-0.46	1.59	-1.57	3.15	1.57	-1.06
Sulfato	TC	TC	TC	1.6	TC	2.02	TC	TC	TC	1.83	TC	1.33
Cloruro	2.84	1.06	0.23	-1.55	-4.36	1.36	-1.59	3.43	-0.24	2.64	-1.25	-1.21

Donde :

-0.34	El estadístico de prueba (z) se encuentra en la región de aceptación
2.84	El estadístico de prueba (z) se encuentra en la región de rechazo
TC	La prueba se realizó con la tabla de contingencia

Los valores calculados de χ^2 de la tabla de contingencia para la comparación espacial de 1979 se presentan en la tabla 5.38, recordando que el valor crítico es 3.841

Tabla 5.38. Valores calculados de χ^2 en la comparación espacial de 1979

ZONA	CSE			CE		CE		AS		ZE
Parámetro	AS	AS	ZE	AN	AS	CN	CSE	AN	AW	AS
Sulfato	PEF	PEF	PEF	PEF	5.00	Z	PEF	PEF	PEF	PEF

Donde :

5.00	El estadístico de prueba (χ^2) se encuentra en la región de rechazo
Z	La prueba se realizó con Mann-Whitney para muestras grandes
PEF	La prueba se realizó con la probabilidad exacta de Fisher

Los valores calculados de P asociado a la probabilidad exacta de Fisher se presentan en la tabla 5.39; el valor crítico de probabilidad para aceptar la hipótesis nula es $P > 0.05$

Tabla 5.39. Valores calculados de P en la comparación espacial de 1979

ZONA	CN	CSE		CE		CE		AS		ZE
Parámetro	AS	AS	ZE	AN	AS	CN	CSE	AN	AW	AS
Sulfato	0.280	0.682	0.156	Z	TC	Z	0.292	0.027	0.210	0.010

Donde :

0.280	El estadístico de prueba (P) se encuentra en la región de aceptación
Z	La prueba se realizó con Mann-Whitney para muestras grandes
TC	La prueba se realizó con la tabla de contingencia

MUESTREO DE 1998

Como se había mencionado en el apartado 5.2.2, solamente se realizaron 25 sondeos en el estudio de 1998, por lo que las zonas que pudieron ser comparadas son agrícolas. Es decir, las zonas con un mismo uso de suelo. Los resultados de los valores calculados del estadístico de prueba U para muestras pequeñas se presentan en la tabla 5.40; debido a que las comparaciones se realizaron con número de muestras variables, también se presentan los valores críticos para cada comparación.

Tabla 5.40. Valores calculados de U en la comparación espacial de 1998

ZONA	AN		AS
Parámetro	AS	AW	AW
Temperatura	11.5	23.5	23.0
Sólidos disueltos totales	29.0	11.0	4.0
Dureza	28.0	13.0	8.0
pH	23.0	15.5	11.5
Conductividad eléctrica	30.0	12.0	5.0
Alcalinidad	33.0	13.0	1.5
Bicarbonato	37.0	14.0	1.5
Carbonato	PEF	PEF	PEF
Cloruro	35.0	18.0	4.0
Sulfato	14.0	10.5	15.5
Calcio	27.0	10.0	4.5
Magnesio	29.0	20.5	12.0
Hierro	PEF	PEF	PEF
Sodio	21.5	10.0	8.0
Potasio	32.5	17.5	7.5
Valores críticos (con $\alpha=0.05$)	6-36	3-25	2-22

Donde :

11.5	El estadístico de prueba (U) se encuentra en la región de aceptación
37.0	El estadístico de prueba (U) se encuentra en la región de rechazo
PEF	La prueba se realizó con la probabilidad exacta de Fisher

Debido a que el número de muestras en las zonas comparadas es pequeño, las pruebas de U que no se pudieron realizar, se analizaron directamente con la prueba de probabilidad exacta de Fisher. Los valores calculados de P asociado a la probabilidad exacta de Fisher se presentan en la tabla 5.41; el valor crítico de probabilidad para aceptar la hipótesis nula es $P > 0.05$.

Tabla 5.41. Valores calculados de P en la comparación espacial de 1998

ZONA	AN		AS
Parámetro	AS	AW	AW
Carbonato	0.192	1.000	0.467
Hierro	0.021	1.000	0.033

Donde :

0.192
0.033

La probabilidad asociada (P) se encuentra en la región de aceptación

La probabilidad asociada (P) se encuentra en la región de rechazo

MUESTREO DE 2003

Los resultados de los valores calculados del estadístico de prueba U para muestras pequeñas se presentan en las tablas siguientes. En la tabla 5.42 se presenta la comparación espacial realizada con respecto a las zonas de control, mientras que en la tabla 5.43 se presenta la comparación para la verificación de las zonas de un mismo uso.

Tabla 5.42. Valores calculados de U para la comparación espacial de 2003

ZONA	CN				CW			CSE				CSW		
Parámetro	UN	AN	UIC	AS	UN	AN	AW	AS	UIC	ZE	ZE*	ZE	ZE*	AW
Conductividad eléctrica	50.0	70.0	22.0	14.0	43.0	48.0	6.0	19.0	22.0	8.0	55.0	3.0	40.0	5.0
PH	113.0	84.5	65.0	87.5	87.5	78.0	32.0	129.0	95.0	112.5	27.5	112.5	11.0	63.5
Temperatura	87.0	158.0	83.0	187.5	34.0	73.5	41.0	142.5	49.0	119.0	17.0	91.5	13.0	53.0
Potencial Redox	68.0	141.0	84.0	198.0	64.0	124.5	68.0	106.0	37.0	87.0	44.0	153.0	21.0	65.5
Oxígeno disuelto	56.5	140.0	122.5	186.0	48.0	124.0	63.0	129.0	57.0	90.0	45.5	113.0	17.0	63.0
Alcalinidad	87.0	127.0	45.5	37.0	66.5	93.0	31.5	38.0	42.5	9.0	52.0	9.0	37.0	23.0
Sólidos disueltos totales	49.0	68.0	45.5	14.0	45.0	50.0	6.0	23.0	22.0	8.0	55.0	3.0	40.0	5.0
Calcio	37.0	124.0	100.0	65.5	37.0	91.0	54.0	62.0	84.0	65.0	40.0	29.0	33.0	23.0
Magnesio	46.0	137.0	84.5	85.5	27.0	117.0	20.0	96.0	96.0	26.0	50.0	22.0	37.0	32.5
Sodio	89.0	66.0	19.0	40.0	70.0	50.0	51.0	47.5	20.0	55.0	55.0	22.0	40.0	21.0
Potasio	83.0	114.5	42.5	51.0	70.0	81.5	12.0	63.5	56.0	87.5	48.5	63.0	32.0	27.0
Bicarbonato	86.0	128.0	46.5	34.0	66.5	97.0	32.0	35.0	42.0	9.0	54.0	63.0	38.0	23.5
Fluoruro	31.5	80.5	46.0	91.5	32.5	67.0	64.5	59.5	20.0	40.0	39.0	35.5	29.0	40.0
Sulfato	19.0	22.0	11.5	13.0	52.5	67.0	45.0	70.0	51.0	70.0	43.0	27.5	35.0	23.0
Cloruro	21.0	37.0	13.0	6.0	38.0	68.0	36.0	43.5	42.5	38.0	55.0	5.0	40.0	14.0
Nitrógeno en nitrato	51.0	83.0	88.5	134.5	27.0	51.5	29.5	81.5	53.5	44.5	48.5	51.0	31.5	30.5
Arsénico	80.0	93.0	34.0	118.0	58.0	60.5	41.0	49.0	7.5	24.0	55.0	24.0	40.0	14.5
Dureza total	40.0	131.0	88.0	77.0	41.0	110.0	38.0	73.5	79.0	34.0	44.0	18.0	35.0	22.0
Hierro	TC	TC	TC	TC	36.5	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC
Manganeso	TC	TC	TC	TC	39.0	TC	TC	TC	TC	TC	15.0	TC	TC	TC
Valores críticos (con $\alpha=0.05$)	37	62	40	62	24	41	22	62	40	62	9	41	6	22
	106	158	114	158	80	119	74	158	114	158	46	119	34	74

Donde :

50.0
113.0
TC

El estadístico de prueba (U) se encuentra en la región de aceptación

El estadístico de prueba (U) se encuentra en la región de rechazo

La prueba se realizó por medio de la tabla de contingencia

Tabla 5.43. Valores calculados de U para las zonas de un mismo uso, 2003

ZONA	CN	CSE	UN	AN		AS	ZE			
Parámetro	CW	CSW	UIC	AS	AW	AW	AN	AS	AW	ZE*
Conductividad eléctrica	47.5	31.5	53.0	349.0	183	57	370.0	297.5	29.5	56.0
pH	56.0	59.0	29.0	196.0	141.5	165.5	211.5	228.0	138.5	49.0
Temperatura	14.0	46.0	78.5	129.0	127.5	159.0	185.5	257.0	133.5	28.0
Potencial Redox	60.5	84.0	112.0	74.0	106.5	168.5	107.5	233.0	153.5	73.0
Oxígeno disuelto	56.0	76.0	137.5	305.0	130.0	183.5	182.0	260.0	145.5	70.0
Alcalinidad	43.5	36.0	52.0	348.0	182.5	183.5	390.0	301.5	29.0	53.0
Sólidos disueltos totales	48.5	32.0	51.0	336.0	178.0	70.0	369.0	305.0	30.5	53.0
Calcio	51.0	35.0	144.5	281.5	134.0	73.0	264.5	177.0	77.5	45.0
Magnesio	46.0	60.0	145.0	284.0	214.5	162.0	380.5	329.5	60.5	47.5
Sodio	49.0	12.0	14.5	243.0	102.0	64.0	267.0	220.0	66.5	68.0
Potasio	39.0	49.5	35.0	316.5	199.0	125.5	282.0	193.5	124.5	64.0
Bicarbonato	44.5	37.0	52.0	351.0	182.5	74.5	390.0	298.5	27.0	60.0
Fluoruro	52.0	55.0	69.5	169.5	75.0	75.5	161.0	203.0	106.0	33.0
Sulfato	52.0	28.5	67.5	246.5	106.5	82.5	239.0	227.0	87.0	57.0
Cloruro	71.0	17.5	57.0	339.0	136.5	45.0	334.0	234.0	44.5	52.0
Nitrógeno en nitrato	42.0	54.0	123.0	120.5	122.0	171.5	334.0	295.0	98.0	65.5
Arsénico	41.5	46.0	32.0	153.0	110.0	136.5	208.5	253.5	99.0	73.0
Dureza total	50.0	48.0	141.0	281.0	190.0	114.0	348.0	272.0	72.0	40.0
Hierro	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	43.0
Manganeso	TC	TC	83.5	266.5	TC	TC	244.0	166.5	TC	38.5
Valores críticos (con $\alpha=0.05$)	19 69	19 69	50 132	127 273	69 171	69 171	127 273	127 273	69 171	20 80

Donde :

47.5
14.0
TC

El estadístico de prueba (U) se encuentra en la región de aceptación

El estadístico de prueba (U) se encuentra en la región de rechazo

La prueba se realizó por medio de la tabla de contingencia

En la mayoría de las comparaciones se manejan muestras pequeñas (menores de 20 sitios) por lo que se obtienen pocos valores de χ^2 debido a que no cumplen con la restricción de que los valores o las frecuencias esperadas sean mayores a 5; estos valores calculados de χ^2 de la tabla de contingencia para la comparación espacial con respecto a las zonas de control se presenta en la tabla 5.44, mientras que la comparación realizada para las zonas de un mismo uso se presenta en la tabla 5.45; recordando que el valor crítico es 3.841

Tabla 5.44. Valores calculados de χ^2 en la comparación espacial de 2003

ZONA	UN	AN	UIC	AS	UIC	ZE
Parámetro	CN			CSE		
Hierro	PEF	0.00	0.890	PEF	1.92	PEF
Plomo	2.82	PEF	PEF	0.260	PEF	0.26
Fosfatos	0.00	PEF	PEF	PEF	PEF	PEF
Coliformes totales	8.22	9.25	PEF	PEF	PEF	PEF

Donde :

2.82	El estadístico de prueba (χ^2) se encuentra en la región de aceptación
8.22	El estadístico de prueba (χ^2) se encuentra en la región de rechazo
PEF	La prueba se realizó con la probabilidad exacta de Fisher

Tabla 5.45. Valores calculados de χ^2 para las zonas de un mismo uso, 2003

ZONA	UN	AN		AS	ZE		
Parámetro	UIC	AS	AW	AW	AN	AS	AW
Hierro	PEF	0.96	0.42	PEF	8.53	PEF	PEF
Plomo	2.97	0.40	0.85	0.14	0.10	0.90	1.41
Fosfatos	3.04	0.00	PEF	PEF	0.11	0.11	PEF
Coliformes totales	PEF	6.46	PEF	0.70	5.01	0.11	0.30
Coliformes fecales	PEF	2.13	PEF	PEF	2.13	0.00	PEF

Donde :

2.97	El estadístico de prueba (χ^2) se encuentra en la región de aceptación
6.46	El estadístico de prueba (χ^2) se encuentra en la región de rechazo
PEF	La prueba se realizó con la probabilidad exacta de Fisher

Los resultados de la prueba de probabilidad exacta de Fisher se presentan en las tablas 5.46 y 5.47; el valor crítico de probabilidad para aceptar la hipótesis nula es $P > 0.05$

Tabla 5.46. Valores calculados de P en la comparación espacial de 2003

ZONA	CN				CW			CSE				CSW		
Parámetro	UN	AN	UIC	AS	UN	AN	AW	AS	UIC	ZE	ZE*	ZE	ZE*	AW
Hierro	0.06	TC	TC	0.45	U	0.19	0.60	0.04	TC	0.04	0.25	0.01	0.10	0.65
Manganeso	0.30	0.17	0.62	0.11	U	1.00	0.62	0.63	1.00	0.63	U	1.00	0.49	1.00
Nitrógeno en nitrato	0.46	1.00	0.34	0.37	1.00	1.00	0.50	0.32	1.00	0.32	0.51	1.00	1.00	1.00
Plomo	TC	0.28	0.61	0.70	1.00	0.69	0.36	TC	0.43	TC	1.00	0.22	0.61	1.00
Fosfatos	TC	0.45	0.12	0.45	0.09	0.37	0.60	1.00	1.00	1.00	0.51	0.14	1.00	1.00
Coliformes totales	TC	TC	0.00	0.43	0.35	0.37	1.00	0.26	0.00	0.26	1.00	0.67	1.00	0.37
Coliformes fecales	0.63	0.64	0.72	1.00	0.50	0.54	0.12	1.00	0.07	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Donde :

0.06	La probabilidad asociada (P) se encuentra en la región de aceptación
0.04	La probabilidad asociada (P) se encuentra en la región de rechazo
TC	La prueba se realizó por medio de la tabla de contingencia
U	La prueba se realizó por medio de Mann Whitney para muestras pequeñas

Tabla 5.47. Valores calculados de P para las zonas de un mismo uso, 2003

ZONA	CN	CSE	UN	AN		AS	ZE			
Parámetro	CW	CSW	UIC	AS	AW	AW	AN	AS	AW	ZE*
Hierro	0.18	0.66	0.03	TC	TC	1.00	TC	0.09	0.05	U
Manganeso	0.60	0.55	U	U	1.00	0.14	U	U	1.00	U
Nitrógeno en nitrito	1.00	0.60	0.10	0.24	0.62	0.68	1.00	0.24	0.62	1.00
Plomo	0.18	0.63	TC	TC	TC	TC	TC	TC	TC	0.64
Fosfatos	0.15	0.23	TC	TC	1.00	1.00	TC	TC	1.00	0.29
Coliformes totales	0.32	1.00	0.10	TC	0.25	0.47	TC	TC	TC	0.62
Coliformes fecales	0.23	0.66	0.22	TC	0.38	1.00	TC	TC	1.00	1.00

Donde :

0.18	La probabilidad asociada (<i>P</i>) se encuentra en la región de aceptación
0.03	La probabilidad asociada (<i>P</i>) se encuentra en la región de rechazo
U	La prueba se realizó por medio de Mann Whitney para muestras pequeñas
TC	La prueba se realizó por medio de la tabla de contingencia

5.3. EVOLUCIÓN A PROFUNDIDAD

De la misma forma en la que se obtiene la evolución espacial de la calidad del agua subterránea en los distintos escenarios que se presentan en la región del acuífero, se realizan comparaciones de la calidad del agua subterránea a distintas profundidades, en las cuales, se identifican las características que se presentan en los medios por lo que circulan los sistemas de flujo a nivel intermedio y regional.

En base a las variaciones de la concentración del nitrógeno presentadas en el estudio de 2003, se identificaron cuatro rangos de profundidades de aprovechamientos relacionados con dichas variaciones: a) de cero a 100m en donde la concentración del nitrato se relacionó con valores mayores al nivel de fondo (10 mg/l); b) de 100 a 170 m se identificaron valores parecidos al nivel de fondo; c) de 170 a 250 m las concentraciones se incrementaron; y d) de 250 m en adelante, las concentraciones nuevamente disminuyeron.

Por lo que se realizaron comparaciones en base a la profundidad total de los aprovechamientos para los estudios de 1998 y 2003.

MUESTREO DE 1998

Las profundidades de los aprovechamientos muestreados en 1998 varió de 56 a 250 m. Debido a esto, las captaciones de agua subterránea se clasificaron en tres grupos (tabla 5.48).

Tabla 5.48. *Aprovechamientos monitoreados en 1998*

Pozo	Profundidad total (m)	Grupo
I1393	56	de 0 a 100 m
I0985	70	
I1328	75	
I0549	80	
I1463	80	
I1622	95	
I1073	98	
I0020	100	
I0435	100	
I0863	100	
I0900-A	100	
I1804	100	
I1780	105	de 100 a 170 m
I0374	110	
C-2	120	
C-3	120	
I1815	120	
I0502-A	147	
I0214	150	
I1431	150	
I0161	160	
I0191	170	de 170 a 250 m
I0710	170	
C-1	250	
I1083	250	

En base a la profundidad total de los pozos se formaron tres grupos: a) el primer grupo se conforma con 12 pozos con profundidades de 56 a 100 m; b) el segundo grupo con 9 pozos con profundidades de 105 a 160 m; y c) el tercer grupo con 4 pozos con profundidades de 170 a 250 m (figura 5.8).

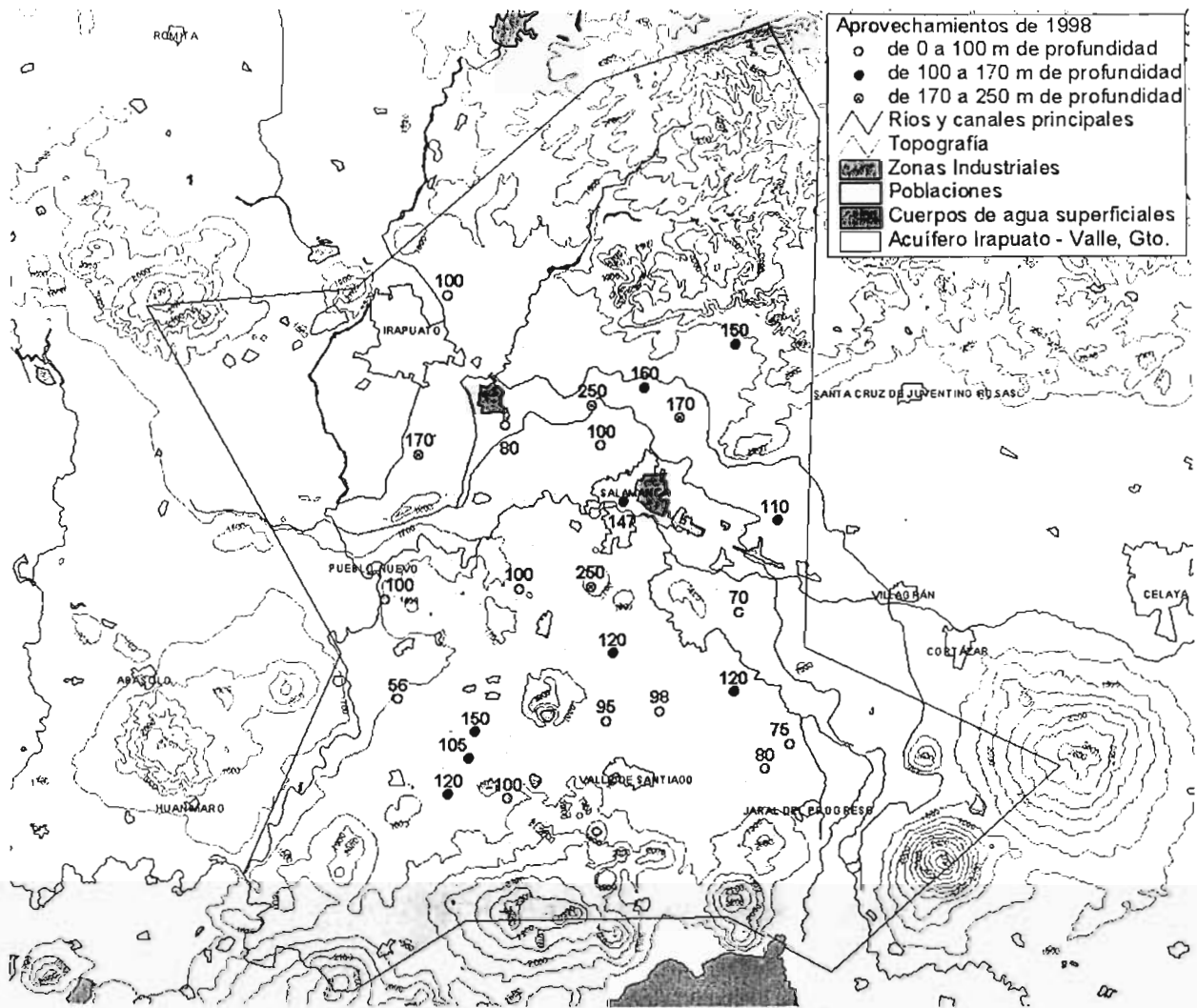


Figura 5.8. Profundidad de los aprovechamientos muestreados en 1998

Se realizaron las pruebas estadísticas comparando el primero con el segundo grupo y el segundo con el tercero. Después de realizadas las pruebas estadísticas para los grupos planteados se obtienen los siguientes resultados.

Para los valores calculados del estadístico de prueba U para muestras pequeñas se presenta la tabla 5.49; debido a que las comparaciones se realizaron con número de muestras variables, también se presentan los valores críticos para cada comparación.

Tabla 5.49. Valores calculados de U en la comparación a profundidad para 1998

Parámetro	Profundidad total (m)	
	100-170	170-250
Grupos:	0-100	100-170
Temperatura	78.5	10.5
Sólidos disueltos totales	33.0	32.0
Dureza	48.5	20.0
pH	76.5	6.0
Conductividad eléctrica	36.5	30.0
Alcalinidad	30.0	12.0
Bicarbonato	34.0	9.0
Carbonato	TC	TC
Cloruro	58.5	21.0
Sulfato	66.5	26.5
Calcio	42.5	31.0
Magnesio	49.5	13.0
Hierro	PEF	PEF
Sodio	53.5	18.0
Potasio	28.0	7.0
Valores críticos (con $\alpha=0.05$)	26 - 82	05 - 31

Donde :

78.5	El estadístico de prueba (U) se encuentra en la región de aceptación
32.0	El estadístico de prueba (U) se encuentra en la región de rechazo
PEF	La prueba se realizó por medio de la probabilidad exacta de Fisher

Como no se cumple con los valores esperados mayores a 5 para resolver la prueba de tabla de contingencia, se realizó la prueba de la probabilidad exacta de Fisher para las comparaciones del carbonato y del hierro. Los resultados de la prueba de probabilidad exacta de Fisher se presentan en la tabla 5.50, recordando que el valor crítico de probabilidad para aceptar la hipótesis nula es $P > 0.05$

Tabla 5.50. Valores calculados de P en la comparación a profundidad de 1998

Parámetro	Profundidad total (m)	
	100-170	170-250
Grupos:	0-100	100-170
Carbonato	0.23	1.00
Hierro	0.40	1.00

Donde :

0.23	El estadístico de prueba (P) se encuentra en la región de aceptación
------	--

MUESTREO DE 2003

Del muestreo realizado en 2003, en 110 de los 138 aprovechamientos se obtuvo el dato de la profundidad total, las cuales varían de 46 a 700m. por lo que los aprovechamientos se clasificaron de la siguiente manera (tabla 5.51)

Tabla 5.51. Aprovechamientos con profundidad total conocida monitoreados en 2003

Pozo	Profundidad total (m)	Grupo	Pozo	Profundidad total (m)	Grupo	Pozo	Profundidad total (m)	Grupo
91	46	de 0 a 100 m	142	120	de 100 a 170 m	48	200	de 170 a 250 m
70	60		152	120		49	200	
89	60		67	125		59	200	
35	61		2	130		78	200	
92	66		112	130		87	200	
106	70		157	130		99	200	
123	70		19	135		124	200	
127	70		20	140		132	200	
47	74		97	140		148	200	
93	75		64	142		159	200	
109	80		3	150		45	203	
131	80		7	150		79	205	
137	80		56	150		40	210	
36	85		65	150		39	220	
51	85		66	150		17	225	
102	90		100	150		37	240	
136	90		101	150		80	243	
96	95		105	150		6	250	
128	95		115	150		98	250	
77	98		150	153		160	250	
18	100	156	155	11	270			
29	100	27	160	141	277			
30	100	62	177	103	293			
34	100	72	180	32	300			
52	100	38	184	60	300			
53	100	118	186	61	300			
57	100	22	190	76	300			
69	100	68	190	81	300			
104	100	116	190	117	300			
108	100	1	200	166	341			
125	100	4	200	46	350			
83	110	12	200	165	500			
75	118	15	200	162	525			
50	120	28	200	163	620			
84	120	33	200	164	700			
94	120	41	200	167	700			
126	120	42	200					

En base a la profundidad total de los pozos se formaron cinco grupos: a) el primer grupo se conforma con 31 pozos con profundidades de 46 a 100 m; b) el segundo grupo con 28 pozos con profundidades de 110 a 160 m; c) el tercer grupo con 35 pozos con profundidades de 177 a 250 m; d) el cuarto grupo con 11 pozos con profundidades de 270 a 350 m; y e) el quinto grupo con 5 pozos con profundidades de 500 a 700 m (figura 5.9).

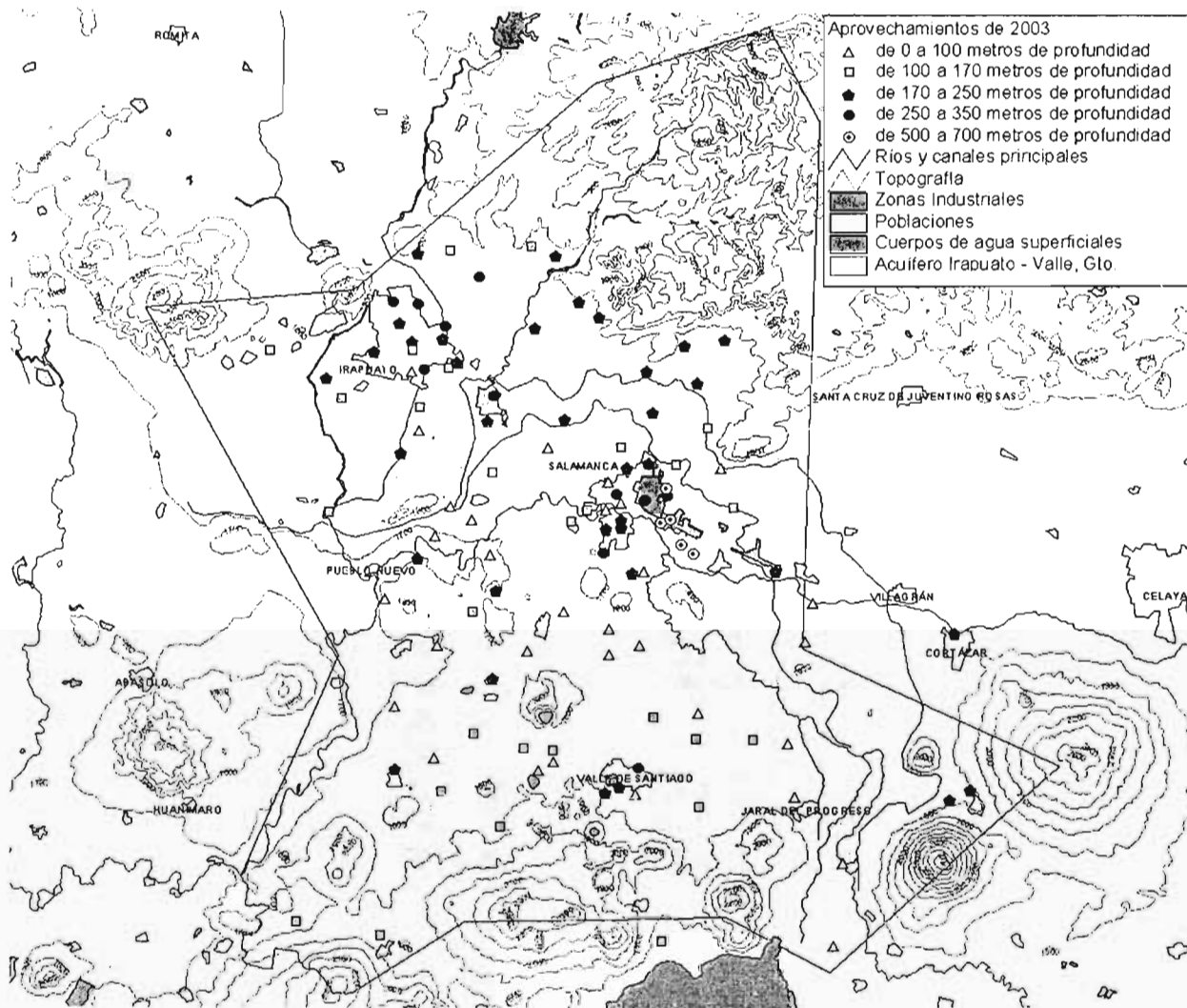


Figura 5.9. Profundidad de los aprovechamientos muestreados en 2003 y su distribución

Se realizaron las pruebas estadísticas comparando el primero con el segundo grupo, el segundo con el tercero, el tercero con el cuarto y el cuarto con el quinto grupo. Después de realizadas las pruebas estadísticas para los grupos planteados se obtienen los siguientes resultados.

Para la prueba de Mann-Whitney se obtuvieron muestras grandes en la mayoría de las comparaciones por lo que los valores calculados del estadístico de prueba z se presentan en la tabla 5.52, recordando que el

valor crítico de z es ± 1.96 . Solamente la comparación entre 500-700 y 250-350 se realizó con muestras pequeñas, por lo que también se presentan los valores de U en la última columna de la tabla 5.52.

Tabla 5.52. Valores calculados en la prueba de Mann-Whitney en la comparación a profundidad de 2003

Parámetro	Profundidad total (m)			
	Grupos: 0-100	100-170	170-250	250-350
Conductividad eléctrica	3.19	-0.04	-0.45	32
pH	-0.71	-3.17	-2.95	54
Temperatura	-0.88	1.86	-2.38	49
Potencial Redox	-1.53	0.72	2.72	3
Oxígeno disuelto	-1.37	-0.20	0.96	14
Alcalinidad	3.55	0.98	0.57	22
Sólidos disueltos totales	3.16	-0.03	-0.23	30
Calcio	1.86	0.64	2.95	1
Magnesio	2.82	0.55	2.61	4
Sodio	0.43	0.46	-2.04	46
Potasio	0.93	-1.24	-1.02	37
Bicarbonato	3.42	0.94	0.34	24
Fluoruro	-0.18	0.02	-2.83	53
Sulfato	1.70	-1.16	1.47	14
Cloruro	2.59	-0.37	-1.70	43
Nitrógeno en nitrato	1.27	0.08	1.70	12
Arsénico	0.20	1.45	-0.98	TC
Dureza total	2.50	0.63	2.72	3
Manganeso	TC	-1.33	TC	TC
Valores críticos (con $\alpha = 0.05$)				9-46

Donde :

3.19
-0.71
TC

El estadístico de prueba (z) se encuentra en la región de rechazo
 El estadístico de prueba (z) se encuentra en la región de aceptación
 La prueba se realizó por medio de la tabla de contingencia

Los valores calculados de χ^2 de la tabla de contingencia para la comparación a profundidad de 2003 se presenta en la tabla 5.53, recordando que el valor crítico es 3.841.

Tabla 5.53. Valores calculados en la prueba de tabla de contingencia en la comparación a profundidad de 2003

Parámetro	Profundidad total (m)	
	Grupos: 0-100	100-170
Hierro	0.00	0.23
Manganeso	PEF	PEF
Nitrógeno en nitrito	PEF	PEF
Plomo	2.00	0.81
Fosfatos	7.13	0.26
Coliformes totales	0.00	1.98
Coliformes fecales	0.28	0.41

Donde :

0.00	El estadístico de prueba (X^2) se encuentra en la región de aceptación
7.13	El estadístico de prueba (X^2) se encuentra en la región de rechazo
PEF	La prueba se realizó por medio de la probabilidad exacta de Fisher

Los valores calculados de P asociado a la probabilidad exacta de Fisher para la comparación a profundidad de 2003 se presentan en la tabla 5.54, el valor crítico de probabilidad para aceptar la hipótesis nula es $P > 0.05$

Tabla 5.54. Valores calculados en la prueba de P en la comparación a profundidad de 2003

Grupos:	Profundidad total (m)			
	100-170	170-250	250-350	500-700
Parámetro	0-100	100-170	170-250	250-350
Hierro	TC	TC	1.00	0.60
Manganeso	0.31	0.72	1.00	0.55
Nitrógeno en nitrito	1.00	1.00	1.00	1.00
Plomo	TC	TC	0.73	0.62
Fosfatos	TC	TC	0.73	0.24
Coliformes totales	TC	TC	0.07	0.54
Coliformes fecales	TC	TC	0.58	1.00
Arsénico	Z	Z	Z	0.04

Donde :

0.31	La probabilidad asociada (P) se encuentra en la región de aceptación
0.04	La probabilidad asociada (P) se encuentra en la región de rechazo
TC	La prueba se realizó por medio de la tabla de contingencia
Z	La prueba se realizó por medio de Mann Whitney para muestras grandes

5.4. INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Durante el capítulo cinco se ha realizado el análisis estadístico de la calidad del agua subterránea del acuífero Irapuato-Valle en las dimensiones del tiempo y espacio. Se aplicaron las pruebas con las que se realizaron las comparaciones o evoluciones y se obtuvieron los resultados numéricos de cada una de las pruebas.

A continuación se realizará el último paso de las pruebas estadísticas mediante la interpretación y el análisis de los resultados a partir del valor calculado de cada prueba con respecto a los valores críticos, aceptando o rechazando la hipótesis nula y alternativa.

5.4.1. EVOLUCIÓN TEMPORAL

El análisis de la evolución temporal consistió en comparar los parámetros que determinan la calidad del agua subterránea a nivel regional y local. A nivel regional se utilizaron los monitoreos referentes a los estudios geohidrológicos realizados en 1979, 1998 y 2003, mientras que a nivel local se basó en los monitoreos realizados en las ciudades de Irapuato y Salamanca.

NIVEL REGIONAL

A partir de los resultados obtenidos en las pruebas estadísticas y las diferencias significativas de las comparaciones realizadas a los parámetros del agua subterránea, se propone el siguiente sistema de representación de resultados:

Cuando el valor calculado de la prueba estadística se encuentra en la región de aceptación entonces los valores de los parámetros en distintas fechas no han variado significativamente, por lo tanto se acepta la hipótesis nula con un nivel de significancia de 0.05, por lo que los resultados cuentan con un 95% de certidumbre.

Cuando la hipótesis nula se rechaza, los valores de los parámetros en distintas fechas ha variado. Como se han considerado pruebas bilaterales, la hipótesis alternativa presenta dos opciones.

> La primera opción de las pruebas bilaterales considerada en este caso es que los parámetros comparados aumenten, en este caso, es en el tiempo.

< La segunda opción de las pruebas bilaterales considerada en este caso es que los parámetros comparados disminuyan en el tiempo.

En la tabla 5.55 se presenta un resumen de los resultados del análisis a nivel regional. En las primeras dos columnas la comparación se realizó de manera contigua en orden creciente entre las fechas: 1979, 1998 y 2003; mientras que, en la última columna se realizó entre 1979 y 2003.

Tabla 5.55. Resumen de la comparación regional

Fechas	1998	2003	2003
Parámetro	1979	1998	1979
Conductividad eléctrica			>
PH	o		o
Temperatura	>		>
Alcalinidad	o	<	o
Sólidos disueltos totales	>		>
Calcio	>		>
Magnesio	>	<	
Sodio			
Potasio	>	<	>
Bicarbonato	>	<	>
Carbonato	<	o	o
Sulfatos		<	<
Cloruro	>	<	<
Dureza total	o	<	o
Hierro	o	<	o

NOTA:

>
<
o

No hay variación significativa

Se presenta aumento en el parámetro

Se presenta disminución en el parámetro

No se realizó prueba

Se observa que de 1979 a 1998, se presenta un incremento en temperatura del agua, sólidos disueltos totales, calcio, magnesio, potasio, bicarbonato y cloruro. El carbonato, se detectó en mayor número para 1979, por lo que fue el único parámetro que disminuyó, cabe mencionar que este parámetro se presentó por arriba del límite de detección en 131 de los 133 muestreos realizados en 1979, mientras que en 1998 de los 25 muestreos solamente se detectó carbonato en 2 muestras; esto aun cuando en los dos análisis el límite de detección fue cero.

A pesar de que los resultados entre 1979 y 1998 muestran un aumento en varios parámetros, las conclusiones en el estudio de 1998 indican que la calidad del agua subterránea es aceptable para uso agrícola y potable, aunque también se menciona que existe riesgo con parámetros como alcalinidad, sólidos totales disueltos, magnesio, sodio y potasio.

Para la comparación realizada de 1998 a 2003, no se encontró incremento en ningún parámetro, al contrario, disminuyeron la alcalinidad, magnesio, potasio, bicarbonatos, sulfatos, cloruro, dureza total y hierro. La disminución de la mayoría de los parámetros comparados de 1998 a 2003 puede deberse a que

el muestreo realizado en 2003 se hizo después de la temporada extraordinaria de lluvias, en la cual se inundó parte del valle durante varios días.

Realizando una comparación entre 1979 y 2003 se observan incrementos en los valores de conductividad eléctrica, temperatura, sólidos disueltos totales, calcio, potasio, bicarbonato; por el contrario, se observó menor contenido de sulfato y cloruro.

La comparación del hierro solamente pudo determinarse por medio de la tabla de contingencia, la cual es una prueba que se basa en la frecuencia más que en la concentración de los parámetros, en este caso coincide la disminución de la concentración del parámetro con el número de sitios donde se detectó la concentración del hierro. En 1998 de los 25 aprovechamientos muestreados los 13 que se detectaron rebasan la norma de calidad del agua para consumo humano. En 2003 de los 138 aprovechamientos muestreados solamente tres presentan concentraciones por arriba del límite permisible (figura 5.10).

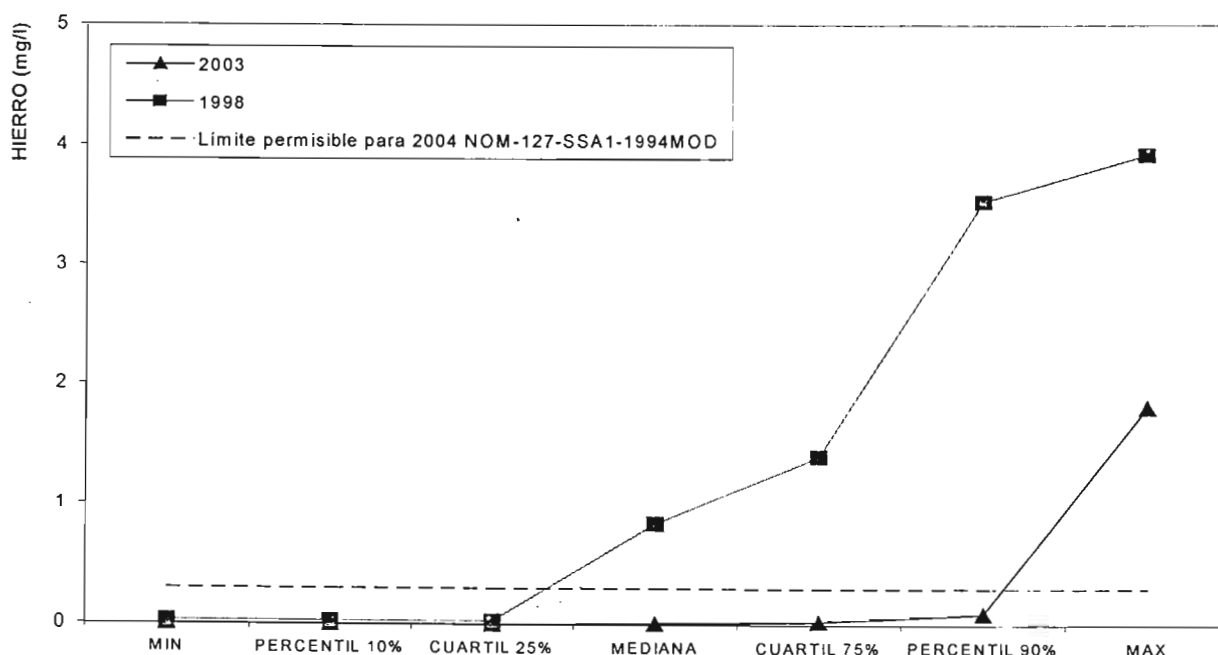


Figura 5.10. Concentración del hierro en la comparación regional

En el caso del magnesio se presenta otro caso particular de estas comparaciones (figura 5.11). De 1979 a 1998 se presenta incremento en los valores de éste parámetro, pero de 1998 a 2003 se observa una disminución de tal magnitud que las concentraciones del magnesio se redujeron de tal forma que alcanzan valores similares a los muestreados en 1979. Este comportamiento es similar al que presentan la mayoría de los parámetros, sin embargo no vuelven a los valores observados en 1979.

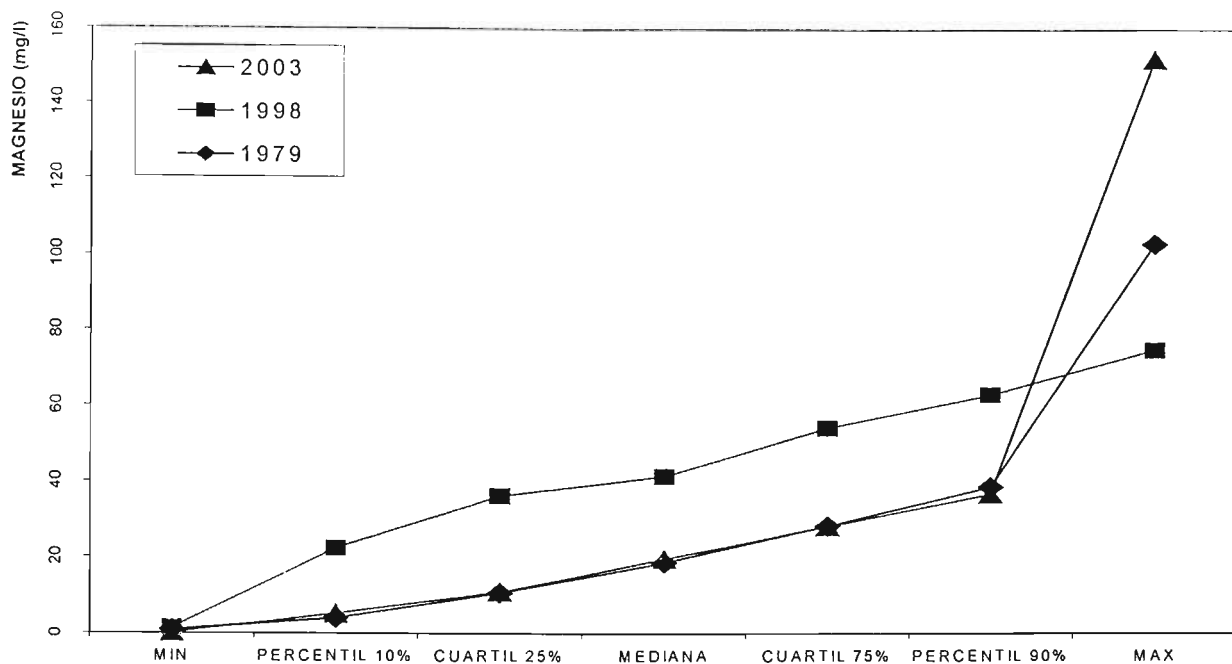


Figura 5.11. Concentración del magnesio en la comparación regional

En el caso de la conductividad eléctrica no se presentó diferencia entre 1979 y 1998 ni entre 1998 y 2003, por lo que se podría pensar que tampoco hay diferencia entre 1979 y 2003. Pero no es así, ya que de acuerdo a los resultados se presenta una diferencia significativa entre ambas fechas. El aumento de 1979 a 2003 no es de tal magnitud que se presentara igual que en 1998. En la figura 5.12 se observa tal manifestación.

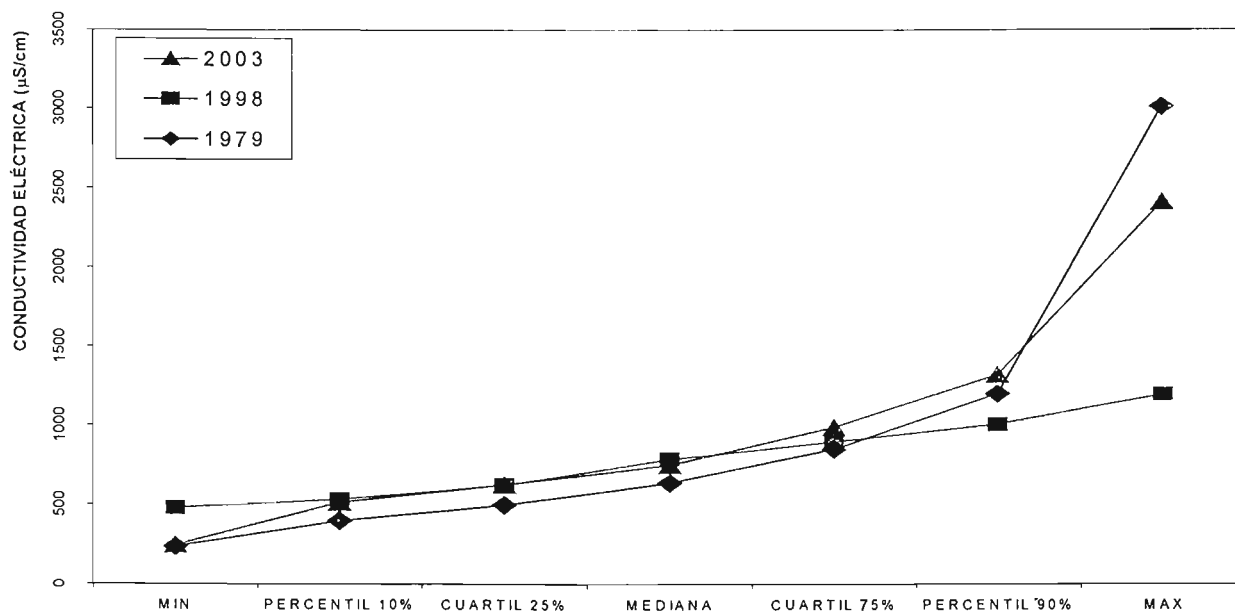


Figura 5.12. Valores de la conductividad eléctrica en la comparación regional

Con respecto a la temperatura, aumenta de 1979 a 1998 y se mantiene sin variación de 1998 a 2003 y al comparar 1979 con 2003 también se presenta aumento de la temperatura (figura 5.13). En el estudio de 1979 se infiere que existe una relación entre la profundidad de circulación del agua y la temperatura para ciertas zonas. En el estudio de 1998 no se observa la relación entre la profundidad y la temperatura medida, aunque en varias zonas se presenta termalismo. En el estudio de 2003 se confirma que si existe un incremento generalizado de la temperatura debido talvez a que se captan sistemas de flujo diferentes a los captados en 1979. Por lo que con la comparación realizada en los valores de temperatura se observa que con el paso del tiempo y la constante extracción del agua subterránea cada vez se captan sistemas de flujo con mayor profundidad de circulación de escala regional, y por consiguiente con mayor temperatura.

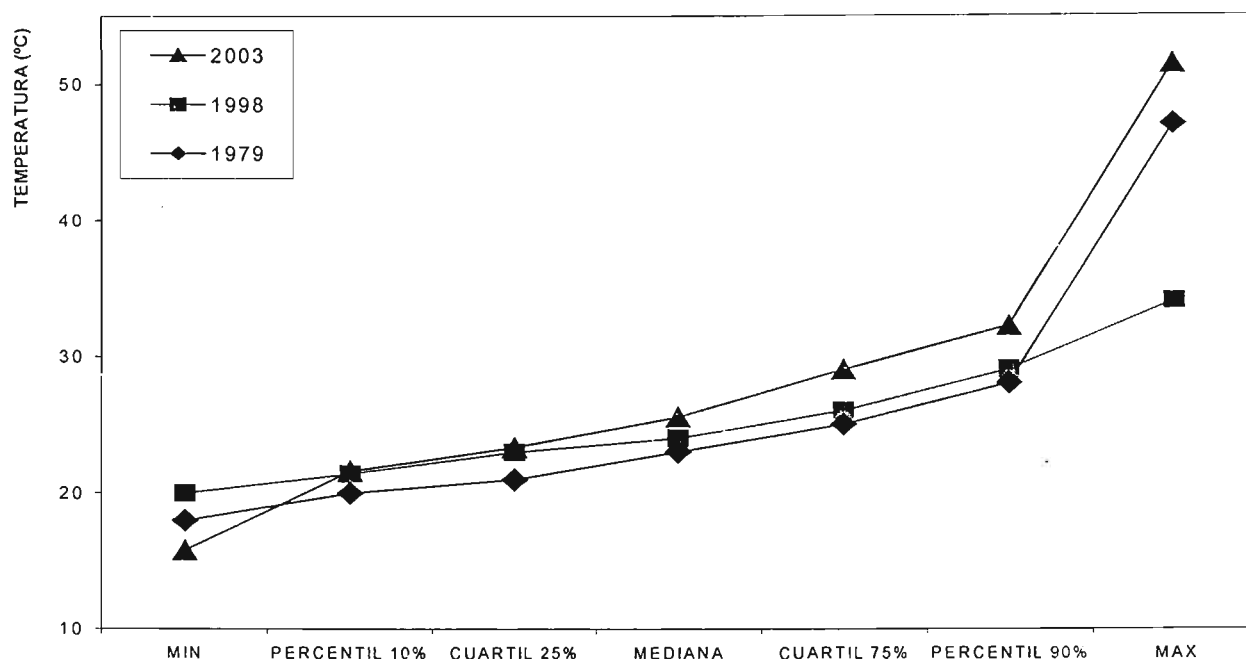


Figura 5.13. Variación de la temperatura en la comparación regional

Para el caso de los sólidos disueltos totales (figura 5.14) desde el punto de vista de la comparación regional se observa que presenta una tendencia similar a la comparación de la temperatura. En términos generales la temperatura y los sólidos disueltos totales presentaron aumento de 1979 a 1998 y de 1979 a 2003. Lo cual manifiesta que en condiciones normales al presentarse aumento de temperatura, se presenta mayor disolución, por lo cual se presenta aumento de sólidos disueltos. Pero al comparar de 1998 a 2003 ambos parámetros se presentaron estadísticamente sin variación. Aunque gráficamente se observa que los valores obtenidos de temperatura en 2003 se presentan por arriba de los de 1998 y en sólidos disueltos totales en términos generales se presenta al contrario. Por lo que si no es debido a la

temperatura el aumento de sólidos disueltos totales, entonces puede deberse a la entrada de aguas superficiales en donde el sistema de flujo se ve afectado por la extracción y el riego.

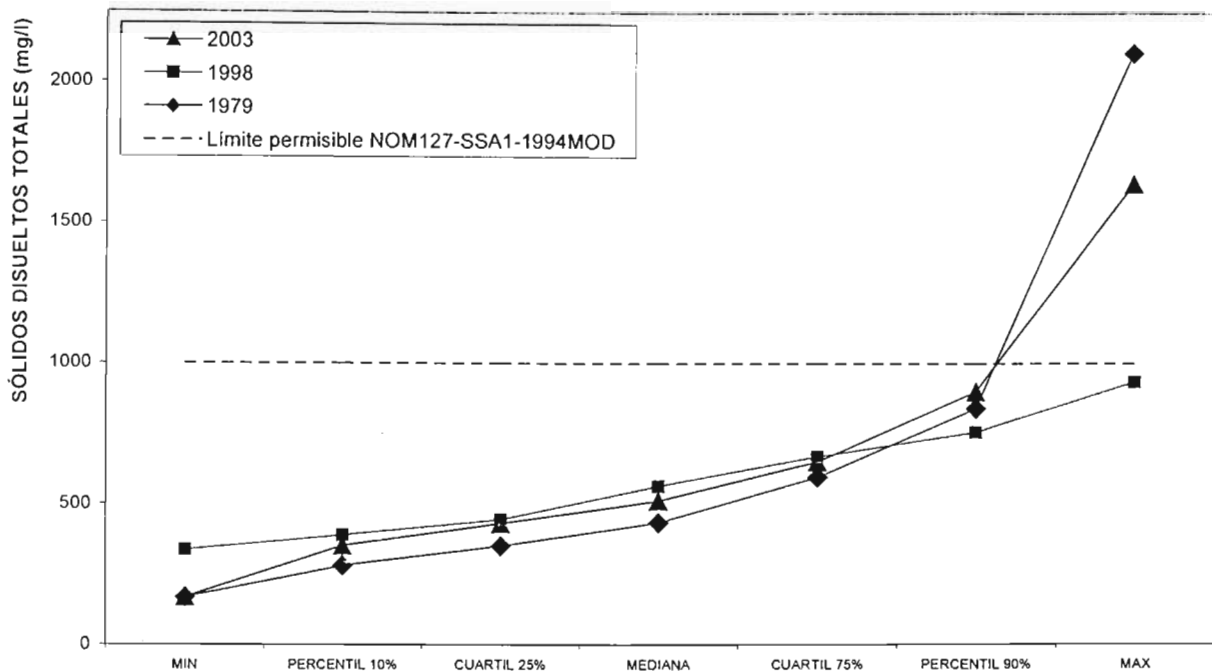


Figura 5.14. Concentración de sólidos disueltos totales en la comparación regional

Por su parte, el cloruro presenta aumento en sus concentraciones a nivel regional de 1979 a 1998, pero de 1998 a 2003 se ven disminuidas las concentraciones a tal grado que son menores que las concentraciones de 1979 (figura 5.15). Siendo los resultados consistentes con lo mencionado en 2003, en el cual se confirma que la variación de la calidad del agua se debió a que en algunas zonas se irrigaba con aguas residuales principalmente, pero la extracción de agua subterránea agotó esa zona contaminada, por lo que para el año de 2003 se detecta una disminución de las concentraciones de cloruro. Se presentan 2 aprovechamientos en cada uno de los estudios de 1979 y 2003, por arriba del límite permisible para consumo humano.

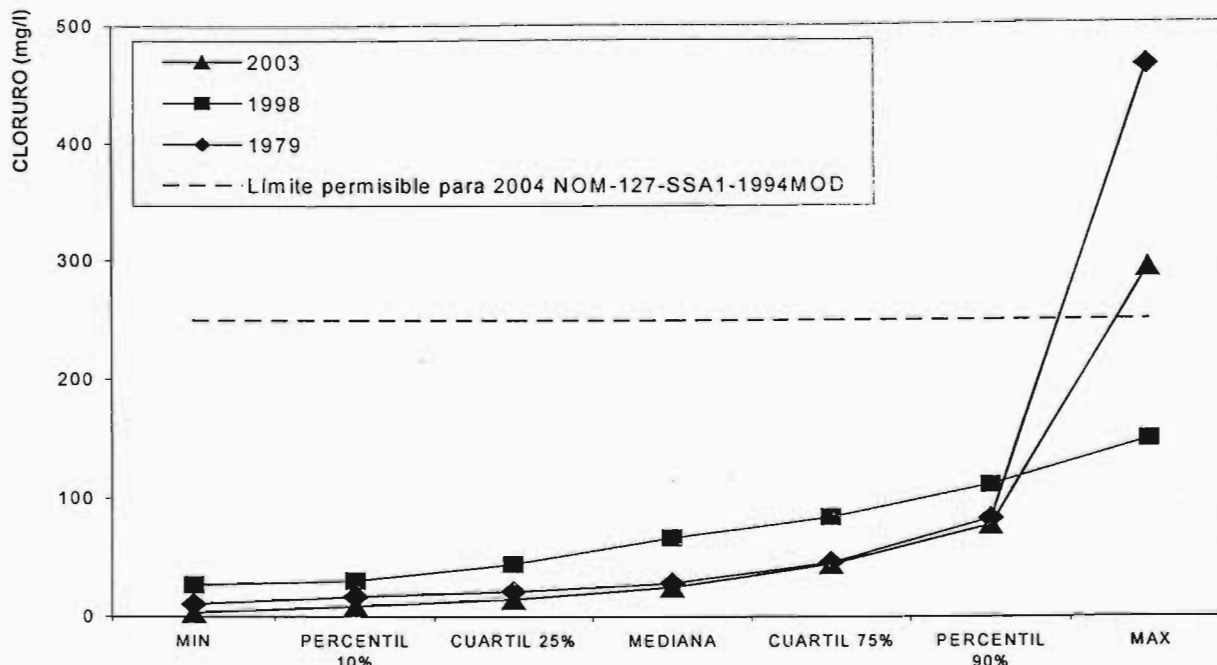


Figura 5.15. Concentración del cloruro en la comparación regional

Como información complementaria se presenta la piezometría medida en los estudios de 1979 y 1998, y de los monitoreos realizados por la CEAG en época de lluvias de 2002 y estiaje de 2003 en los pozos piloto del Acuífero Irapuato-Valle (figuras 5.16 y 5.17).

Se observa que la mayor variación se presentan en 1979 y 1998, en ambas épocas, tanto de estiaje como de lluvia. Se observa un descenso de 24.7 m promediando los valores estadísticos desde la mínima hasta el percentil 90, por lo que implica un abatimiento del acuífero del orden de 1.3 m/año; aunque en el balance de agua subterránea realizado en 1998 obtiene un abatimiento promedio anual de 1.47m.

De 1998 a 2003 en temporada de estiaje, se observa un mayor abatimiento que en la temporada de lluvia. En estiaje, el abatimiento promedio es de 13.4 m, mientras que para la temporada de lluvias es de 6.3 m, lo que implica abatimientos del orden de 2.7 y 1.3 m/año respectivamente. Esto es debido a la recarga que ocurre en la época de lluvias. A pesar de que las extracciones han aumentado en los últimos años (capítulo 3), la CNA reporta como no sobreexplotado a este acuífero.

Aunado a esto, se presentaron lluvias extraordinarias que pudieron haber contribuido a la disminución de las concentraciones de los parámetros en los últimos años (de 1998 a 2003).

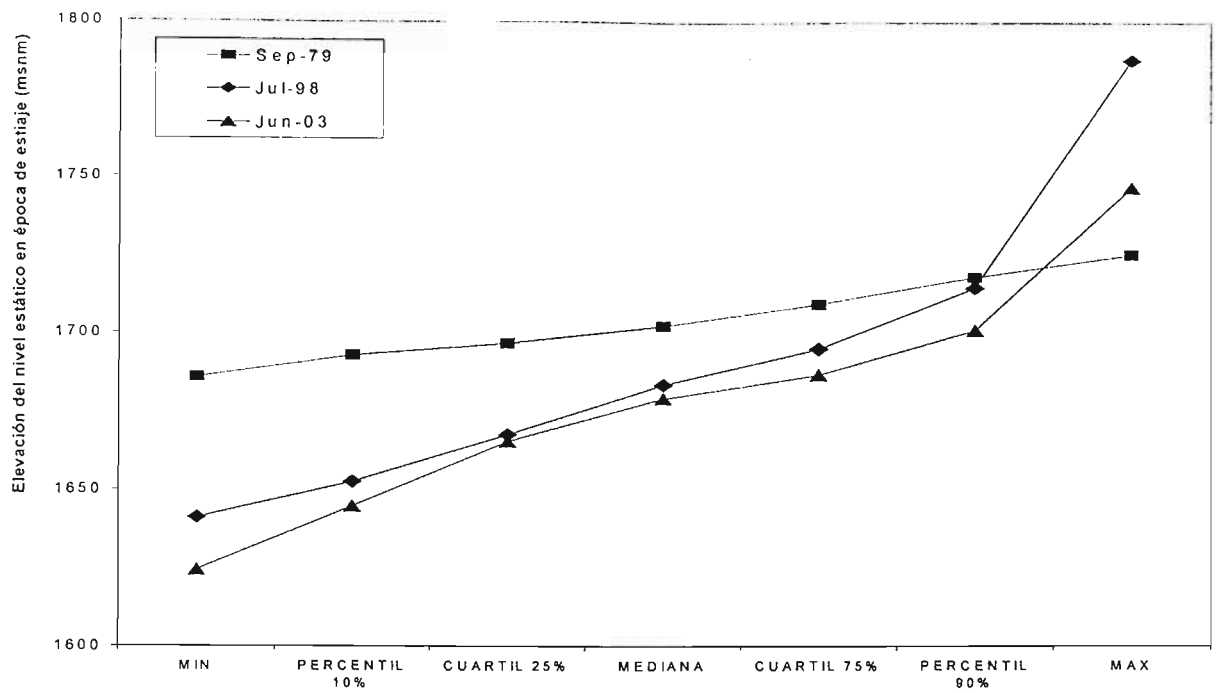


Figura 5.16. Elevaciones del nivel estático en época de estiaje a nivel regional

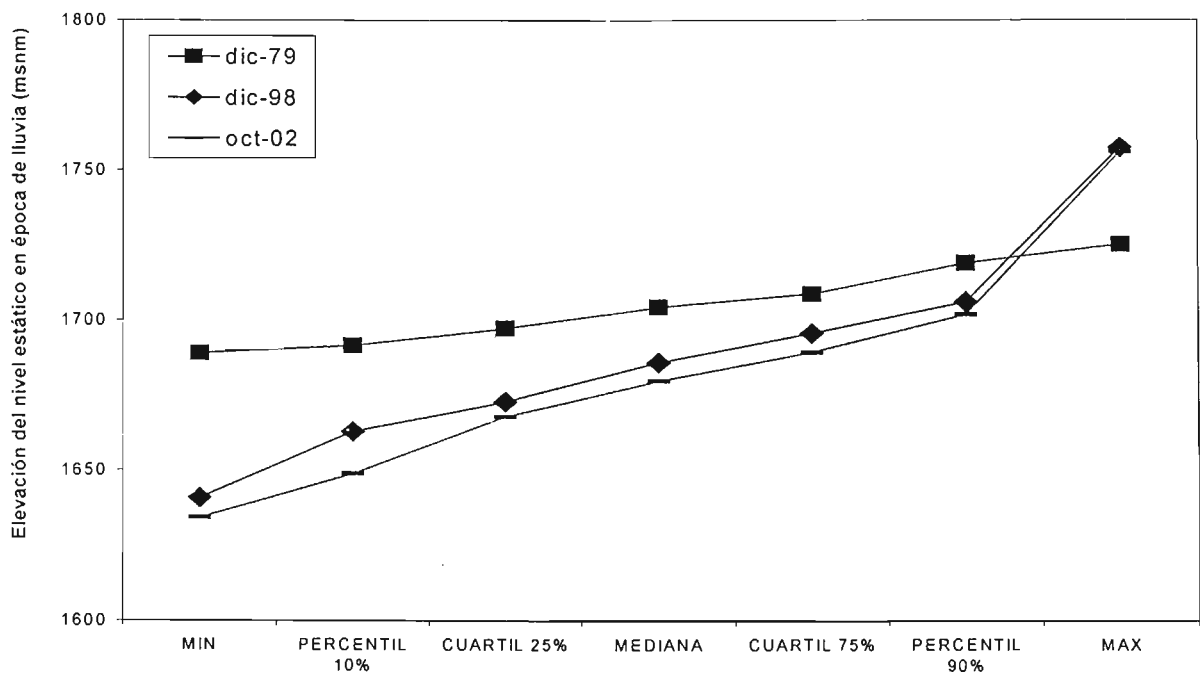


Figura 5.17. Elevaciones del nivel estático en época de lluvia a nivel regional

NIVEL LOCAL

De la misma manera que en el análisis a nivel regional se realizó la comparación de los muestreos realizados en las ciudades de Irapuato y Salamanca. En la tabla 5.56 se presentan los resultados del análisis de la calidad del agua subterránea en la zona urbana de Irapuato. En las primeras cuatro columnas, se realizó la comparación en orden creciente, mientras que en las últimas tres columnas se realizó entre diciembre de 2003 y las fechas anteriores de monitoreo.

Tabla 5.56. Resumen de la comparación local de Irapuato

Fechas	Abr-01	May-03	Nov-03	Dic-03	Dic-03	Dic-03	Dic-03
Parámetros	Abr-97	Abr-01	May-03	Nov-03	Abr-97	Abr-01	May-03
Conductividad eléctrica	o	o	o	o	>	o	o
pH				<	<	<	<
Temperatura			<		>		
Sólidos totales		o	o	o	o	o	o
Sólidos disueltos totales	o	<		>	o		>
Fluoruro	o		>		o		
Sulfato	>					<	<
Cloruro	o				o		
Nitrógeno en nitrato	>	>		<	>		<
Arsénico	o	o				o	
Dureza total							>
Hierro			<				
Manganeso	o	o				o	
Nitrógeno en nitritos	o	o				o	
Plomo	o	o				o	
Coliformes totales	o	<			o	<	
Coliformes fecales	o				o		
Cadmio	o	o		o	o	o	o
Cianuro	o	o		o	o	o	o
Cromo	o	o		o	o	o	o
Mercurio	o	o		o	o	o	o

NOTA:

>
<
o

No hay variación significativa
 Se presenta aumento en el parámetro
 Se presenta disminución en el parámetro
 No se realizó prueba

Analizando los resultados se observa que de abril de 1997 a abril de 2001 se presentó aumento en los valores de sulfato y nitrógeno en nitrato.

Los resultados de la comparación de abril de 2001 a mayo de 2003, son los siguientes; se presentó incremento en el parámetro nitrógeno en nitratos; y, por el contrario, se presentó disminución en los parámetros: sólidos disueltos totales y coliformes totales.

La comparación realizada de mayo de 2003 a noviembre de 2003 presenta los siguientes resultados. Se presenta disminución en los valores de temperatura y hierro; mientras que solamente se incrementó el fluoruro.

Entre noviembre de 2003 y diciembre de 2003 no debería presentar diferencia en los parámetros medidos, ya que prácticamente los dos monitoreos se realizaron en la misma época, después de lluvias y prácticamente en las mismas fechas. No obstante en el monitoreo de noviembre se consideraron 62 aprovechamientos, mientras que en el de diciembre solamente 14. Se presentó incremento en sólidos disueltos totales y, por el contrario, se presentó disminución en los valores de pH y nitrógeno en nitratos.

De la comparación del monitoreo de diciembre de 2003 con las fechas anteriores se observan lo siguiente. En la comparación con abril de 1997 se presenta incremento en los valores de conductividad eléctrica, temperatura y nitrógeno en nitrato; por el contrario disminuyó el pH. En la comparación con abril de 2001 no se presentan incrementos; se presentó disminución en los parámetros: pH, sulfato, y coliformes totales. En la comparación con mayo de 2003 se presenta incremento en sólidos disueltos totales y dureza total; Al mismo tiempo se presentó disminución en los valores de pH, sulfato y nitrógeno en nitrato.

De los análisis de la comparación local, se obtiene que de 1997 a 2001 se mantuvieron sin variación o aumentaron las concentraciones comparadas. Pero de 2001 a 2003 se mantuvieron sin variación o disminuyeron. Por lo que se observa un efecto general de disminución en las concentraciones de los parámetros similar al efecto que se observa en la comparación regional de 1998 con 2003. Pero observando un parteaguas en 2001 en algunos aprovechamientos, mientras que para otros la disminución se presenta hasta el último muestreo.

Al comparar con respecto a diciembre de 2003, las fechas de 1997 y mayo de 2003 presentaron valores menores. Con respecto a 1997 se puede observar que las concentraciones que han presentado disminución no son similares a las de 1997. Mientras que con la comparación con mayo, se podría considerar un efecto de las lluvias extraordinarias, debido a que los muestreos se realizaron justo antes y después de estos eventos.

El pH registrado en la comparación regional no presenta variación de 1998 a 2003, pero desde el punto de vista local en la ciudad de Irapuato se presenta una concentración muy baja de pH en el muestreo de

diciembre de 2003 (figura 5.18). Esto puede relacionarse directamente con el aumento de sales presentado en la misma fecha (figura 5.19). Comparando los resultados que se obtuvieron de mayo de 2003 con respecto a noviembre y diciembre de 2003 se observa que el efecto de las lluvias extraordinarias no se presenta en noviembre pero si en diciembre.

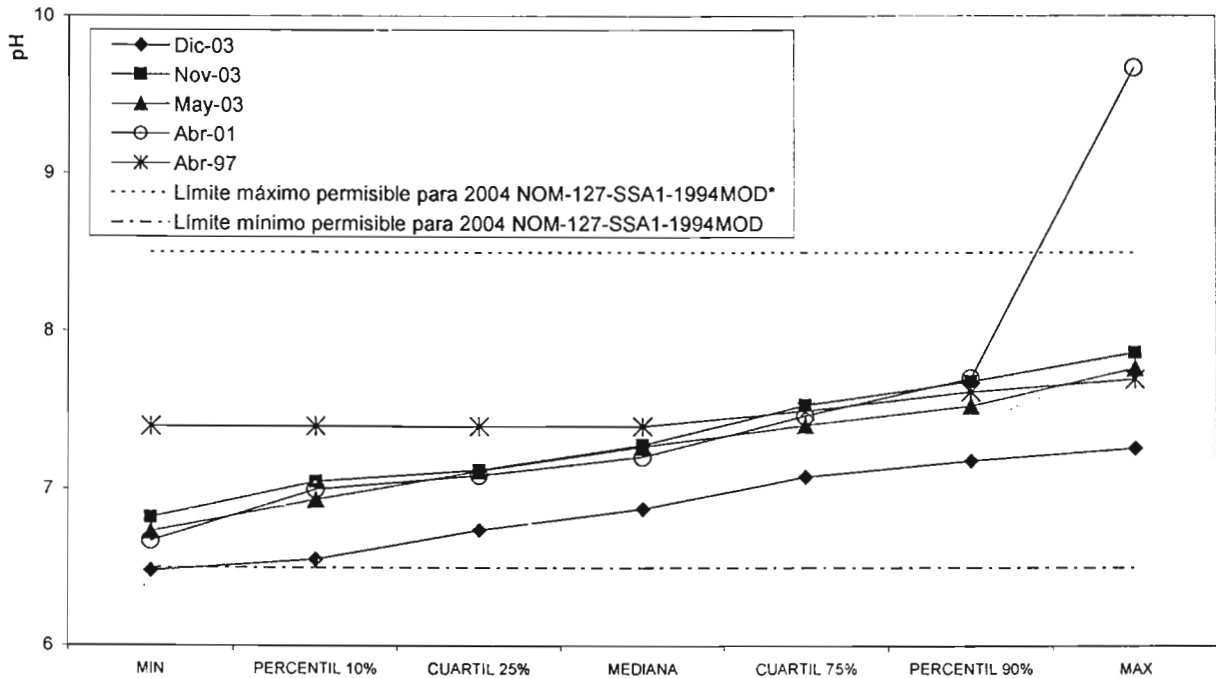


Figura 5.18. Concentración de pH en la comparación local de Irapuato

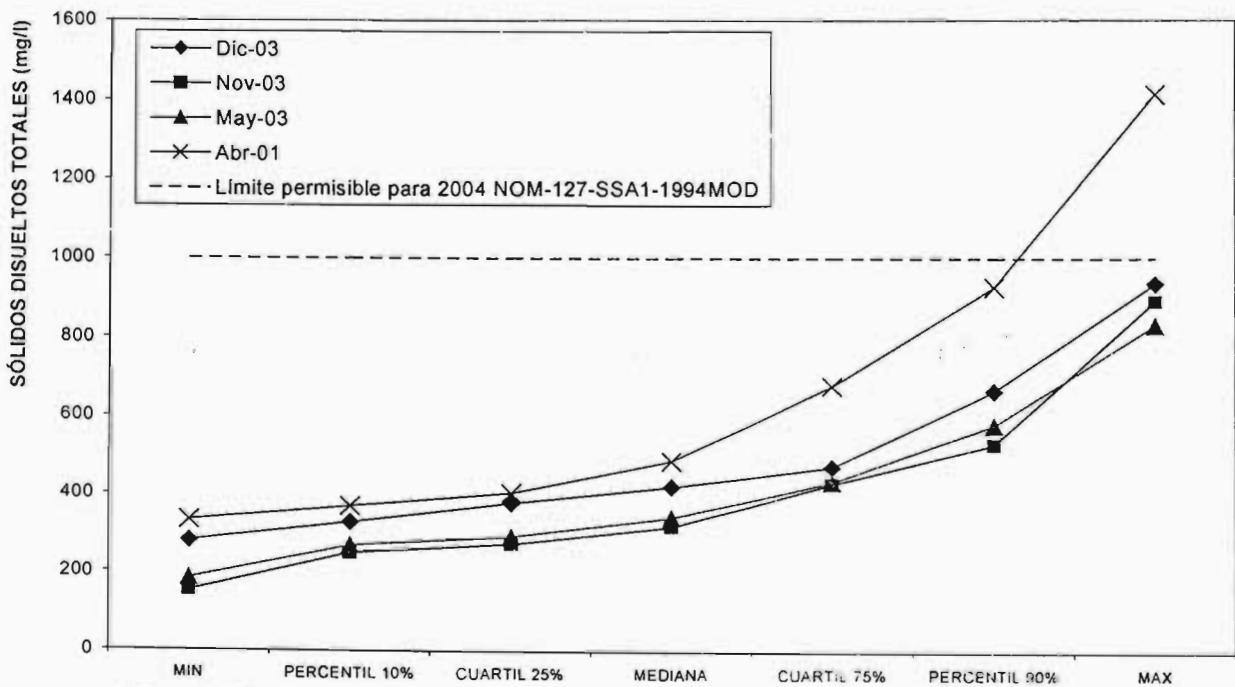


Figura 5.19. Concentración de sólidos disueltos totales en la comparación local de Irapuato

La concentración de sulfatos (figura 5.20) en el agua extraída en la zona de la ciudad de Irapuato presenta el siguiente comportamiento. De 1997 a 2001 presenta un incremento, de hecho, la máxima concentración registrada en éste parámetro. De ahí gráficamente se observa que la concentración de sulfato disminuyó paulatinamente de hecho en los resultados de las comparaciones, no se presenta variación de 2001 a 2003. La concentración de diciembre de 2003 se presenta menor a mayo de 2003 y a abril de 2003, de hecho en la comparación con 1997 se presenta sin variación, por lo que este parámetro es un reflejo de los eventos extraordinarios.

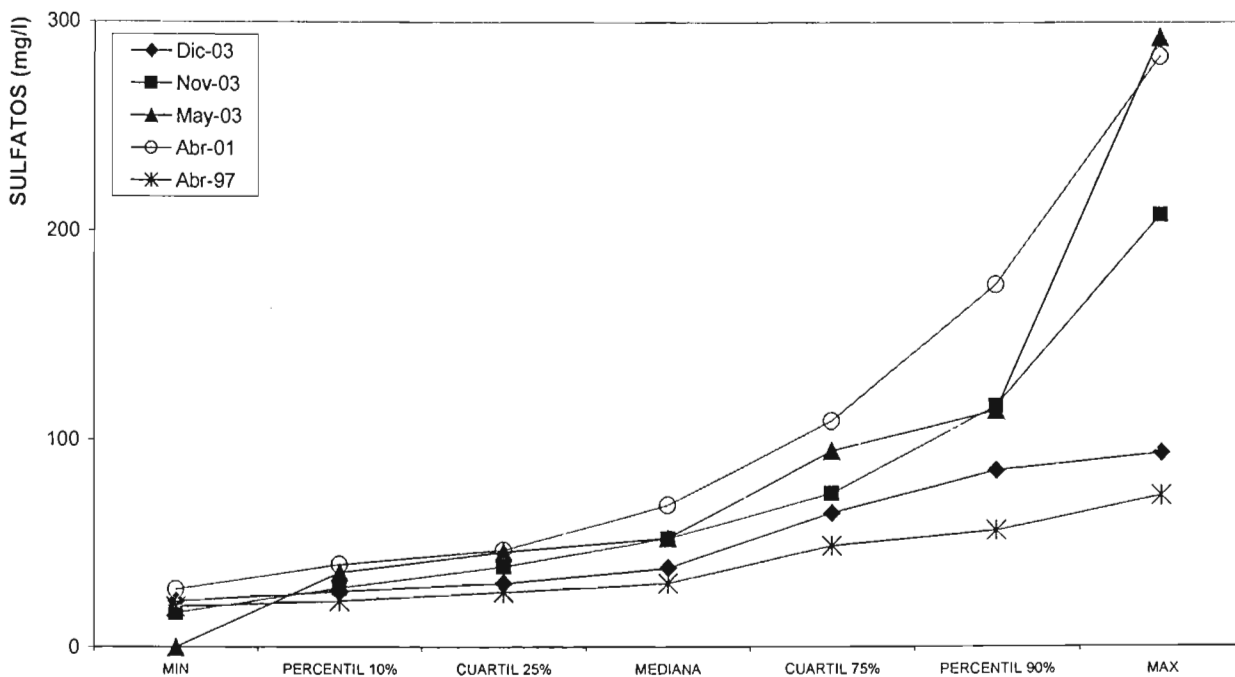


Figura 5.20. Concentración de sulfato en la comparación local de Irapuato

El comportamiento de las comparaciones realizadas al nitrógeno en nitrato (figura 5.21) presentan el siguiente comportamiento.

Se muestra una evolución en la cual se inicia con un muestreo en 1997 con valores muy bajos, después al comparar con 2001 se presenta un aumento, en el cual se llegan a presentar valores hasta por arriba del límite de detección, pero para el muestreo de mayo de 2003 se presentó el mayor aumento de la concentración de nitrógeno en nitrato.

En la comparación entre mayo y noviembre de 2003 no presenta variación estadísticamente, aunque en la figura 5.21 se observan concentraciones disminuyendo. Y por último la concentración medida en diciembre de 2003 disminuyó con respecto de mayo y noviembre de 2003 y gráficamente se observa con concentraciones por debajo de abril de 2001 pero arriba de las concentraciones de abril de 1997.

Lo cual implica también un comportamiento como el mencionado en la comparación regional de 1998 y 2003. Se puede interpretar como un disolución de los compuestos que originan el nitrato como son fertilizantes, aguas residuales, etc. ubicados en la superficie del terreno.

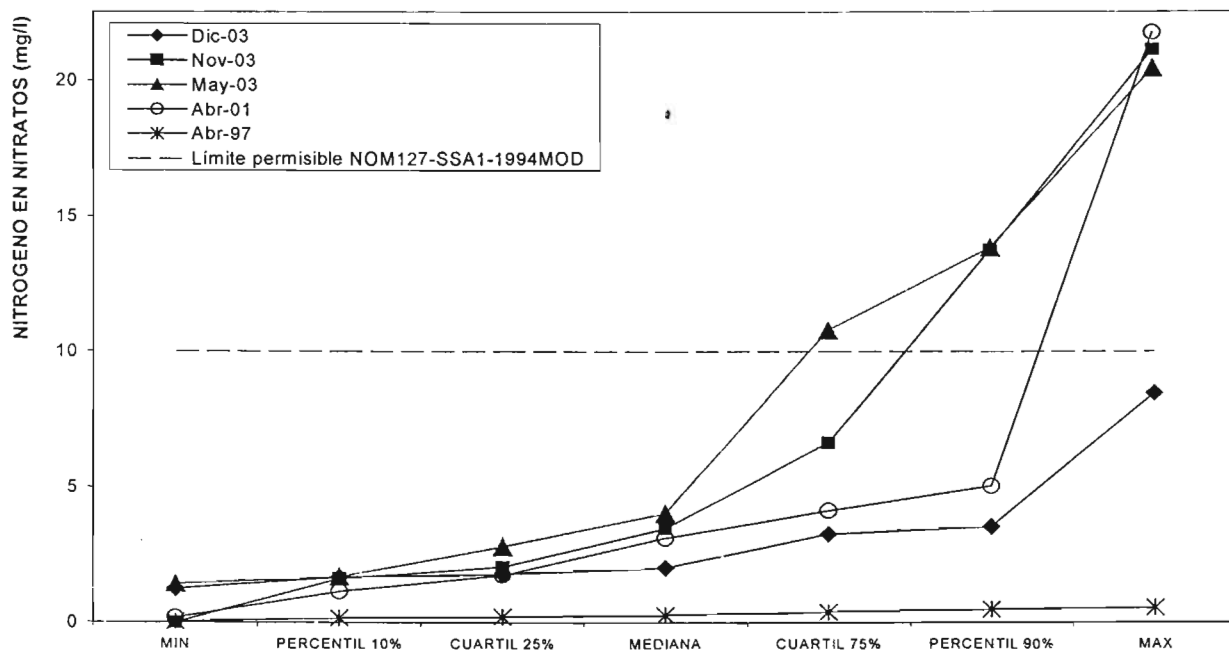


Figura 5.21. Concentración de nitrógeno en nitratos en la comparación local de Irapuato

Los resultados del análisis local de Salamanca se presentan en la tabla 5.57. En las primeras tres columnas, se realizó la comparación en orden creciente, mientras que en las últimas dos columnas se realizó entre diciembre de 2003 y las fechas anteriores de monitoreo.

Tabla 5.57. Resumen de la comparación local de Salamanca

Fecha	May-01	Jul-03	Dic-03	Dic-03	Dic-03
Parámetro	Ago-97	May-01	Jul-03	Ago-97	May-01
Conductividad eléctrica	>			>	
pH	>	<	<	<	<
Temperatura					
Sólidos disueltos totales	>	<			
Sodio	o	o	<	o	o
Fluoruro	o			o	
Sulfato	>			>	
Cloruro	<		>		>
Nitrógeno en nitrato	>	<		>	<
Arsénico	o	o	<		o
Dureza total		o	o	>	>
Hierro	>	<			<
Manganeso	o	o			o
Nitrógeno en nitrito		o	o	<	>
Plomo	o	o	>	>	o
Fenoles	o	o		o	o
Coliformes totales	o	>		o	<
Coliformes fecales	o	<		o	

NOTA:

>
<
o

No hay variación significativa

Se presenta aumento en el parámetro

Se presenta disminución en el parámetro

No se realizó prueba

Se observa que de agosto de 1997 a mayo de 2001 aumentó la conductividad eléctrica, pH, sólidos disueltos totales, sulfato, nitrógeno en nitrato y hierro; se presentó disminución en los valores de cloruro.

En la comparación realizada de mayo de 2001 a julio de 2003, se presentó aumento en los valores de coliformes totales. Mientras que se presentó disminución en los parámetros de pH, sólidos disueltos totales, nitrógeno en nitrato, hierro y coliformes fecales.

Mientras que en la comparación entre julio de 2003 y diciembre de 2003, se presentó aumento en los parámetros de cloruro y plomo; y se presentó disminución en los valores de pH, sodio y arsénico.

Al realizar la comparación entre los monitoreos anteriores con respecto a diciembre de 2003 se presentó lo siguiente: comparando con agosto de 1997 se presentó aumento en los valores de conductividad eléctrica, sulfato, nitrógeno en nitrato, dureza total y plomo, por el contrario, se presentó disminución en los valores de pH y nitrógeno en nitritos. Con respecto a mayo de 2001, se presentó incremento en los

valores de cloruro, dureza total y nitrógeno en nitrito; se presentó disminución en los valores de pH, nitrógeno en nitratos, hierro y coliformes totales.

Los resultados de la comparación en Salamanca se observa que se presenta un efecto similar en las comparaciones realizadas en la ciudad de Irapuato, ya que de 1997 a 2001, la mayoría de los parámetros aumentaron sus concentraciones, pero de 2001 a 2003 se presentó una disminución en las concentraciones del agua subterránea. Al realizar la comparación de las fechas de muestreo más antiguas con respecto a 2003 se observa que la tendencia de disminución que se ha presentado no es tan favorable en la mayoría de los parámetros, que se alcancen las concentraciones reportadas en 1997, aunque con respecto a 2001, se presentan algunas concentraciones aumentadas o otras disminuidas.

En el caso del pH (figura 5.22) las concentración presenta aumento de 1997 a 2001, pero de ahí a 2003 se disminuye bastante que alcanza valores por debajo de los reportados en 1997. Para esto caso esta disminución no se puede relacionar directamente con el aumento de sales, ya que estadísticamente no se presento dicho aumento (figura 5.23). Aunque las concentraciones de sólidos reportadas son mayores que en la comparación local de Irapuato.

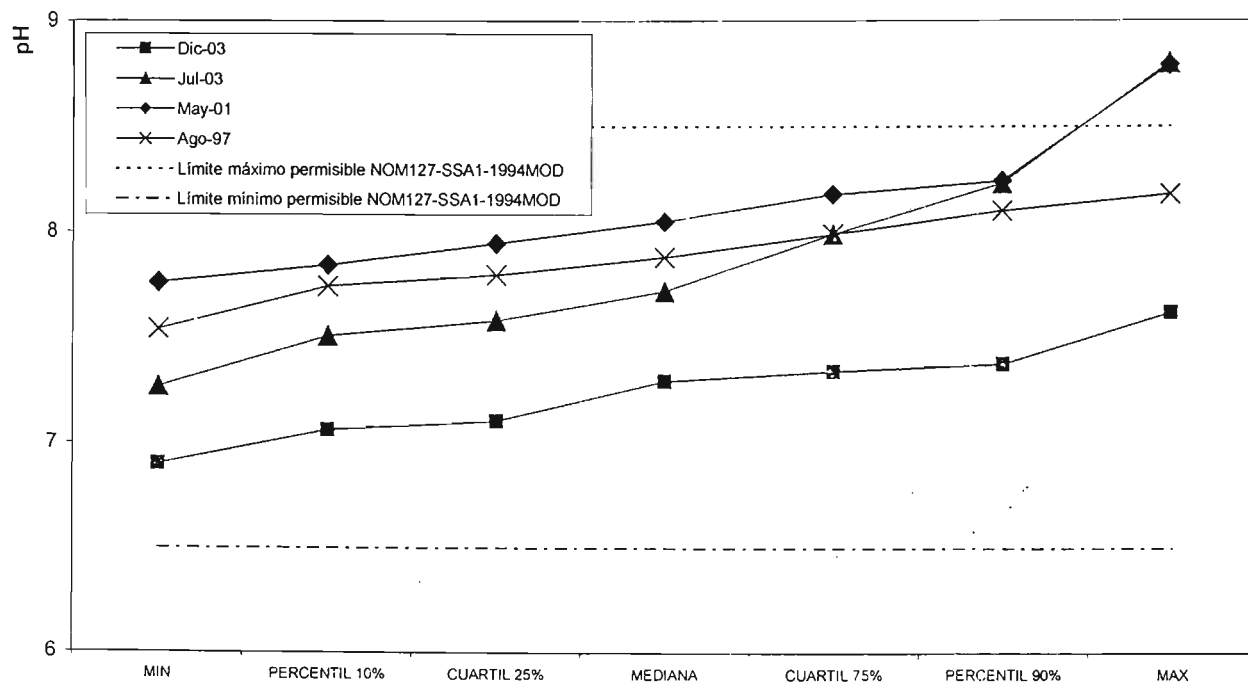


Figura 5.22. Concentración de pH en la comparación local de Salamanca

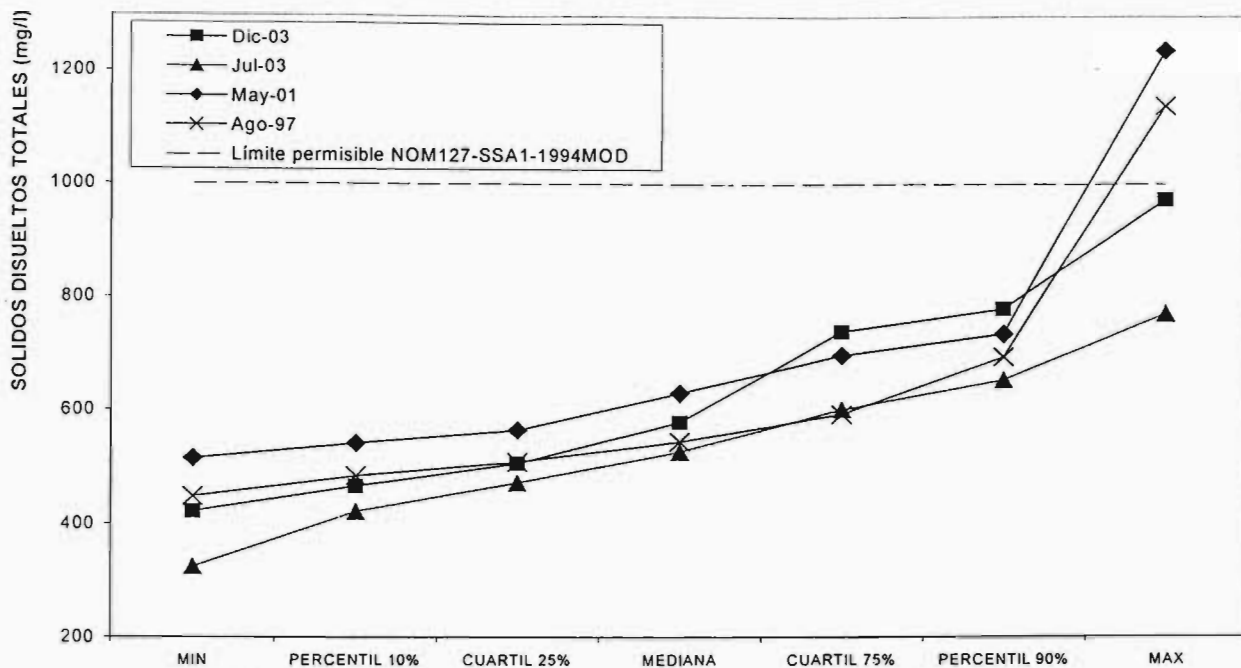


Figura 5.23. Concentración de sólidos disueltos totales en la comparación local de Salamanca

En el caso de la temperatura se presenta sin variación en todos los monitoreos. Observando los valores de temperatura presentados en la figura 5.24, se puede encontrar una relación con la concentración de sólidos disueltos totales. Desde 1997 se presentan valores constantes de temperatura y en cuanto a la concentración de sólidos se puede decir que también presentan un comportamiento regular.

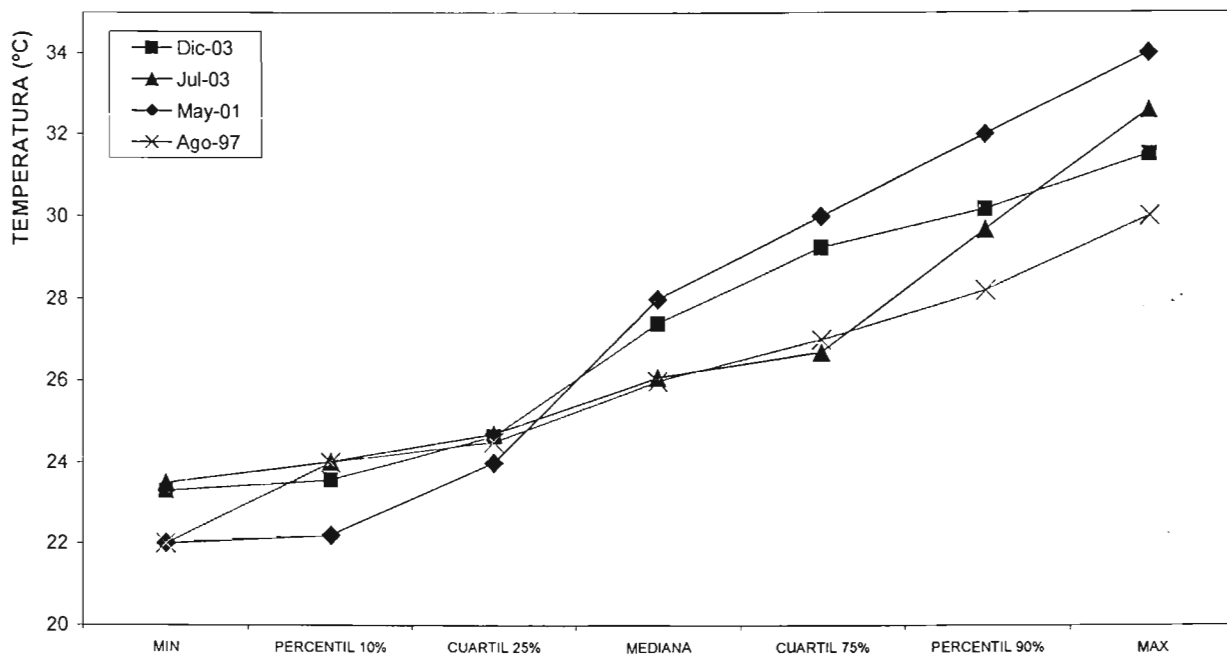


Figura 5.24. Variación de la temperatura en la comparación local de Salamanca

El cloruro (figura 5.25) se comportó de manera diferente a la mayoría de los parámetros. De 1997 a 2001 fue el único en disminuir de concentración. De julio a diciembre de 2003, junto con el plomo, aumentaron las concentraciones, tanto que son las mayores concentraciones registradas del cloruro en Salamanca. Aun así, las concentraciones registradas en 2003 se consideran bajas debido a que la fuente de este parámetro para esta zona de estudio consideró de origen atmosférico (CNA, 2003).

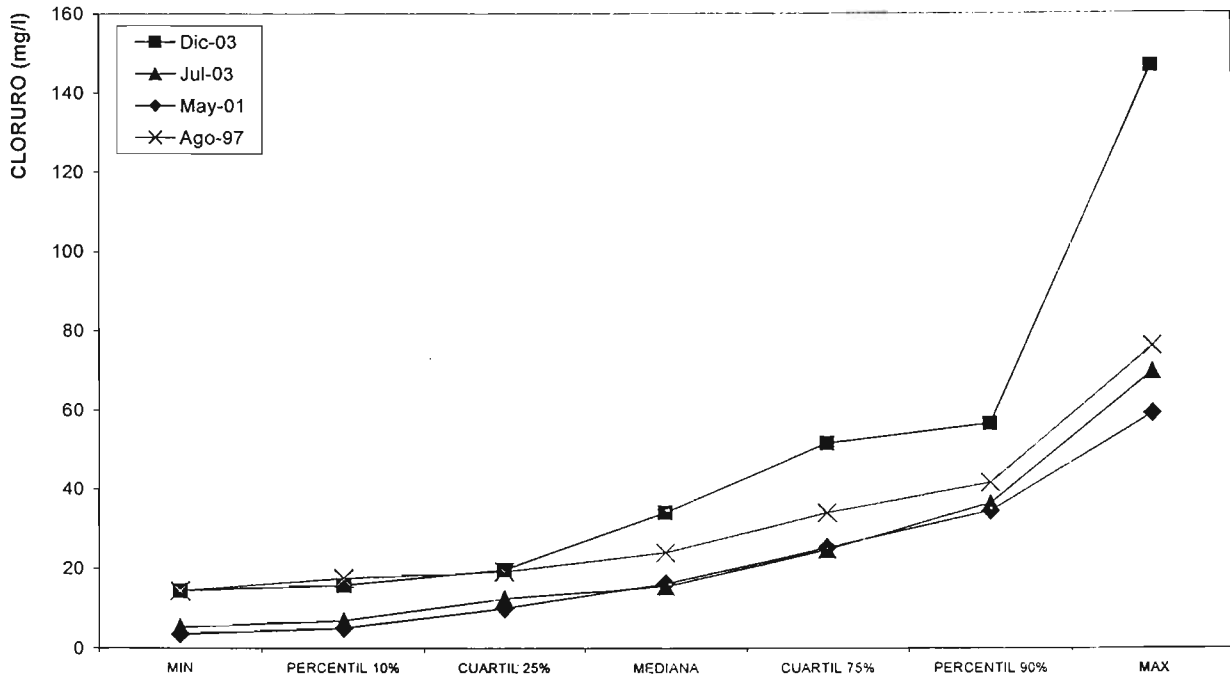


Figura 5.25. Concentración del cloruro para la comparación local de Salamanca

La concentración del nitrógeno en nitrato (figura 5.26), presenta el comportamiento de la mayoría de los parámetros comparados en Salamanca. Aumenta la concentración de 1997 a 2001, de 2001 a julio de 2003 disminuye y de julio a diciembre de 2003, estadísticamente se presenta sin variación. La concentración de diciembre de 2003 no presenta valores pequeños como los reportados en 1997 pero tampoco presenta valores altos como los de 2001. Algunas concentraciones de 2001 y julio de 2003 se presentan por arriba del límite permisible. Las cuales puedan deberse sobre todo en 2001 a fuentes de contaminación como fertilizantes, aguas residuales, etc.

El comportamiento del nitrógeno en nitrato se presenta de manera similar con la comparación de Irapuato. De manera regional no se pudo obtener, pero este comportamiento registrado de 1997 a 2003 en ambas ciudades hace suponer que si se ha presentado un evento a nivel regional, con el cual las concentraciones se han visto alteradas para el monitoreo de diciembre de 2003.

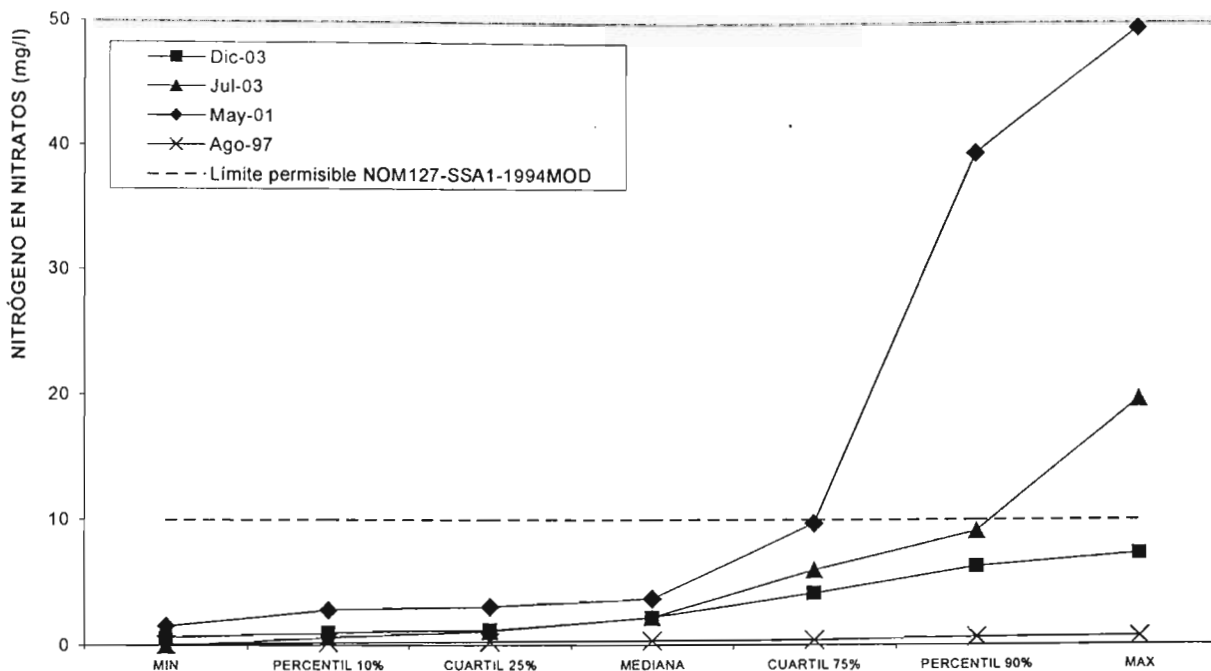


Figura 5.26. Concentración del nitrógeno en nitrato para la comparación local de Salamanca

5.4.2. EVOLUCIÓN ESPACIAL

El análisis de la evolución espacial consistió en comparar las zonas características del acuífero, como son las de control y las de desarrollo. Además para constatar la representación de cada zona se realizaron comparaciones entre zonas de un mismo tipo a través de los parámetros medidos. El sistema de representación de resultados continua igual, aunque ahora en la escala espacial. En los resúmenes siguientes, el aumento o disminución que se presenta se realizará con respecto a las zonas de control. En el caso de las comparaciones de zonas de un mismo tipo, el aumento o disminución será con respecto a la primer zona mencionada.

MUESTREO DE 1979

Los resultados de las comparaciones realizadas entre las zonas de control y las de desarrollo se presentan en la tabla 5.58. Este tipo de comparación también se realizó con un nivel de significancia de 0.05, por lo que los resultados se obtienen con un 95% de certidumbre.

Tabla 5.58. Resumen de la comparación espacial de 1979

ZONA	UN	AN	AS	UN	AN	AW	AS	ZE	AN	AS
Parámetro	CN			CW			CSE		CE	
Temperatura								>	<	<
Conductividad eléctrica										>
Sólidos disueltos totales										>
Calcio	>							<	>	>
Magnesio									>	>
Sodio									<	
Potasio						>		>	<	<
Bicarbonato									>	>
Carbonato										
Sulfato	>								<	<
Cloruro	>		>							>

NOTA:

>
<

No hay variación significativa

Se presenta aumento en el parámetro

Se presenta disminución en el parámetro

En términos generales, se infiere que la calidad del agua subterránea no presenta una diferencia significativa entre las zonas desarrolladas con respecto a las zonas de control, excepto la comparación entre Control Este (CE) con las zonas Agrícolas Norte y Sur (AN y AS).

Al comparar las zonas desarrolladas con respecto a la zona de Control Este (CE), se observan muchos cambios en las concentraciones comparadas; no hay variación en los valores del carbonato. Se presentó incremento en la zona Agrícola Norte (AN) en los parámetros: calcio, magnesio y bicarbonato; y, por el contrario, se presentó disminución en los parámetros: temperatura, potasio y sulfato. En la zona Agrícola Sur (AS) también aumentaron la conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales y el cloruro con respecto a la zona de Control Este (CE).

La región de Control Este (CE) se presenta de manera diferente a la mayoría de las comparaciones entre zonas de control y desarrollo. En base a los resultados se infiere que hay una relación directa de la zona de Control Este (CE) con respecto a la zona Agrícola Sur (AS) ya que los parámetros que aumentaron lo hacen con la dirección del flujo proveniente de la recarga este, pero al observar la configuración del nivel estático de 1979 se ve la afectación de la explotación en la zona de control Este (CE) debido a que el flujo ocurre de la zona Agrícola Sur (AS) hacia la de Control Este (CE). Con respecto a la zona Agrícolas Norte (AN) no se observa relación, en el sentido en que se tenga flujos de una a otra zona.

La variación que se presenta al comparar la zona de Control Norte (CN) con respecto a la zona Urbana Norte (UN) indica que se aumentó el calcio, el sulfato y el cloruro. Con respecto a la zona Agrícola Sur (AS) también se observa un aumento en el cloruro. Este aumento de cloruro en las zonas desarrolladas se deba probablemente a la irrigación con aguas residuales, lo cual se manifestó también en la comparación temporal.

Al comparar la zona de Control Oeste (CW) con respecto a las zonas desarrolladas se observa solamente una diferencia significativa, en el potasio que aumenta su concentración en la zona Agrícola Oeste (AW). Este aumento probablemente tenga que ver con las prácticas de riego en las cuales el uso de fertilizantes incluye como componente al potasio.

Al comparar las zonas desarrolladas con respecto a la zona de Control Sureste (CSE) solamente se observan diferencias significativas con respecto a la Zona Especial (ZE), en la cual se observa que se presentó aumento en los valores de temperatura y en las concentraciones de potasio; al contrario, disminuyeron las concentraciones de calcio. El aumento de temperatura y potasio en la zona especial sugiere un origen de tipo natural debido a la composición geológica de la zona.

En términos generales la variación de la calidad del agua subterránea para 1979 no se afectó por las zonas desarrolladas, lo cual se corrobora por que en el muestreo de 1979 los parámetros no rebasan los límites permisibles de calidad para uso y consumo humano. Aunque de manera local se observa una afectación en la zona Urbana Norte (UN) en la cual aumentaron los valores de sulfato y cloruro con respecto a la zona de Control Norte (CN). Este hecho se relaciona con las practicas del riego con agua residual en 1979 que afectan a esa zona; otro caso particular se presenta en la Zona Especial (ZE) en la cual se presenta un aumento de temperatura y de potasio con respecto a la zona de Control Sureste (CSE) el cual ya se ha inferido que el aumento de estos parámetros se deba a origen natural.

Los resultados con respecto a la comparación entre zonas de mismo tipo se presentan en la tabla 5.59.

Tabla 5.59. Resumen de la comparación entre zonas de mismo tipo de 1979

ZONA	CN	CN	CSE	AN	AN	AW	ZE	ZE	ZE
Parámetro	CW	CE	CE	AW	AS	AS	AN	AS	AW
Temperatura			<						>
Conductividad eléctrica			>				>		
Sólidos disueltos totales			>				>		
Calcio	<		>				<	<	
Magnesio			>	<			>		
Sodio							>		
Potasio			<	<			>	>	
Bicarbonato		>	>	<					<
Carbonato							>		
Sulfato		<			>			>	
Cloruro				<	<		>		

NOTA:

>
<

No hay variación significativa

Se presenta aumento en el parámetro

Se presenta disminución en el parámetro

Al comparar las zonas de control que se encuentran hacia el norte y oeste del acuífero (CN y CW) se observa que no hay diferencia significativa entre ambas zonas de control. Solamente se presenta un valor menor en la concentración de calcio en la zona de Control Norte (CN). Lo cual indica que el flujo proveniente de estas zonas contiene características similares, las cuales podríamos considerar como zonas de recarga.

Al comparar las zonas de Control Norte (CN) con respecto a la zona de Control Este (CE), son mayores las concentraciones de bicarbonato, pero al contrario son menores las del sulfato.

Al comparar la zona de Control Sureste (CSE) con respecto a la zona de Control Este (CE) se observan valores menores en la temperatura y el potasio; por el contrario, se presentan valores mayores en los parámetros de conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, calcio, magnesio y bicarbonato en la zona de Control Sureste (CSE).

Al comparar las zonas agrícolas se observa que las mayores diferencias se presentan en la comparación entre la zona Agrícola Oeste (AW) con respecto a la Agrícola Norte (AN), presentando valores más altos de magnesio, potasio, bicarbonato y cloruro en la zona Agrícola Oeste (AW).

Al comparar las zonas Agrícola Norte (AN) con respecto a la Agrícola Sur (AS), se presenta valores mayores de sulfato y menores de cloruro en (AN).

En la comparación entre las zonas Agrícola Oeste (AW) y Agrícola Sur (AS) no se presentan variaciones en los parámetros.

Se realizó una comparación entre las zona Agrícolas (AN, AS y AW) con respecto a la Zona Especial (ZE) debido a que en la (ZE) también se cuenta con desarrollo de tipo agrícola. Se observa que con respecto a la zona Agrícola Norte (AN) se presentan muchas variaciones, en la (ZE) hay mayores concentraciones de conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, magnesio, sodio, potasio, carbonato y cloruro; y solamente se presenta menor concentración de calcio. Con respecto a la zona Agrícola Sur (AS) se presenta mayor concentración de potasio y sulfato en la (ZE); y también presenta menor concentración de calcio. Con respecto a la zona Agrícola Oeste (AW) se presenta mayor temperatura y menor concentración de bicarbonato en la (ZE).

En La descripción anterior se observa que de manera general no se presentan muchas variaciones entre las zonas comparadas. Sin embargo en la zonas de Control Sureste (CSE) se observaron muchas variaciones con respecto la de Control Este (CE), por lo cual se infiere que efectivamente se presentan al menos dos regiones de recarga, con sus distintas afectaciones de origen natural. Con respecto a la Zona Especial (ZE), también se observa una clara diferencia entre las características del agua que circula por esa zona y por la Agrícola Norte (AN), pudiéndose deber al mismo hecho que afecta a las zona de control. En el caso de la zona Agrícola Norte (AN) y Control Norte (CN) se presentó flujo en ambas direcciones entre estas dos zonas, por lo que se puede inferir que la zona de control recargaba a la agrícola debido a que no se presentaron diferencia significativas en ningún parámetro. En el caso de la Zona Especial (ZE) se observa una recarga principal desde la zona de Control Sureste (CSE), por lo que aunado a los parámetros que se presentaron mayores en (ZE) al comparar estas dos zonas, se presentan también los parámetros altos en la (CSE) al ser comparada con (CE).

Analizando los parámetros que tuvieron más variaciones en la comparación espacial de 1779 se presenta lo siguiente.

La zona de Control Este (CE) presenta las mayores temperaturas en la zona de estudio (figura 5.27) por lo que se le puede atribuir a un origen de tipo natural (termalismo), de hecho en las zonas Agrícolas Norte y Sur (AN y AS) estadísticamente se presentan valores menores. De la misma manera la Zona Especial (ZE) presenta valores altos de temperatura con respecto a la zona de Control Sureste (CSE) y la zona Agrícola Oeste (AW), pudiéndose deber al mismo origen, aunque para este caso al realizar la comparación

de la temperatura con respecto a las zonas Agrícolas Norte y Sur (AN y AS) no se presenta diferencia significativa, por lo que el problema del termalismo es mayor en la zona de Control Este (CE) (figura 5.28).

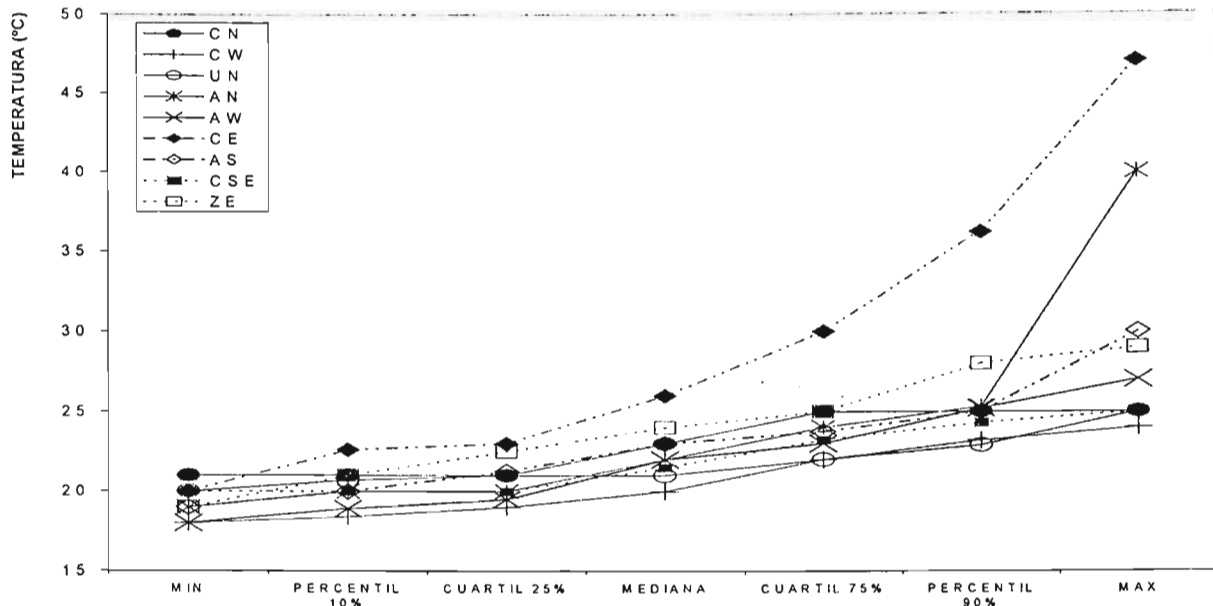


Figura 5.27. Valores de temperatura para la comparación espacial de 1979

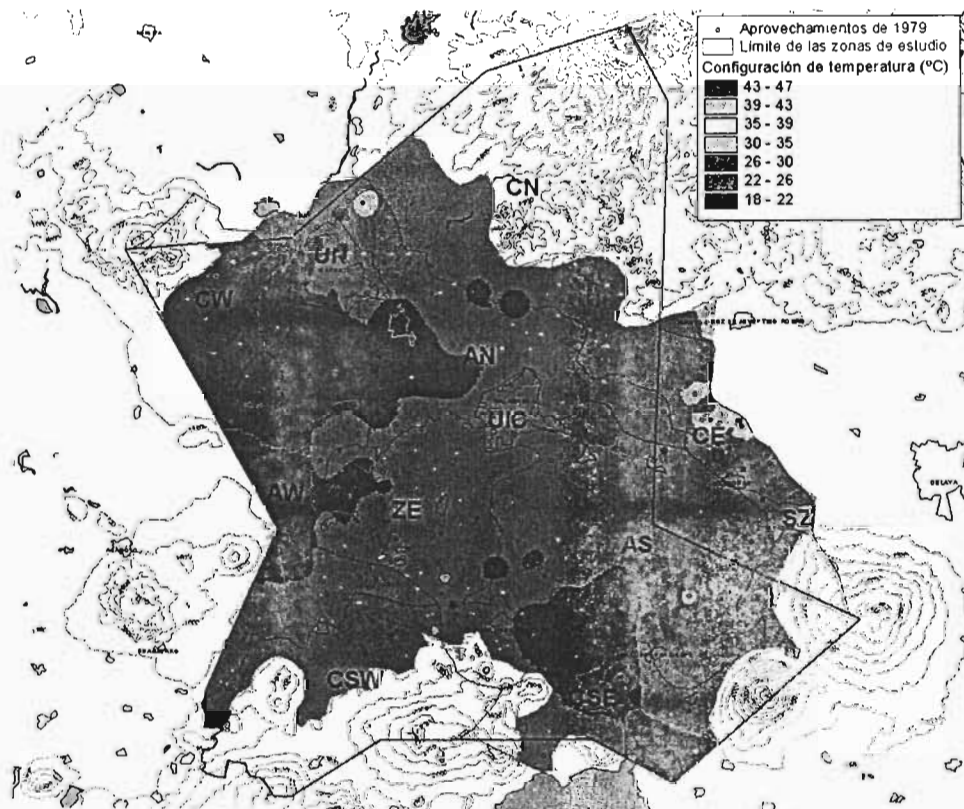


Figura 5.28. Configuración de la temperatura de 1979

Debido a que la concentración de sólidos disueltos totales es un indicador general de la calidad del agua se consideró para analizarlo. Aunque en la mayoría de las comparaciones no se presentó variación, con excepción de las comparaciones entre las zonas de Control Este (CE) con la Agrícola Sur (AS) y Control Sureste (CSE), y entre la Zona Especial (ZE) y la Agrícola Norte (AN) (figura 5.29). Las zonas donde se presentan menores concentraciones son: CE, CN, CW, y AN y las zonas que presentan mayores concentraciones son: CSE, ZE, AS, UN Y AW (figura 5.30). Por un lado, en base a la diferencia que se presenta entre las zonas (CE) < (CSE) se observan dos frentes de recarga. La zona de recarga norte, con bajos contenidos de sólidos disueltos totales y la zona de recarga sur, la cual presenta altos contenidos de sólidos disueltos totales, presentado la misma tendencia con la comparación (ZE) > (AN). También se observa la zona de descarga en las zonas de desarrollo, mostrando las mayores concentraciones en la zona (AW), seguida de la zona Urbana Norte (UN).

Con respecto a las comparaciones entre las zonas (CE) y (AS), (CE) y (CSE) se presenta algo particular. Observando las figuras 5.27 y 5.28, en (CE) se presentan las mayores temperaturas, mientras que en (AS) y (CSE) no, por eso hay diferencia significativa. En sólidos disueltos totales ocurre lo contrario, en (CE) las concentraciones son las menores, pero en (AS) y (CSE) sucede lo contrario. Por lo que se puede considerar que en la zona de Control Este (CE) se presente probablemente contaminación natural. Y talvez en las zonas (AS) y (CSE) contaminación antropogénica. O al menos se puede inferir que el agua que circula en la zonas (AS) y (CSE) es la misma y muy diferente a la que circula en (CE).

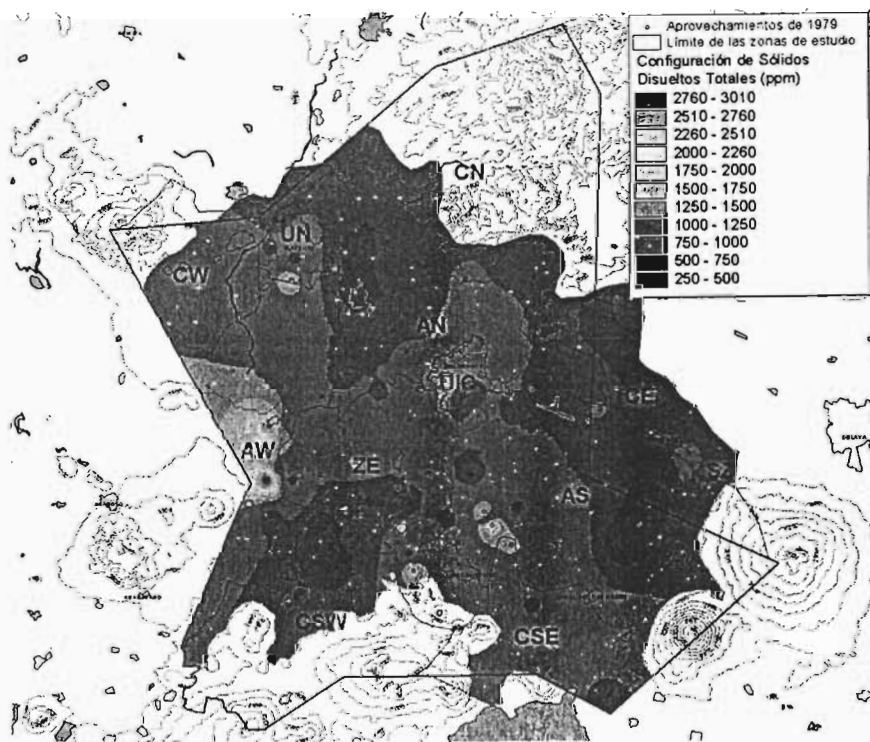


Figura 5.29. Configuración de sólidos disueltos totales de 1979

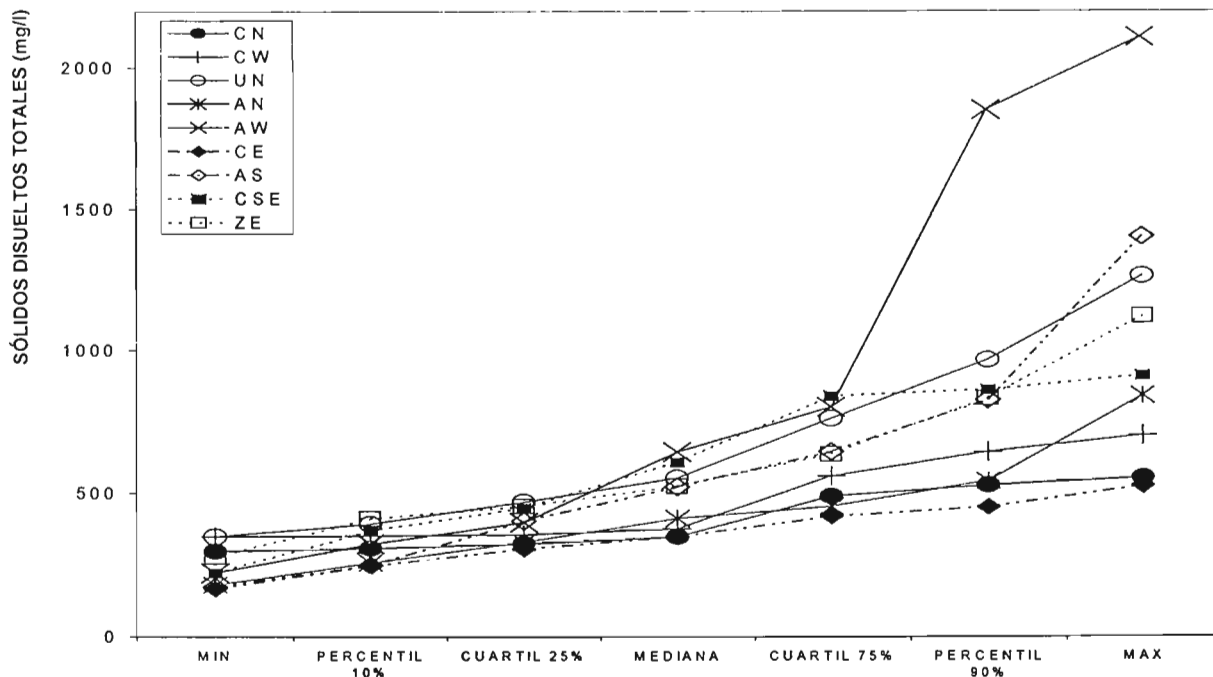


Figura 5.30. Concentración de sólidos disueltos totales para la comparación espacial de 1979

Con respecto a las variaciones del calcio (figura 5.31) presentadas entre las zonas de control y desarrolladas se observa un efecto diferente para cada zona de control. Con respecto a la zona de Control Norte (CN), las zona agrícolas (AN y AS) no presentan variación, pero en la zona Urbana Norte (UN) presenta incremento, es ahí donde se presentan los valores más altos de calcio. Con respecto a la zona de Control Este (CE) se presenta incremento en las zonas desarrolladas (AN y AS). Por el contrario con la zona de Control Sureste (CSE) se presenta disminución con respecto a la Zona Especial (ZE) y sin variación con respecto a la zona Agrícola Sur (AS). Por lo que se puede decir, que se presentan fuentes de calcio en la porción noroeste y sureste del acuífero.

En las comparaciones de un mismo tipo, las zonas de Control Norte y Este (CN y CE) presentan menores concentraciones con respecto a las zonas de Control Oeste y Sureste (CW y CSE), y en la zona especial (ZE) se presentaron menores concentraciones de calcio, con respecto a las zonas Agrícolas Norte y Sur (AN y AS). Por lo que podemos decir que en las zonas CN, CE y ZE, las cuales podrían presentar problemas por termalismo y que además cuentan con valores menores de sólidos disueltos totales, presentan las concentraciones más bajas de calcio.

Por otro lado podría analizar al calcio con la definición de la dureza total es la suma de los iones que pueden precipitar como "partículas duras", por lo que incluye a la suma de la concentración de calcio y magnesio expresada en términos de carbonato de calcio (CNA, 2003), por lo que de las comparaciones

realizadas al magnesio se presenta lo siguiente: se presentó aumento en las zonas Agrícolas Norte y Sur (AN y AS) con respecto a la zona de Control Este (CE). En la zona de Control Sureste (CSE) se presentó mayor concentración que en la (CE). En la zonas Agrícola Oeste (AW) y Especial (ZE) se presentó mayor concentración que en la Agrícola Norte (AN). Por lo que si se consideran de manera conjunta el calcio y magnesio se infiere que las aguas extraídas en las zonas Agrícolas Norte y Sur (AN y AS) y en la zona de Control Sureste (CSE) son más duras que las aguas de la zona de Control Este (CE).

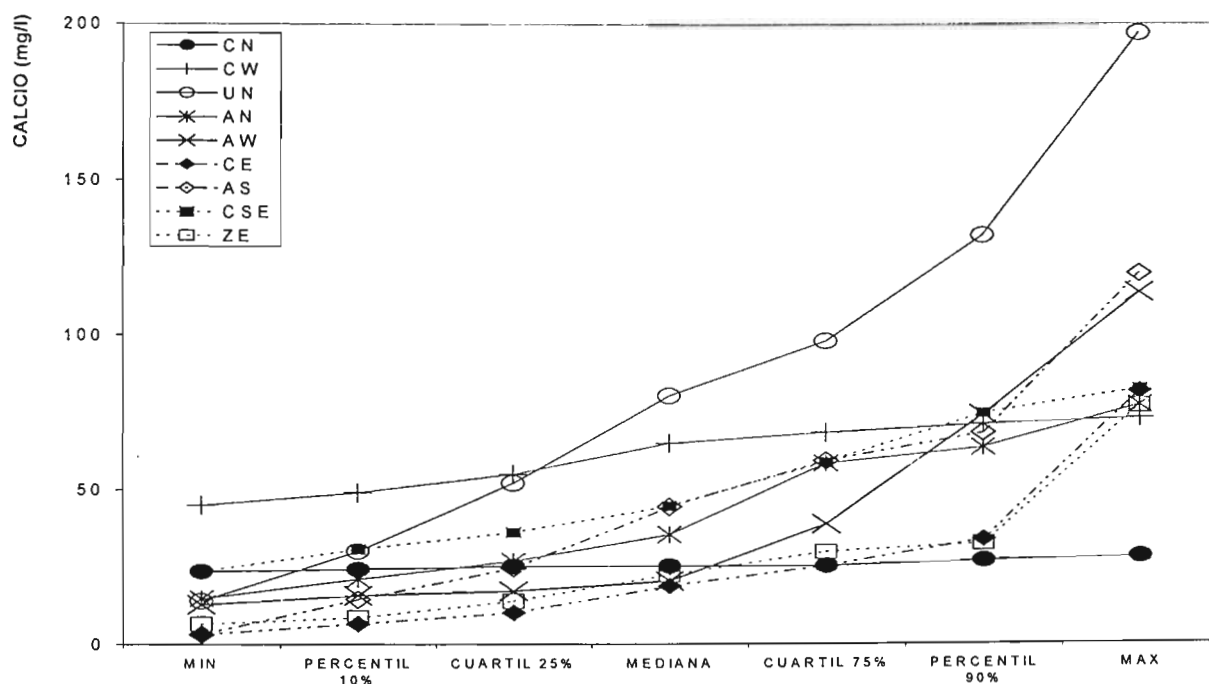


Figura 5.31. Concentración de calcio para la comparación espacial de 1979

Para el potasio se presentaron las variaciones siguientes (figura 5.32): En la zona Agrícola Oeste (AW) aumentó la concentración con respecto a la zona de Control Oeste (CW). Al realizar la comparación entre zonas de un mismo tipo, la zona (AW) también presentó concentraciones mayores que la zona Agrícola Norte (AN). Aunque en la zona (AW) presentó concentraciones menores que en la Zona Especial (ZE) los resultados de las comparaciones de temperatura y sólidos disueltos totales en la zona (AW) sugieren una fuente de contaminación de origen antropogénico debida al riego.

En las zonas Agrícolas Norte y Sur (AN y AS) disminuyó con respecto a la zona de Control Este (CE). Con respecto a las comparaciones de un mismo tipo, la concentración en la zona de Control Este (CE) es mayor que en la zona de Control Sureste (CSE). En base a estos resultados y a los presentados con respecto la temperatura se sugiere que el potasio en la zona de Control Este (CE) es un parámetro más que indica que el origen de estos valores altos es debido al contacto con el tipo de roca de esa zona (CE),

en términos generales las unidades geológicas que existen en la región de interés tienen composición predominantemente félsica a intermedia por lo que muchos de los silicatos que las componen presentan concentraciones elevadas de elementos como sodio, potasio y fluoruro (CNA, 2003).

De igual manera en la Zona Especial (ZE) aumentó su concentración con respecto a las zonas de Control Sureste (CSE), Agrícolas Norte y Sur (AN y AS). Por lo que se podría inferir lo mismo que con la zona de Control Este (CE).

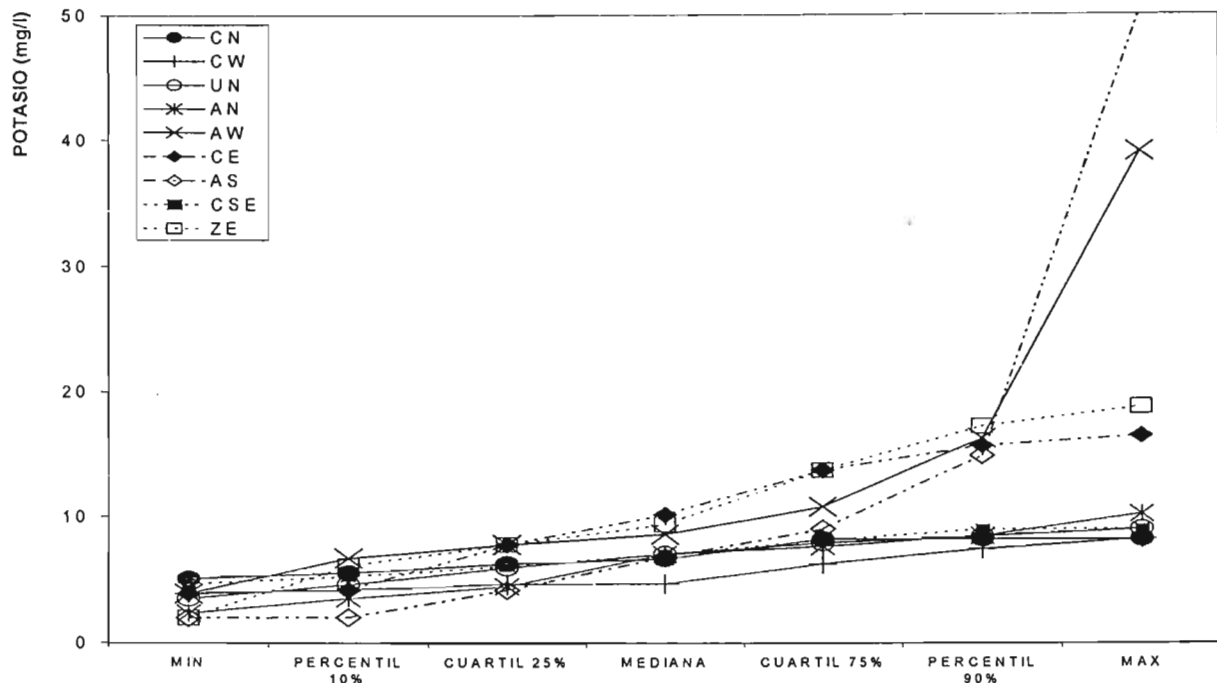


Figura 5.32. Concentración de potasio para la comparación espacial de 1979

Para las comparaciones realizadas del cloruro, se observa que en las zonas Urbana Norte (UN) se presentó mayor concentración de cloruro que en la zona de Control Norte (CN). En la zona Agrícola Sur (AS) se presentó mayor concentración con respecto a las zonas de Control Este y Norte (CE y CN) y Agrícola Norte (AN). En la zona Agrícola Norte (AN) se presentó menor concentración que en las zonas Agrícola Oeste, Sur y Especial (AW, AS y ZE).

Como se puede observar en la figura 5.33, las zonas de Control Este y Norte (CE y CN) presentaron las concentraciones más bajas junto con la zona Agrícola Norte (AN). Por lo que se presentó anteriormente de las zonas (CE y CN) se inferió que presentan contaminación de origen natural. Pero el cloruro en este caso no sea característico de las rocas félsicas, por lo que la baja concentración de cloruro en la porción norte signifique que no se tenían problemas con contaminación antropogénica principalmente en la zona (AN) y no que se deba a que: *Considerando las concentraciones de cloruro en el agua subterránea para el*

mismo año, se detecta que las regiones norte y oriente de la zona de estudio presentan valores muy bajos, en general menores a 40 mg/l, lo que muy probablemente es un reflejo de valores de cloruro que representan en su mayor parte la entrada atmosférica y en menor medida la aportación de cloruro a partir de la interacción del agua subterránea con el medio geológico (CNA, 2003).

Por otro lado, las concentraciones más altas (figura 5.34) se dan en las zonas (AW, AS, ZE y UN), en las cuales se puede inferir que, la zona (AW), presentando altos contenidos de sólidos disueltos totales, sodio, sulfato y bajos valores de temperatura, se presentó en 1979 como la zona más vulnerable por contaminación de origen antropogénica, esto muy probablemente que en esta zona, por su ubicación se presentó el flujo saliente de aguas negras de Irapuato a través del Río Guanajuato y muy probablemente la descarga del Río Lerma también ya hacia esa zona. Por lo que después de esta zona, por su ubicación se presentan también como vulnerables, la zona AS, ZE y CSE. Esto debido a que donde se presenta mayor salinidad, cloruro, sodio y sulfato, combinado con valores bajos de temperatura, soportan la hipótesis de presencia de contaminación (CNA, 2003).

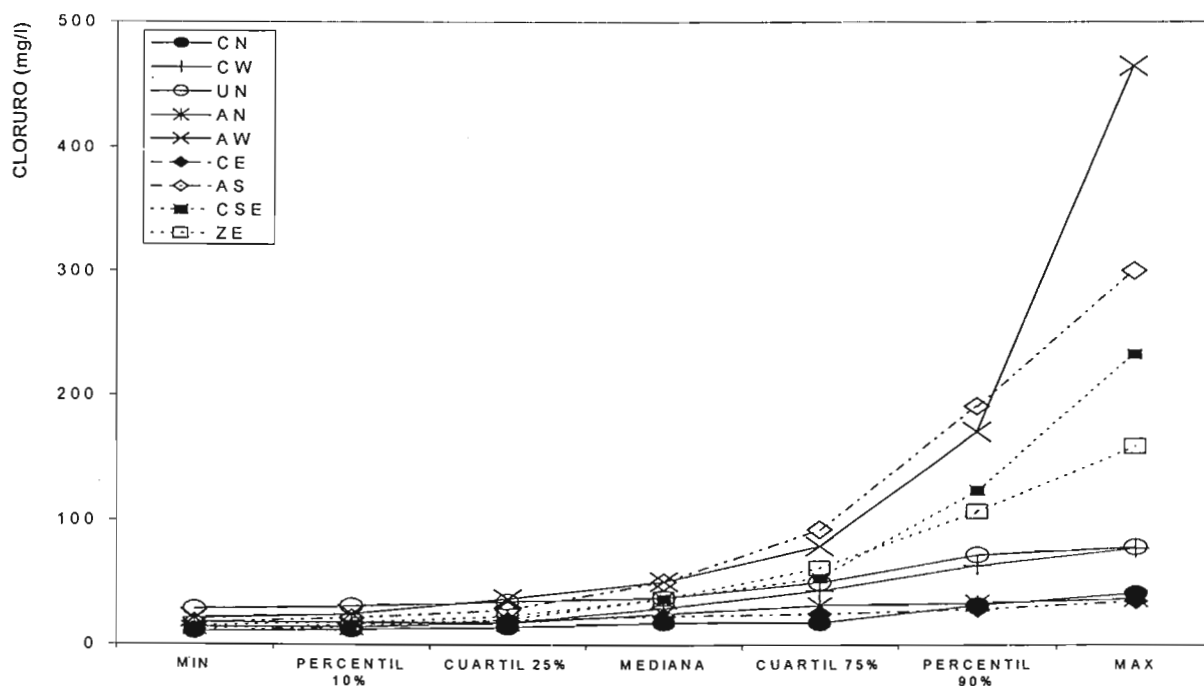


Figura 5.33. Concentración de cloruro para la comparación espacial de 1979

Las consideramos como zonas vulnerables ya que en 1979 se presentaron concentraciones de los parámetros que cumplían con las normas de calidad vigentes para entonces. Para riego, no existía riesgo de sodificación de suelos, pero sí de salinización. Pero al comparar las concentraciones con la NOM127 algunos valores máximos de las zonas AW, AS, UN y ZE presentarían valores por arriba del límite permisible.

En contraste a lo que se mencionaba en el estudio de 1979, referente a que: "La variación irregular que las concentraciones de algunos constituyentes químicos analizados presentan en la mitad norte de la región del acuífero, se atribuye a dos causas: los retornos de riego, que aportan al subsuelo agua de composición química diferente a la del agua que contiene el acuífero, y el bombeo continuo de los pozos que pueden provocar migración vertical de agua desde estratos más profundos". Los resultados de la tabla 5.58 revelan que la calidad del agua en las zonas de Control Norte (CN) y Control Este (CE), presentan contaminación pero probablemente de origen natural, y que además la zona Agrícola Norte (AN) presenta buena calidad en contraste con las zonas Agrícolas Sur, Oeste (AS, AW), Urbana Norte (UN), y talvez hasta de la zona de Control Sureste (CSE). Con respecto a la zona Especial (ZE) presenta problemas por contaminación de origen natural y pues, también es vulnerable por su ubicación (probable descarga del Río Lerma al acuífero y tome flujo hacia esta zona) y actividades agrícolas.

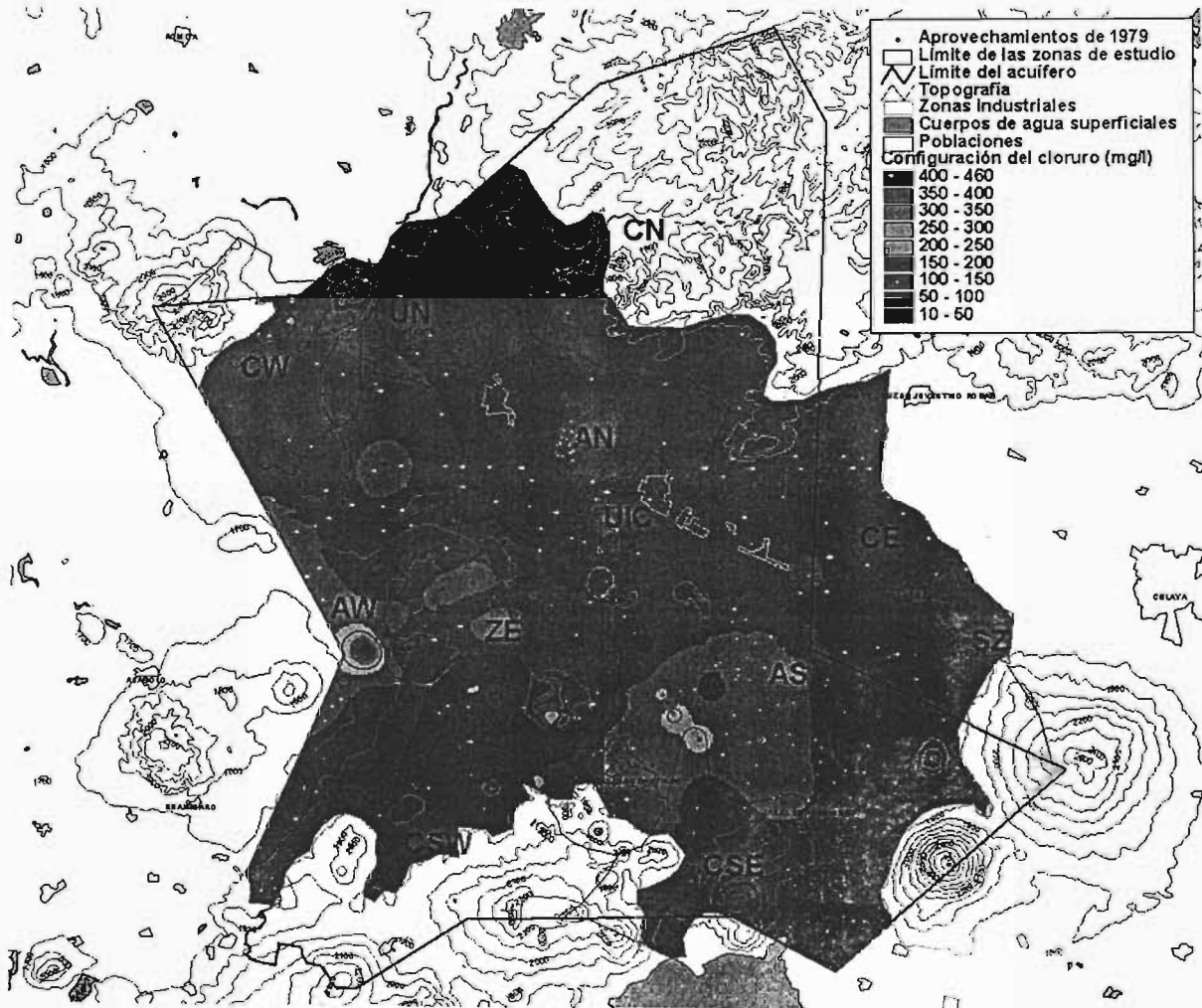


Figura 5.34. Configuración del cloruro en 1979

MUESTREO DE 1998

Debido a los pocos sitios muestreados en el estudio de 1998 solamente se pudieron comparar zonas de un mismo tipo, las agrícolas. Los resultados se presentan en la tabla 5.60. Estas comparaciones también se realizaron con un nivel de significancia de 0.05, por lo que los resultados se obtienen con un 95% de certidumbre.

Tabla 5.60. Resumen de la comparación espacial de 1998

ZONA	AN	AN	AW
Parámetro	AW	AS	AS
Temperatura			>
Sólidos disueltos totales			
Dureza			
pH			
Conductividad eléctrica			
Alcalinidad			
Bicarbonato		<	
Carbonato			
Cloruro			
Sulfato			
Calcio			
Magnesio			
Hierro		<	<
Sodio			
Potasio			

NOTA:

>
<

No hay variación significativa

Se presenta aumento en el parámetro

Se presenta disminución en el parámetro

Como se puede observar, la comparación realizada de las zonas agrícolas arroja los resultados siguientes. Se puede corroborar que la zona agrícola norte y oeste no presentan variaciones significativas en ningún parámetro medido entre esas dos zonas. Se presenta mayores concentraciones de bicarbonato y hierro en la zona Agrícola Sur (AS) que en la zona Agrícola Norte (AN).

Al comparar la zona Agrícola Oeste (AW) con respecto a la Agrícola Sur (AS), se observan mayores valores de temperatura en la (AW), pero al contrario se presenta mayor contenido de hierro en la (AS). Con respecto a la temperatura, en 1979 no había diferencia significativa en estas zonas y los valores medios andaban por los 22°C, pero en 1998 (figura 5.35) se observa que la temperatura en la zona (AS) presenta una mediana parecida a la de 1979, pero en la (AW), la temperatura subió hasta 26°C.

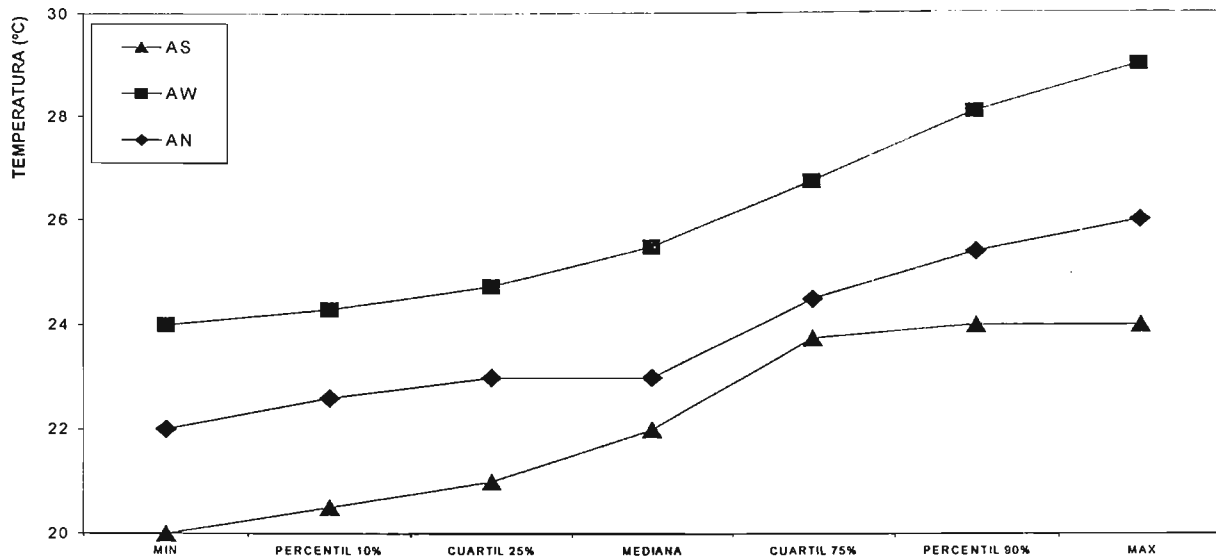


Figura 5.35. Valores de Temperatura en la comparación espacial de 1998

De estas comparaciones se puede decir que la calidad del agua subterránea es parecida en las zonas agrícolas de 1998. En el caso del hierro el 62% de los sitios comparados presentaron valores por arriba del límite permisible (figura 5.36). Contrario a lo mencionado: *De acuerdo con las condiciones oxidantes y aeróbicas que prevalecen prácticamente en la totalidad del Acuífero Irapuato-Valle, es congruente que los valores de hierro disuelto en el agua subterránea sean bajas y por lo tanto únicamente en tres sitios se detectan concentraciones por arriba del límite permisible (CNA, 2003).*

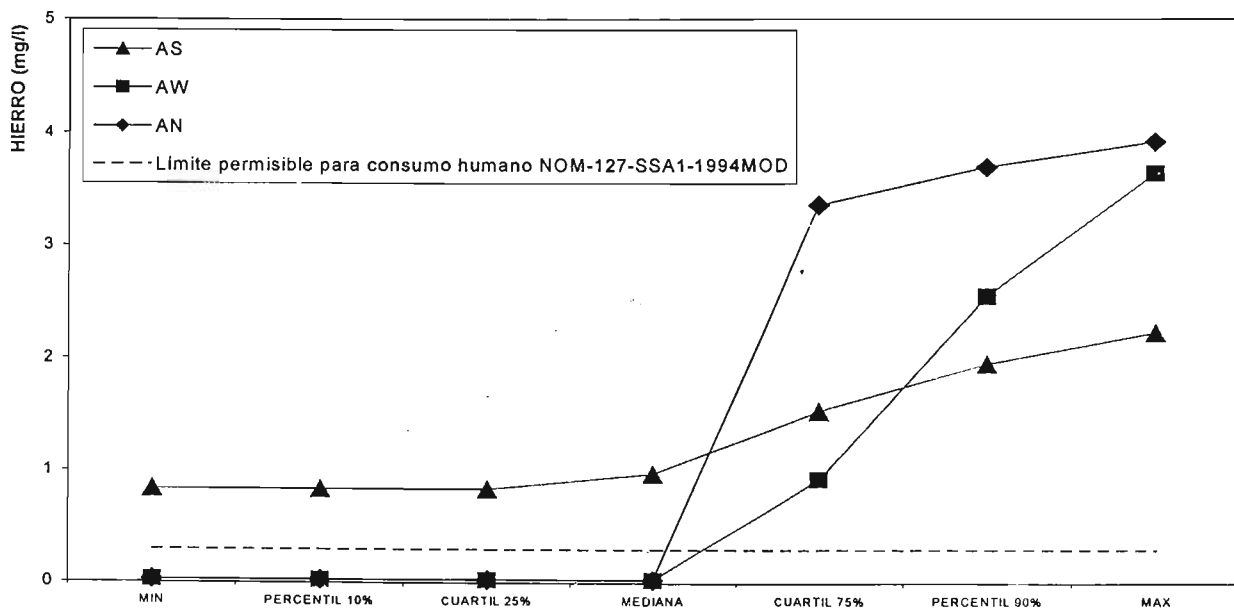


Figura 5.36. Concentraciones de hierro en la comparación espacial de 1998

MUESTREO DE 2003

Los resultados de las comparaciones realizadas entre las zonas de control y las zonas de desarrollo en 2003 se presentan en la tabla 5.61, este tipo de comparación también se realizó con un nivel de significancia de 0.05, por lo que los resultados se obtienen con un 95% de certidumbre. Al igual que en las comparaciones anteriores se presenta un resumen los parámetros que han sido comparados.

Tabla 5.61. Resumen de la comparación espacial de 2003

ZONA	CN				CW			CSE				CSW		
	UN	AN	UIC	AS	UN	AN	AW	AS	UIC	ZE	ZE*	ZE	ZE*	AW
Conductividad eléctrica			>	>			>	>	>	>	>	>	>	>
PH	<				<									
Temperatura		<		<										
Potencial Redox				<		<			>			<		
Oxígeno disuelto			<	<		<								
Alcalinidad				>				>	>	>	>	>	>	
Sólidos disueltos totales				>			>	>	>	>	>	>	>	>
Calcio	>							>				>		
Magnesio							>			>	>	>	>	
Sodio			>	>				>	>	>	>	>	>	>
Potasio				>			>				>			
Bicarbonato				>				>		>	>		>	
Fluoruro	>							>	>	>		>		
Sulfato	>	>	>	>								>	>	
Cloruro	>	>	>	>				>		>	>	>	>	>
Nitrógeno en nitrato										>	>			
Arsénico			>					>	>	>	>	>	>	>
Dureza total										>		>	>	>
Hierro	>							>		<		>		
Manganeso														
Nitrógeno en nitrito														
Plomo														
Fosfatos														
Coliformes totales	>	<	<						<					
Coliformes fecales														

NOTA:

>
<

No hay variación significativa

> Se presenta aumento en el parámetro

< Se presenta disminución en el parámetro

Las comparaciones con respecto a la zona de Control Norte (CN) es la siguiente. En la zona Urbana Norte (UN) aumentaron las concentraciones de calcio, fluoruro, sulfato, cloruro, hierro y coliformes totales; sólo

disminuyó el pH con respecto a (CN). En la zona Agrícola Norte (AN) aumentaron las concentraciones de sulfato y cloruro; y disminuyó la temperatura y los coliformes totales, con respecto (CN). En la zona Urbana-Industrial Centro (UIC) aumentaron las concentraciones de conductividad eléctrica, sodio, sulfato, cloruro, arsénico; y disminuyó el oxígeno disuelto y temperatura con respecto a (CN). En la zona Agrícola Sur (AS) aumentaron las concentraciones de conductividad eléctrica, alcalinidad, sólidos disueltos totales, sodio, potasio, bicarbonato, sulfato, cloruro; y disminuyó la temperatura, potencial redox y oxígeno disuelto. Por lo que se puede observar que la zona de Control Norte (CN), si es un frente de recarga y que el flujo que pasa de esta zona a las zonas desarrolladas presentan alteración y por consiguiente mayor concentración en sulfato y cloruro principalmente. Ya de manera particular, también se puede observar que en la zona Urbana Norte (UN) aumentan varios parámetros que tienen que ver con la contaminación generada de este desarrollo, como son hierro, fluoruro, coliformes totales y la disminución del pH. La zona de Control Norte (CN) tiene mayor influencia con respecto a la (UN) y (AN), las zonas (UIC) y (AS) se observan con aumento de sodio y conductividad eléctrica, y disminución oxígeno disuelto, por lo que los flujos que circulan por estas zonas puede tener influencia otra zona de control, principalmente en la zona (AS).

En las comparaciones con respecto a la zona de Control Oeste (CW) se presenta lo siguiente. Disminuye el pH en la zona Urbana Norte (UN). En la zona Agrícola Norte (AN) disminuyen los valores de Potencial Redox y oxígeno disuelto. Y en la zona Agrícola Oeste (AW) aumentaron las concentraciones de conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales magnesio y potasio. El pH se vuelve a presentar con menor concentración en la (UN) por lo que puede ser un problema de la zona (UN), fuera de eso, estadísticamente las dos zonas contienen concentraciones sin diferencias. En la zona agrícola norte prácticamente se presenta las mismas concentraciones que en la zona de control aunque puede existir riesgo de que se establezcan condiciones para que el manganeso se movilice al agua subterránea a partir de fuentes naturales debido a la disminución del oxígeno disuelto y el potencial redox, en este caso posiblemente se asocie con las rocas volcánicas máficas (basálticas y andesíticas) que existen en esta región (CNA, 2003).

En las comparaciones con respecto a la zona de Control Sureste (CSE) se presenta lo siguiente. En la zona Agrícola Sur (AS) aumentaron las concentraciones de conductividad eléctrica, alcalinidad, sólidos disueltos totales, calcio, sodio, bicarbonato fluoruro, cloruro, arsénico y hierro. En la zona Urbano Industrial Centro (UIC) aumentaron las concentraciones de conductividad eléctrica, Potencial Redox, alcalinidad, sólidos disueltos totales, sodio, fluoruro y arsénico; solamente disminuyeron los coliformes totales. en la Zona Especial (ZE) aumentaron las concentraciones de conductividad eléctrica, alcalinidad, sólidos disueltos totales, magnesio, sodio, bicarbonato, fluoruro, cloruro, nitrógeno en nitratos, arsénico y dureza total; solamente disminuyó el hierro. En la zona Agrícola Sur (AS) aumentó la conductividad eléctrica, la

alcalinidad, sólidos disueltos totales, magnesio, sodio, bicarbonato, fluoruro, cloruro, nitrógeno en nitrato, arsénico y dureza total; y solamente disminuyó el hierro. Con respecto al muestreo de Verificación en la Zona Especial (ZE*) aumentaron las concentraciones de conductividad eléctrica, alcalinidad, sólidos disueltos totales, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, cloruro, nitrógeno en nitrato y arsénico. Por los resultados anteriores se observa claramente como el agua de la zona de Control Sureste (CSE) es zona de recarga de las zonas Agrícola Sur (AS), Urbano Industrial Centro (UIC) y Especial (ZE). De estas tres zonas la que presenta menor aumento en las concentraciones es la (UIC), pudiéndose deber a que es la zona que se encuentra más hacia el norte y que por ello reciba recarga de la zona de Control Norte (CN). El incremento en la zona (AS) pudiera deberse a: a) la explotación del acuífero para el riego de las módulos que se encuentran en esa zona del DR011, b) el flujo y descarga de los ríos Lerma y Laja que atraviesan parte de ésta zona, c) que se tenga una recarga de la zona este (CE) y que con la mezcla de flujos que se presenten en esa zona se afecte al agua subterránea. El incremento en la zona (ZE) se deba muy probablemente a las características particulares geológica de esa zona (región de las 7 luminarias) y también, la afectación por el riego, y el cauce del río Lerma.

Con respecto a la zona de Control Suroeste (CSW) se presentan las siguientes variaciones. En la Zona Especial (ZE) aumentaron las concentraciones de la conductividad eléctrica, alcalinidad, sólidos disueltos totales, calcio, magnesio, sodio, fluoruro, sulfato, cloruro, arsénico, dureza total y hierro; solamente disminuyó el Potencial Redox. En el muestreo de verificación de la Zona Especial (ZE*) aumentaron las concentraciones de la conductividad eléctrica, alcalinidad, sólidos disueltos totales, magnesio, sodio, bicarbonato, sulfato, cloruro, arsénico y dureza total. En la zona Agrícola Oeste (AW) aumentaron las concentraciones en la conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, sodio, cloruro, arsénico y dureza total. Por lo que ya al comparar de nuevo a la zona (ZE) con otra zona de control, se corrobora el aumento en los parámetros, los cuales pudieran deberse a un origen natural, pero que también es afectado por la explotación. Por otro lado la zona (AW) no se ve tan afecta con respecto a la zona de control.

En términos generales se observan mayores variaciones en ésta, la comparación de 2003, en las cuales generalmente aumentan las concentraciones de los parámetros en las zonas desarrolladas. Aunque no hay que descarta que en la mayoría de las comparaciones se presentaron resultados sin diferencia significativa.

Resumiendo, se puede decir que el agua de la zona Agrícola Norte (AN) proviene de la zona de Control Oeste (CW). Al igual que los flujos en las zonas Agrícola Oeste (AW), Agrícola Sur (AS), Urbana Industrial Centro (UIC) y la Zona Especial (ZE) son provenientes de la zonas de Control Sureste y Suroeste (CSE y CSW) principalmente.

Se observan valores mayores de coliformes totales en las zonas de Control Norte y Sureste (CN Y CSE) con respecto a las zonas Urbanas Norte, Industrial Centro (UN y UIC) y Agrícola Norte (AN) esto es probable que se deba a que los pozos en las zonas de control generalmente se localizaba cerca o en el interior de pequeñas localidades en las cuales no se contaba con sello sanitario en algunos aprovechamientos y se ubicaban cerca de establos.

Los resultados con respecto a las comparación entre zonas de un mismo tipo realizadas en 2003 se presentan en la tabla 5.62. El resumen se lee de la siguiente manera: CN>CW en temperatura.

Tabla 5.62. Resumen de la comparación de zonas iguales de 2003

ZONA	CN	CSE	UN	AN		AS	ZE			
	CW	CSW	UIC	AS	AW	AW	AN	AS	AW	ZE*
Conductividad eléctrica				<	<	<	>	>	>	
pH			<							
Temperatura	>									
Potencial Redox		<		>			<			
Oxígeno disuelto		<	>	>		>				
Alcalinidad				<	<	>	>	>	>	
Sólidos disueltos totales				<	<		>	>	>	
Calcio			>	<						
Magnesio			>	<	<		>	>	>	
Sodio		>	<			<			>	
Potasio			<	<	<		>			
Bicarbonato				<	<		>	>	>	
Fluoruro				<						
Sulfato										
Cloruro	<	>		<		<	>		>	
Nitrógeno en nitrato				>		>	>	>		
Arsénico			<							
Dureza total			>	<	<		>			
Hierro			<				>		>	
Manganeso										
Nitrógeno en nitrato										
Plomo										
Fosfatos										
Coliformes totales				<						
Coliformes fecales										

NOTA:

>
<

No hay variación significativa

Se presenta aumento en el parámetro

Se presenta disminución en el parámetro

las comparaciones entre las zonas de control muestran lo siguiente. Las zona de Control Norte y Oeste (CN y CW) en la mayoría de los parámetros no presentan variación significativa, solamente la temperatura es mayor en la zona de Control Norte (CN), mientras que el cloruro es mayor en la zona de Control Oeste (CW). Lo que puede sugerir que se presente un solo frente de recarga en todo el norte del acuífero, pero que en la zona (CN) se tiene afectación por termalismo, mientras que en la zona (CW) el aumento del cloruro se deba al riego en la parte del valle de esa zona.

Al comparar las zonas de Control al Sur (CSE y CSW) se presentan las siguientes diferencias, los valores de Potencial redox y oxígeno disuelto es mayor en la zona de Control Suroeste (CSW), mientras que el sodio y el cloruro es mayor en la zona de Control Sureste (CSE). El hecho de que se presente menor concentración de oxígeno disuelto y potencial redox, por lo que se pueden presentar condiciones similares que en la zona de Control Oeste (CW), en las cuales pueda existir riesgo de que se establezcan condiciones para que el manganeso se movilice al agua subterránea a partir de fuentes naturales asociado a rocas volcánicas máficas (basálticas y andesíticas) que existen en esta región (CNA, 2003). Mientras que el incremento de sodio y cloruro muy probablemente se debe a contaminación de origen antropogénico.

En la comparación entre zonas Urbanas (UN y UIC) las variaciones son las siguientes. En la zona Urbana-Industrial Centro (UIC) son mayores las concentraciones de pH, sodio, potasio, arsénico y hierro. En la zona Urbana Norte (UN) son mayores las concentraciones de oxígeno disuelto, calcio, magnesio, y dureza total. Se observa en esta comparación que en la zona (UIC) hay afectación principalmente por contaminación de origen antropogénico. Mientras que en la zona (UN) debido a su situación geográfica la principal afectación es por contaminación de origen natural.

En las comparaciones de las zonas Agrícolas (AN, AS y AW) se presentan las siguientes variaciones. Al comparar las zonas Agrícolas Norte y Sur (AN y AS), se observa que en la zona Agrícola Sur (AS) son mayores las concentraciones de conductividad eléctrica, alcalinidad, sólidos disueltos totales, calcio, magnesio, potasio, bicarbonato, fluoruro, cloruro, dureza total y coliformes totales. En la zona Agrícola Norte (AN) son mayores las concentraciones de potencial redox, oxígeno disuelto y nitrógeno en nitrato. La afectación que presenta la zona (AS) se puede deber a los tipos de contaminación, la desventaja principal de la ésta zona es la presencia de las aguas perennes superficiales como son los ríos Laja y Lerma, y que además este recurso del cauce del Lerma se aprovecha de mayor manera para el riego en la zona (AS) que en la (AN).

Al comparar las zonas Agrícolas Norte y Oeste (AN y AW) se observa que en la zona Agrícola Oeste (AW) son mayores las concentraciones en conductividad eléctrica, alcalinidad, sólidos disueltos, magnesio, potasio, bicarbonato y dureza total.

Al comparar las zonas Agrícolas Sur y Oeste (AS y AW) se observa que en la zona Agrícola Sur (AS) son mayores las concentraciones en conductividad eléctrica, sodio y cloruro; por el contrario son menores los valores de oxígeno disuelto, alcalinidad y nitrógeno en nitratos.

Con respecto a la Zona Especial (ZE) se realizaron comparaciones con la zonas Agrícolas (AN, AS y AW) y con el muestreo de Verificación realizado en la Zona Especial (ZE*). con respecto a éste último se pudo verificar que los valores de los parámetros obtenidos se presentan sin variación significativa. Al comparar con la zona Agrícola Norte (AN), en la Zona Especial (ZE) se presentan mayores concentraciones en conductividad eléctrica, alcalinidad, sólidos disueltos, magnesio, potasio, bicarbonato, cloruro, nitrógeno en nitratos, dureza total y hierro. solamente se presentaron menores concentraciones de potencial redox en la zona agrícola norte. Con respecto a la zona Agrícola Sur (AS), en la Zona Especial (ZE) se presentan valores mayores de conductividad eléctrica, alcalinidad, sólidos disueltos totales, magnesio, bicarbonato y nitrógeno en nitratos. Y con respecto a la zona Agrícola Oeste (AW), en la Zona Especial (ZE) se presentan valores mayores de conductividad eléctrica, alcalinidad, sólidos disueltos totales, magnesio, sodio, bicarbonato, cloruro y hierro. por lo que se puede observar que si hay presencia de contaminación de origen natural, pero también es una zona afectada por contaminación antropogénica.

Analizando los parámetros que presentaron más variaciones en las comparaciones realizadas en 2003 se presenta lo siguiente:

Como se puede observar en las figuras 5.37 y 5.38, las zonas de control son las que presentan menores concentraciones y de ahí en adelante se observa que se presentan menores concentraciones de este parámetro hacia la porción norte del acuífero. Con respecto a los sólidos disueltos totales se puede observar que si se mantienen los flujos que recargan al acuífero y las zonas en donde se descarga o que reciben estos flujos. Presentándose la mayor concentración de sólidos disueltos totales en la Zona Especial (ZE) y enseguida en la Agrícola Sur (AS).

Como complementación a la figura de sólidos disueltos totales se presenta las variaciones de temperatura debido a que en 1979, este parámetro fue determinante para identificar las zonas con problemas de contaminación.

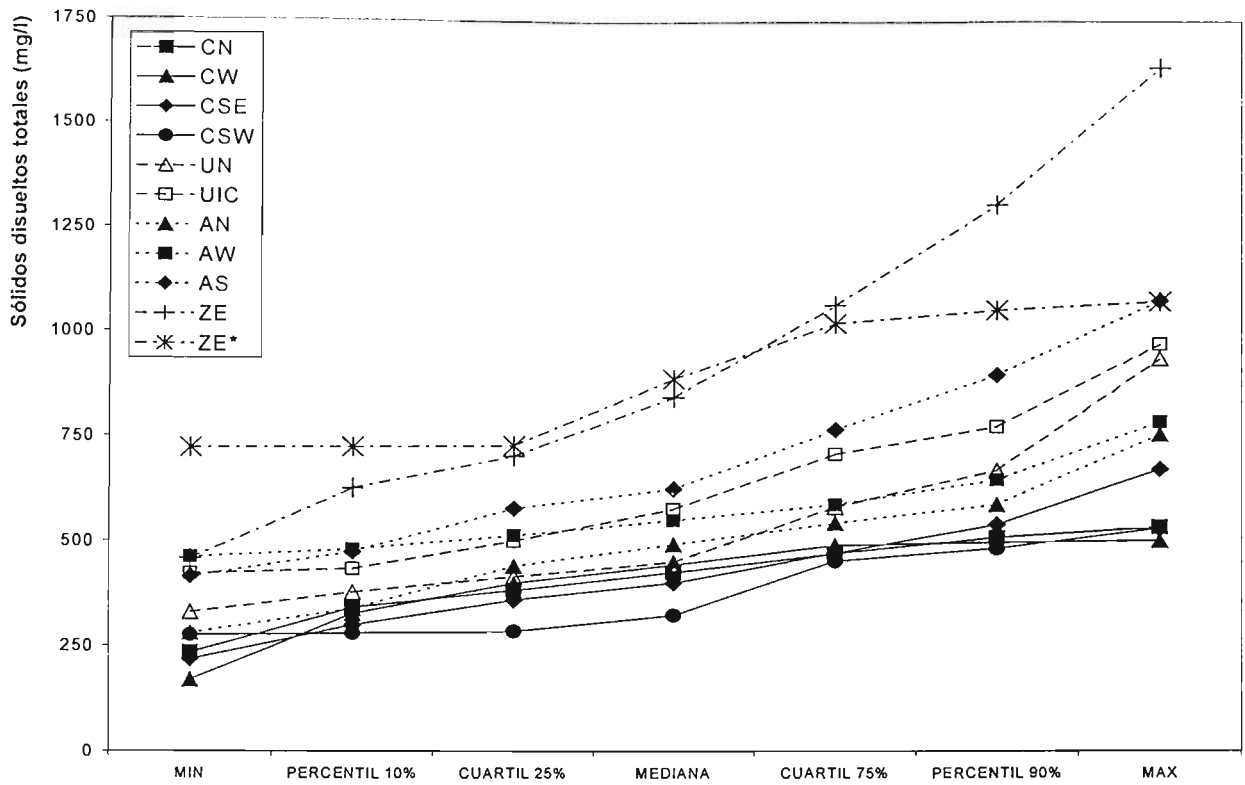


Figura 5.37. Concentraciones de sólidos disueltos totales para la comparación espacial de 2003

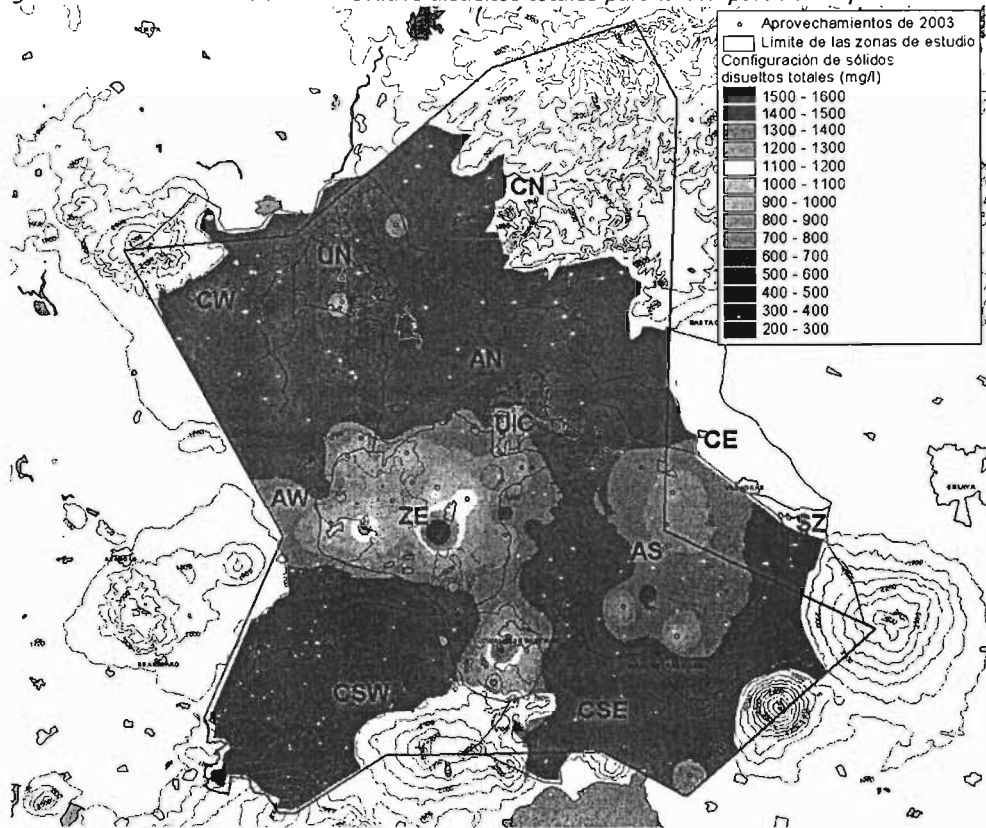


Figura 5.38. Configuración de sólidos disueltos totales y su distribución en las zonas de estudio

La zona donde estadísticamente se identificó con mayores temperatura fue la Control Norte (CN). Al observar en la figura 5.39, también se presentan temperaturas elevadas en las zonas Urbanas (UN y UIC), en la (UIC) es debido a que ahí se monitorearon los aprovechamientos más profundos del acuífero y en la (UN) puede deberse al flujo que proviene de la zona de Control Norte (CN).

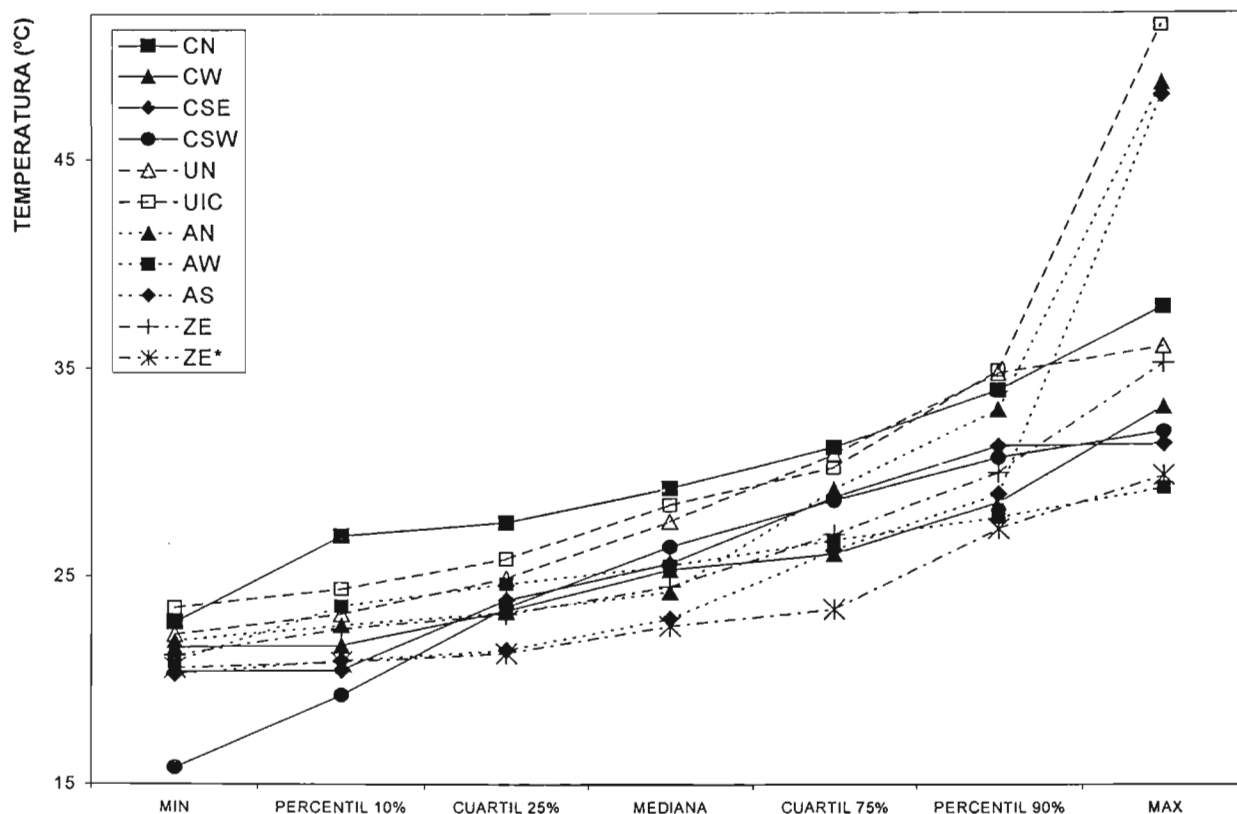


Figura 5.39. Valores de temperatura en la comparación espacial de 2003

La comparación del cloruro fue una de las que presentó mayores variaciones por lo que también se analiza de manera específica. Debido a las características del medio por donde circula el agua, el cloruro en esta zona de estudio debe tener su origen, ya sea atmosférico o por contaminación antropogénica. Las zonas en las que se puede identificar (figura 5.40) que presentan cloruro de manera natural son las zonas de Control Norte y Suroeste (CN y CSW). Las zonas de Control Oeste y Sureste (CW y CSE) ya presentan valores con los cuales no tienen diferencia significativa con las zonas Agrícola Norte, Oeste (AN, AW), Urbana Norte e incluso con la Urbana Industrial Centro (UN y UIC). A las zonas Agrícola Sur (AS) y Zona Especial (ZE) ya se les puede atribuir una contaminación probablemente natural para la (ZE) y antropogénica para (AS) e incluso para (UIC).

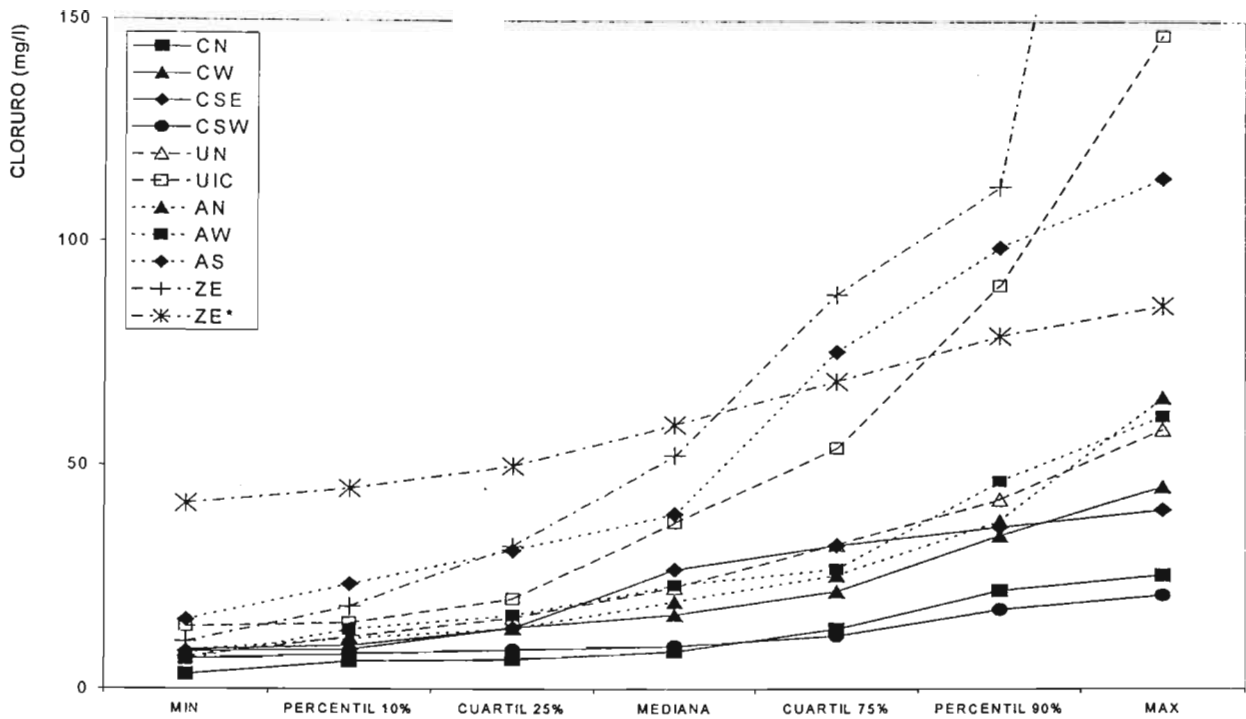


Figura 5.40. Concentraciones de cloruro para la comparación de 2003

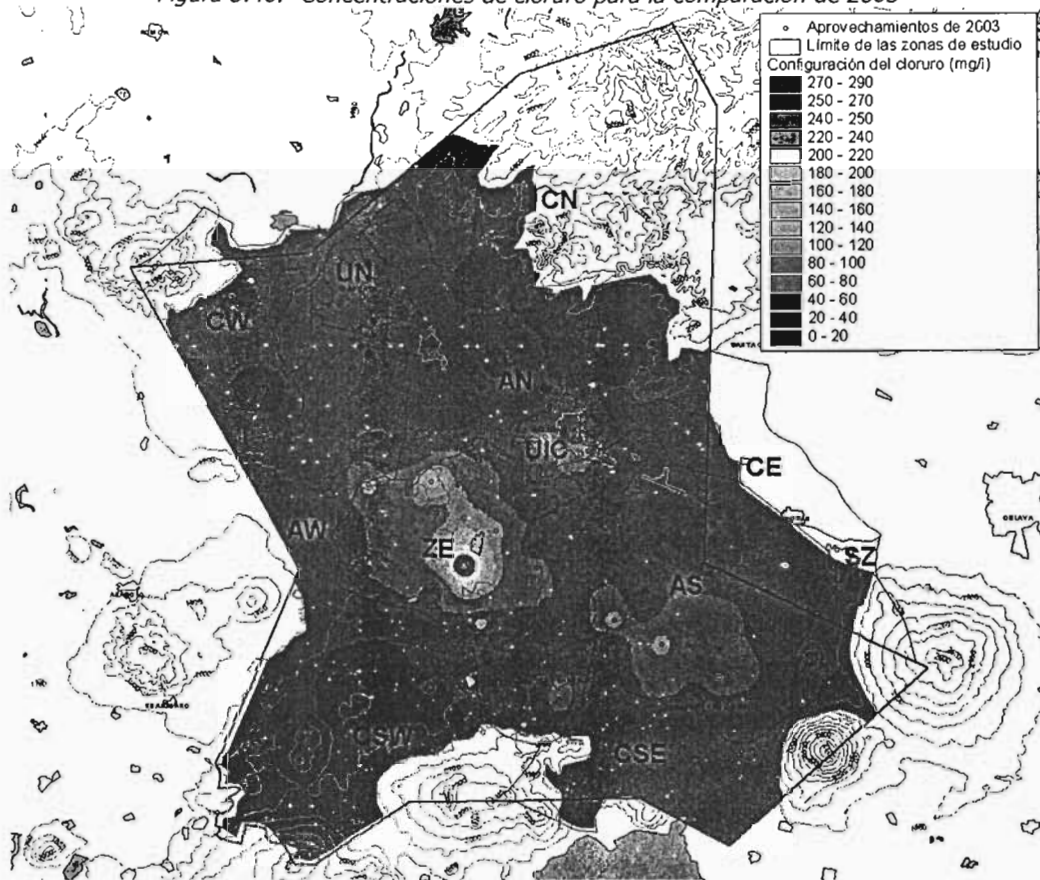


Figura 5.41. Configuración de cloruro para la comparación de 2003

El sodio fue otro de los parámetros que presentó muchas variaciones y que a continuación se describen. Las zonas que presentan menor concentración de sodio (figuras 5.42 y 5.43) son las zonas de Control (CSE, CSW, CN, CW) pero también en la porción norte de la zona de estudio se presentan concentraciones relativamente bajas, como en las zonas (UN y AW). Las mayores concentraciones que se presentan son en las zonas (ZE, UIC, AS). Estas concentraciones altas pueden estar ligadas a contenidos de sólidos disueltos altos, en los que se genera evaporación. Por otro lado puede ser un origen natural debido al tipo de roca félsica, la cual se le relaciona con altas temperaturas, concentraciones altas de sodio, potasio y fluoruro. Por lo que se podría decir que en la zona (ZE) se presenta muy probablemente contaminación de tipo natural, aunque el problema con la (ZE) es que la temperatura medida en esta zona no presenta valores altos, sus valores van de los 18 a los 34°C, sin ser los más altos. Mientras que en las zonas UIC y AS la contaminación sea de tipo antropogénico, y al contrario en la zona UIC ya que sus valores de temperatura si son de los más altos.

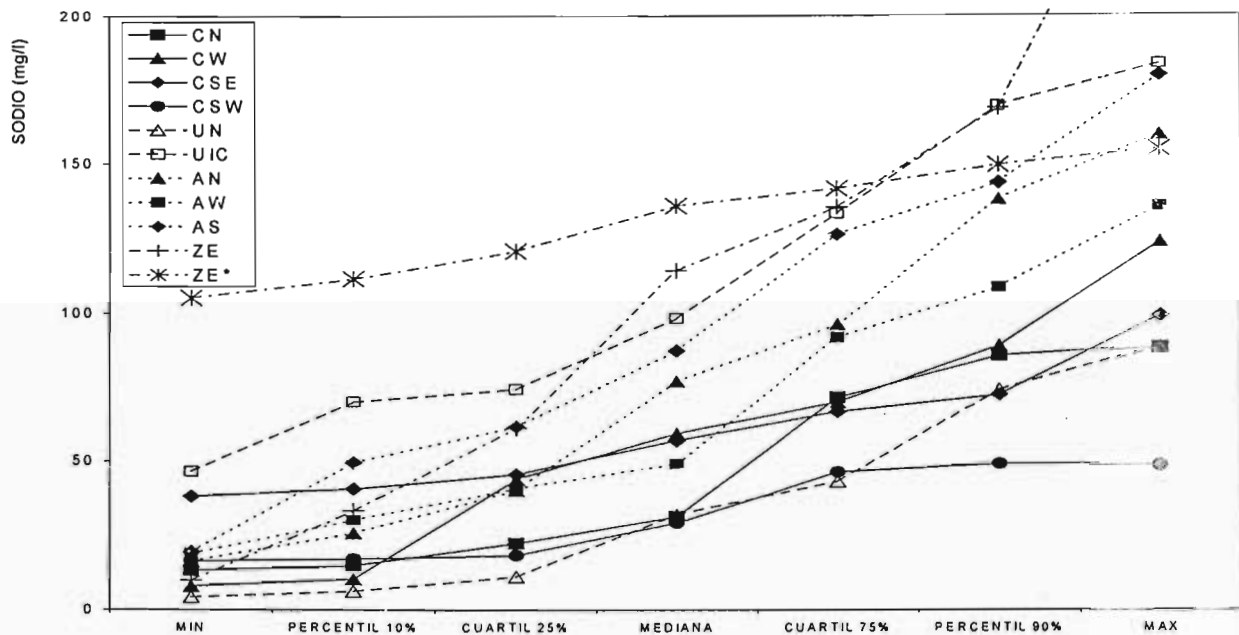


Figura 5.42. Concentraciones de sodio para la comparación de 2003

Por su parte el arsénico fue otro de los parámetros que también presentó variaciones. Como se puede observar en la figura 5.44 las zonas con menores concentraciones son las de Control Sur (CSE y CSW). Con respecto a la porción norte del acuífero, las concentraciones de arsénico se presentan de manera similar entre las zonas de Control (CN y CW) y las desarrolladas (AN, AW y UN), debido a las temperaturas que se presentan en esas zonas, el origen del arsénico probablemente sea natural. En la zona Urbana Industrial Centro (UIC) se presentan las mayores concentraciones de arsénico, aunque también se presentan las mayores temperaturas, por lo que su origen probablemente sea natural, aunque no se descarta la influencia antropogénica. En la (ZE), por sus características se podría decir que su

origen es natural, pero por como se está explotando la zona para riego, también puede tener afectación de tipo antropogénica.

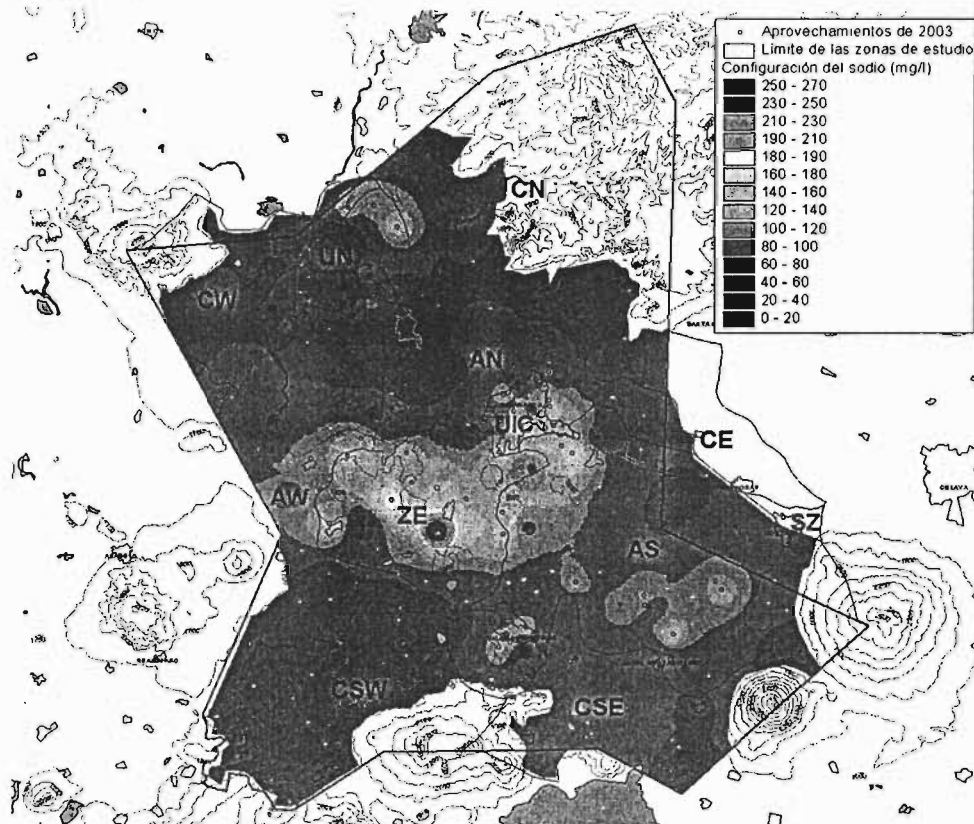


Figura 5.43. configuración de sodio para la comparación de 2003

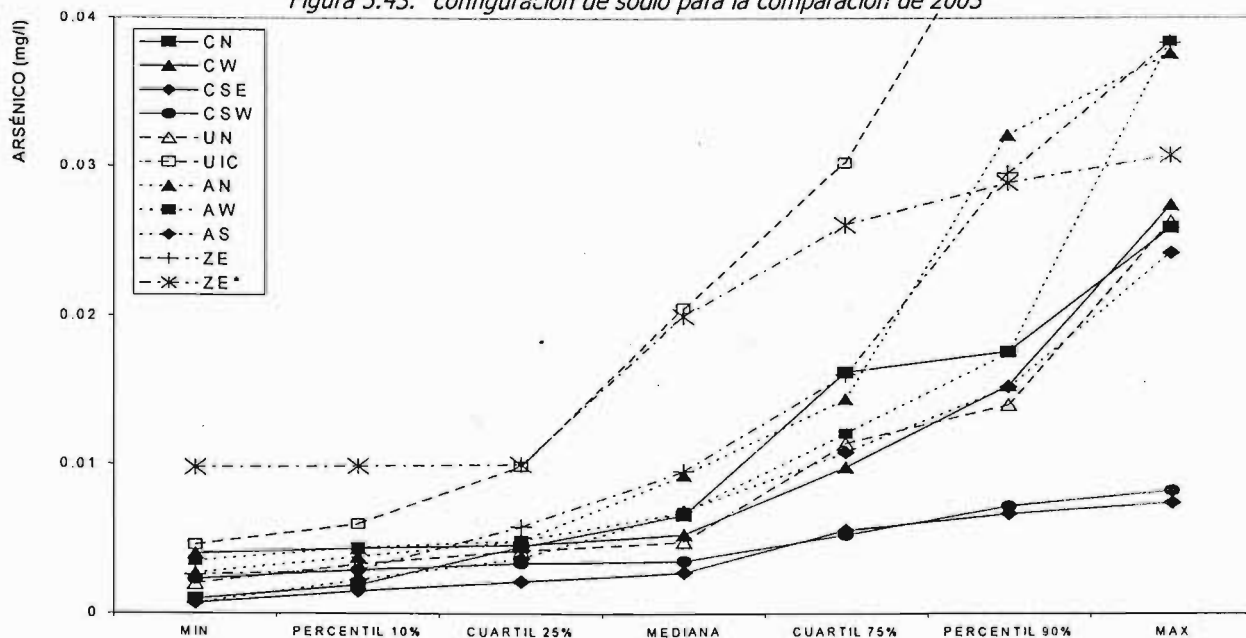


Figura 5.44. concentración de arsénico para la comparación de 2003

5.4.3. EVOLUCIÓN A PROFUNDIDAD

En el análisis de la evolución espacial se comparó en la vertical para identificar las características que se presentan en los medios por lo que circulan los sistemas de flujo a nivel intermedio y regional. Lo anterior se realizó en base a la variación de las profundidades totales de los aprovechamientos muestreados en 1998 y 2003. El sistema de representación de resultados continua igual aunque ahora en la escala espacial a profundidad. Por lo que el aumento o disminución se realizará con respecto a la profundidad.

MUESTREO DE 1998

Al realizar la comparación a profundidad con los datos del estudio de 1998 se obtuvo el resumen de los resultados (tabla 5.63):

Tabla 5.63. Resumen de la comparación a profundidad de 1998

Grupos:	Profundidad total (m)	
	100-170	170-250
Parámetro	0-100	100-170
Temperatura		
Sólidos disueltos totales		>
Dureza		
pH		
Conductividad eléctrica		
Alcalinidad		
Bicarbonato		
Carbonato		
Cloruro		
Sulfato		
Calcio		>
Magnesio		
Hierro		
Sodio		
Potasio		

NOTA:

□	No hay variación significativa
>	Se presenta aumento en el parámetro
<	Se presenta disminución en el parámetro

En la comparación realizada entre los pozos que cuentan con diferente profundidad se obtiene pocas variación con respecto a su profundidad total. En la comparación realizada entre los aprovechamientos de 0 a 100 m y de 100 a 170 m no se encontró ninguna diferencia significativa. Por lo que se podría pensar que el agua captada hasta esa profundidad son mezclas de flujo. En la comparación de los

aprovechamientos con profundidades de 100 a 170 m y 170 a 250 m. Se presentan dos diferencias significativas, las concentraciones de sólidos disueltos totales y de calcio (figuras 5.45 y 5.46) son mayores en los pozos con mayor profundidad (de 170 a 250 m).

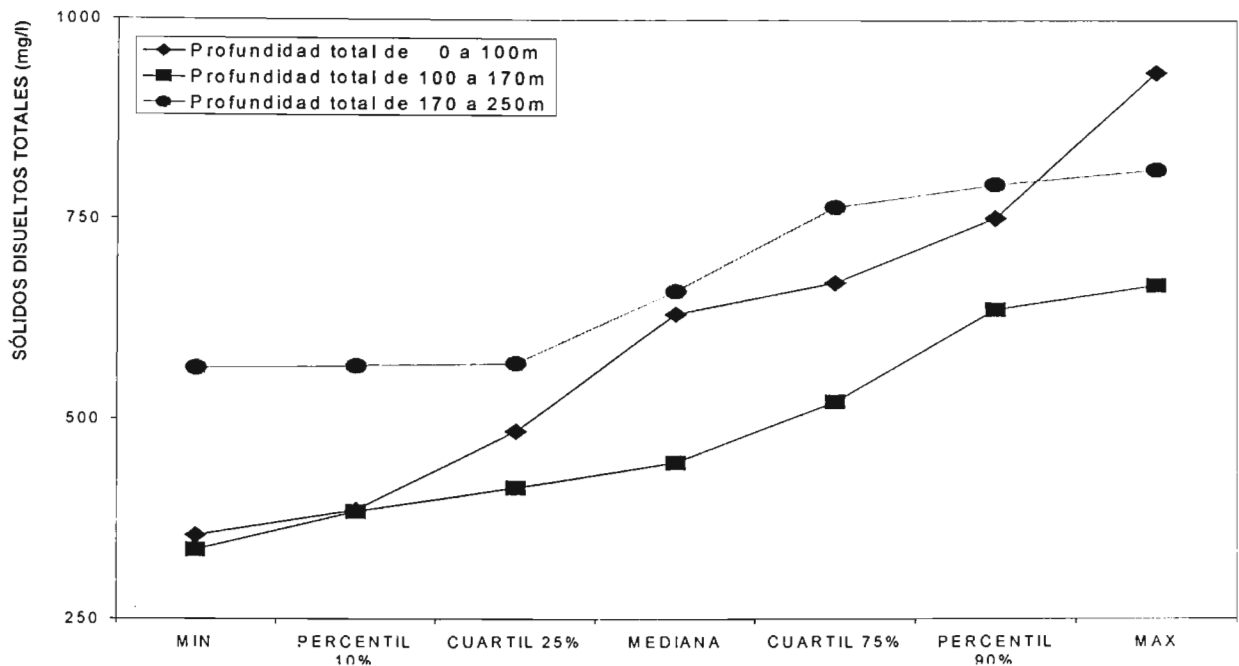


Figura 5.45. Concentración de sólidos disueltos totales en la comparación a profundidad en 1998

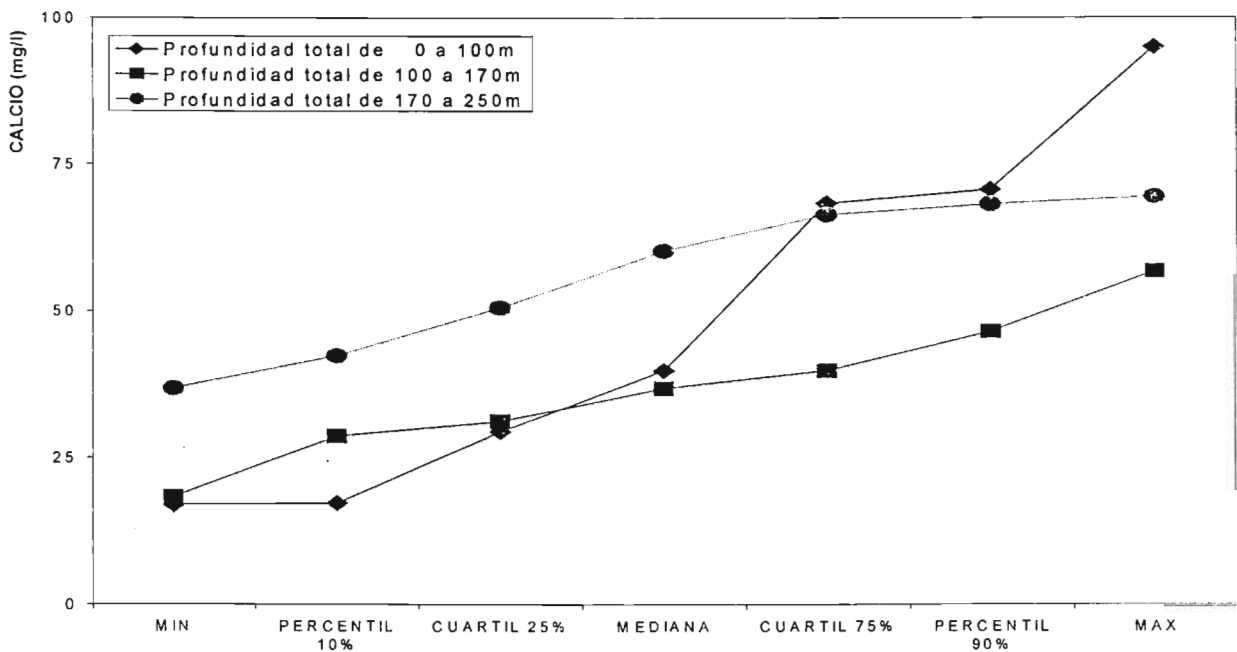


Figura 5.46. Concentración de calcio en la comparación a profundidad en 1998

En base a los resultados obtenidos de las pruebas estadística, no se encuentran identificados sistemas de flujo que sean captados por los aprovechamientos muestreados en 1998, la mayoría de los aprovechamientos captan el medio granular con mezclas de agua entre las unidades hidroestratigráficas que lo conforman. Por otro lado, es importante mencionar que las muestras de agua subterránea obtenidas representan una mezcla de distribución vertical de la calidad del agua subterránea existente en la zona de estudio.

MUESTREO DE 2003

Al realizar la comparación a profundidad con los datos del estudio de 2003 se obtuvieron los siguientes resultados (tabla 5.64):

Tabla 5.64. Resumen de la comparación a profundidad de 2003

Grupos: Parámetro	Profundidad total (m)			
	100-170 0-100	170-250 100-170	250-350 170-250	500-700 250-350
Conductividad eléctrica	<			
pH		<	>	>
Temperatura			>	>
Potencial Redox			<	<
Oxígeno disuelto				
Alcalinidad	<			
Sólidos disueltos totales	<			
Calcio			<	<
Magnesio	<		<	<
Sodio			>	>
Potasio				
Bicarbonato	<			
Fluoruro			>	>
Sulfato				
Cloruro	<			
Nitrógeno en nitrato				
Arsénico				<
Dureza total	<		<	<
Hierro				
Manganeso				
Nitrógeno en nitrito				
Plomo				
Fosfatos	>			
Coliformes totales				
Coliformes fecales				

NOTA:

>
<

No hay variación significativa

Se presenta aumento en el parámetro

Se presenta disminución en el parámetro

Al realizar la comparación entre las profundidades de 0 a 170 m se presentó lo siguiente. En los aprovechamientos con profundidades de 0 a 100 m se presentaron mayores concentraciones en conductividad eléctrica, alcalinidad, sólidos disueltos totales, magnesio, bicarbonato, cloruro y dureza total. Solamente presentaron menores concentraciones de fosfatos con respecto a los aprovechamientos de 100 a 170 m de profundidad. Este efecto de encontrar mayores concentraciones en los aprovechamientos más someros, podría deberse a las lluvias extraordinarias ocurridas en la temporada de lluvia antes del muestreo de 2003.

Con respecto a los aprovechamientos de 100 a 250 m de profundidad total se presentó solamente mayor concentración de pH en los pozos de 100 a 170 m. Los demás parámetros no presentaron diferencia significativa. Puede ser debido a la mezcla de agua que captan estos pozos.

En la comparación entre los aprovechamientos de 170 a 350 m se presentó lo siguiente. En los pozos de 170 a 250 m se tienen mayores concentraciones de potencial redox, calcio, magnesio y dureza total. En los pozos con profundidades de 250 a 350 m se presentan mayores concentraciones de pH, temperatura, sodio, y fluoruro. Las diferencias entre estos dos rangos de profundidades, puede deberse a que en los pozos de 250 a 350 m ya se presentan problemas de termalismo y contaminación natural.

En la comparación entre los aprovechamientos de 250 a 700 m se presentó lo siguiente. En los pozos de 250 a 350 m de profundidad total se tienen mayores concentraciones de potencial redox, calcio, magnesio, arsénico y dureza total. En los pozos de 500 a 700 m se presentaron mayores concentraciones de pH, temperatura, sodio y fluoruro. Por lo anterior se puede decir que el aumento de la profundidad provoca una mayor contaminación de origen natural. Aunque habría que verificar la concentración de arsénico que por lo visto podría verse disminuida su concentración con la profundidad.

En las siguientes figuras (5.47, 5.48, 5.49, 5.50, 5.51 y 5.52) se presentan las principales variaciones en la comparación a profundidad de 2003. En las cuales se puede observar claramente el origen de las contaminaciones antropogénica y natural.

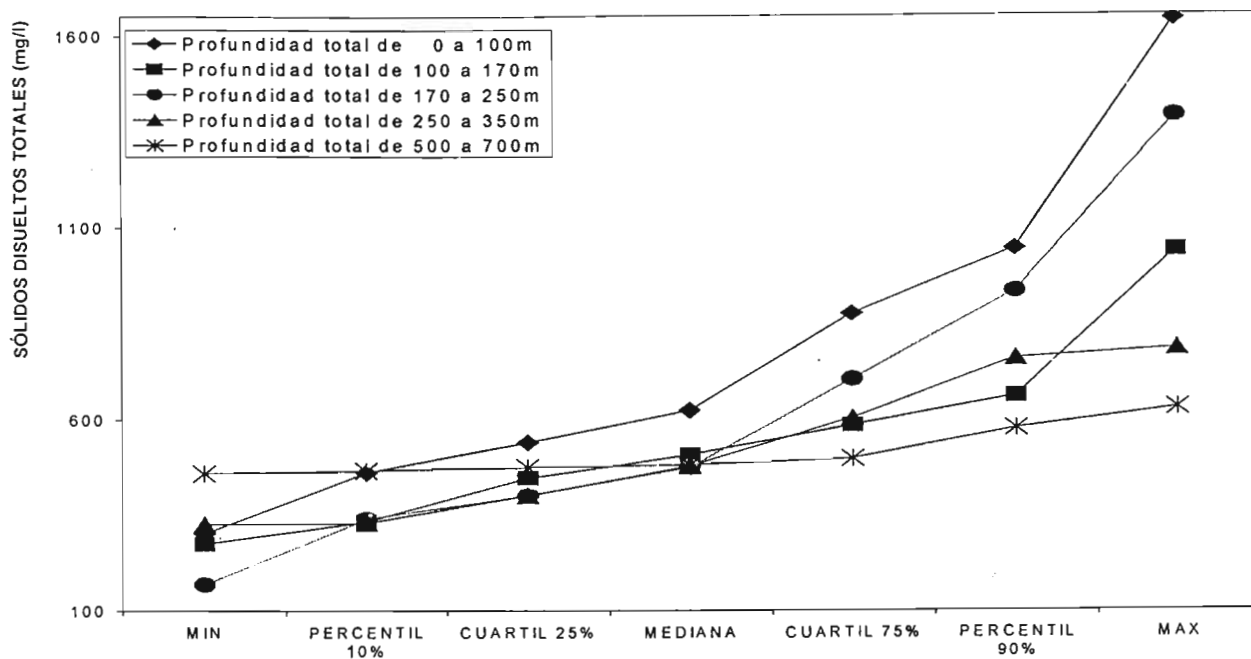


Figura 5.47. Concentración de sólidos disueltos totales en la comparación a profundidad en 2003

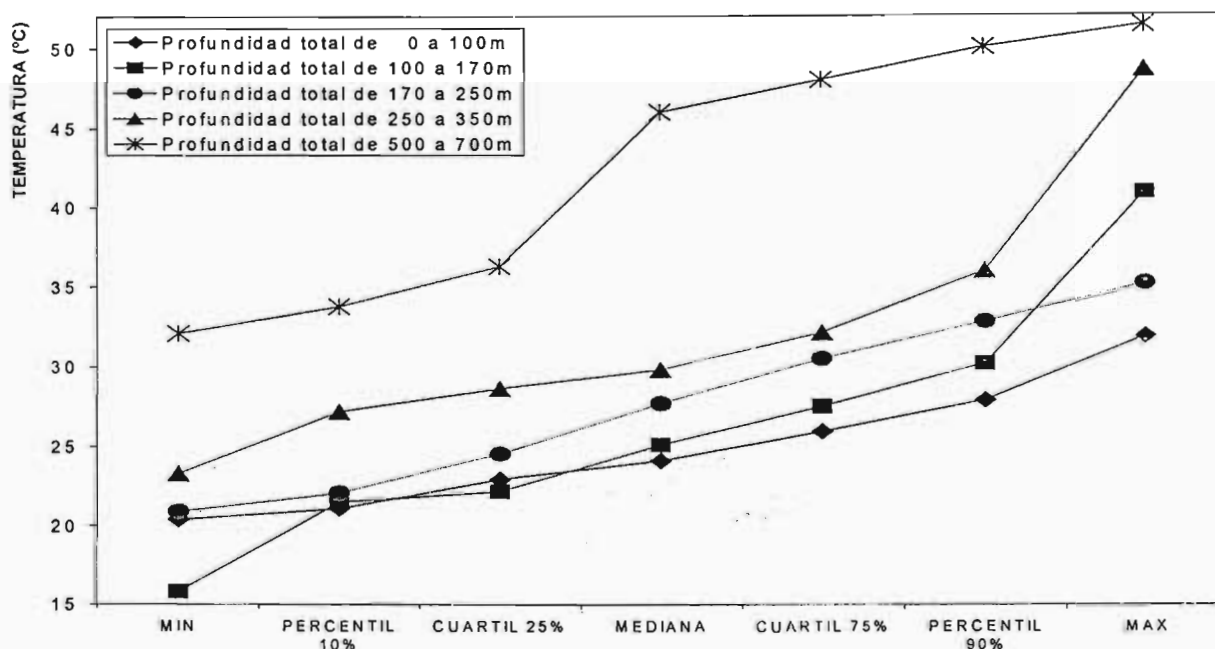


Figura 5.48. Valores de temperatura en la comparación a profundidad de 2003

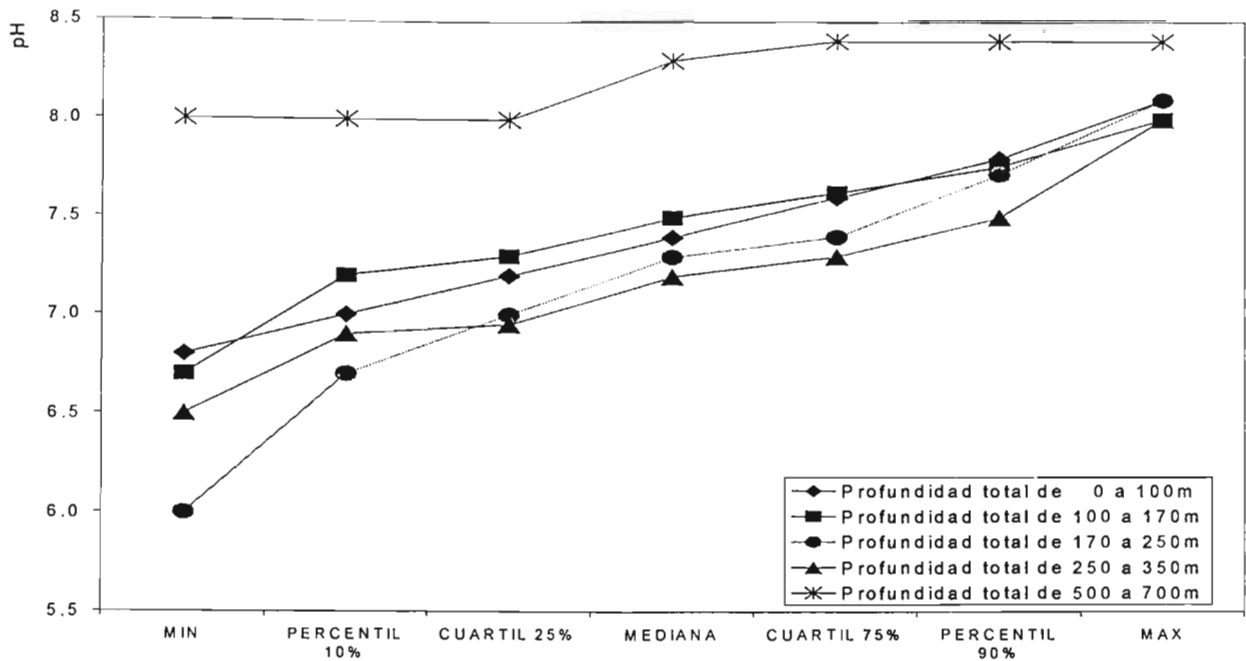


Figura 5.49. Concentración de pH en la comparación a profundidad en 2003

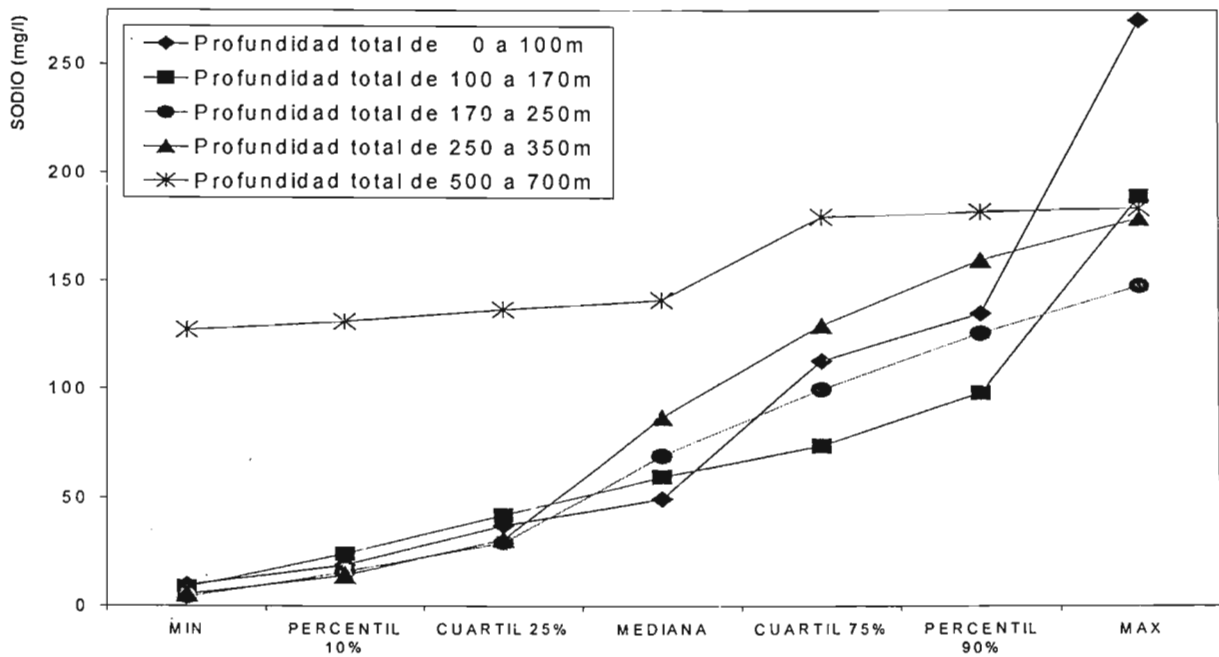


Figura 5.50. Concentración de sodio en la comparación a profundidad en 2003

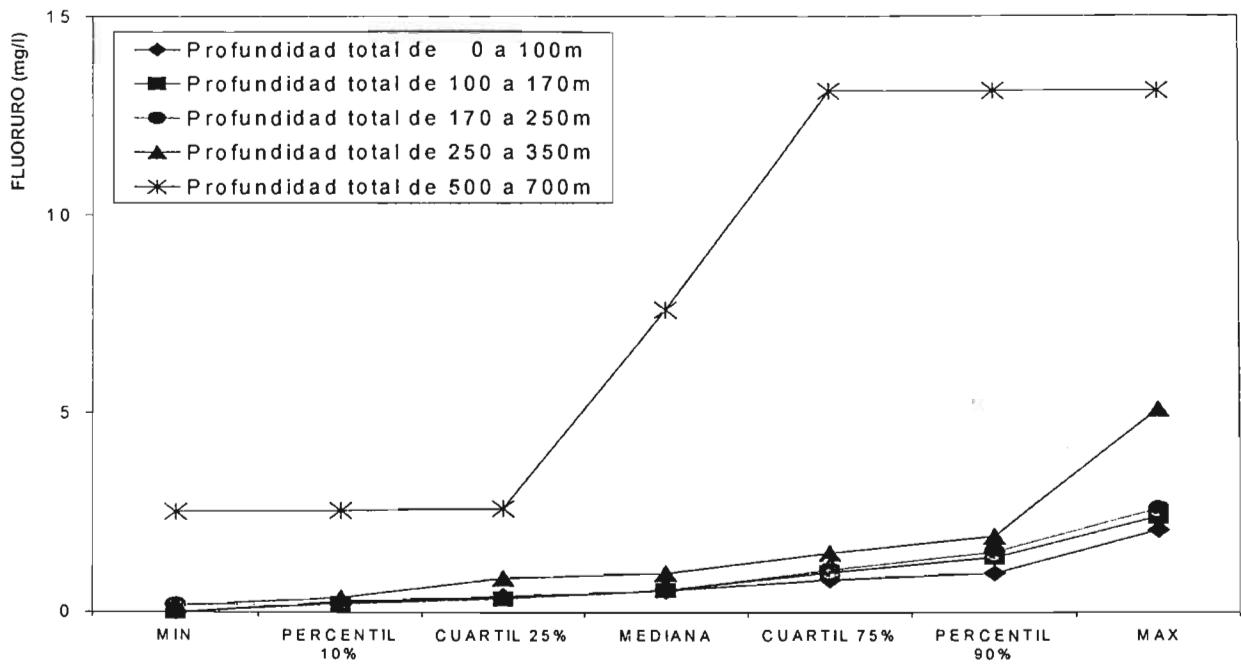


Figura 5.51. Concentración del fluoruro en la comparación a profundidad en 2003

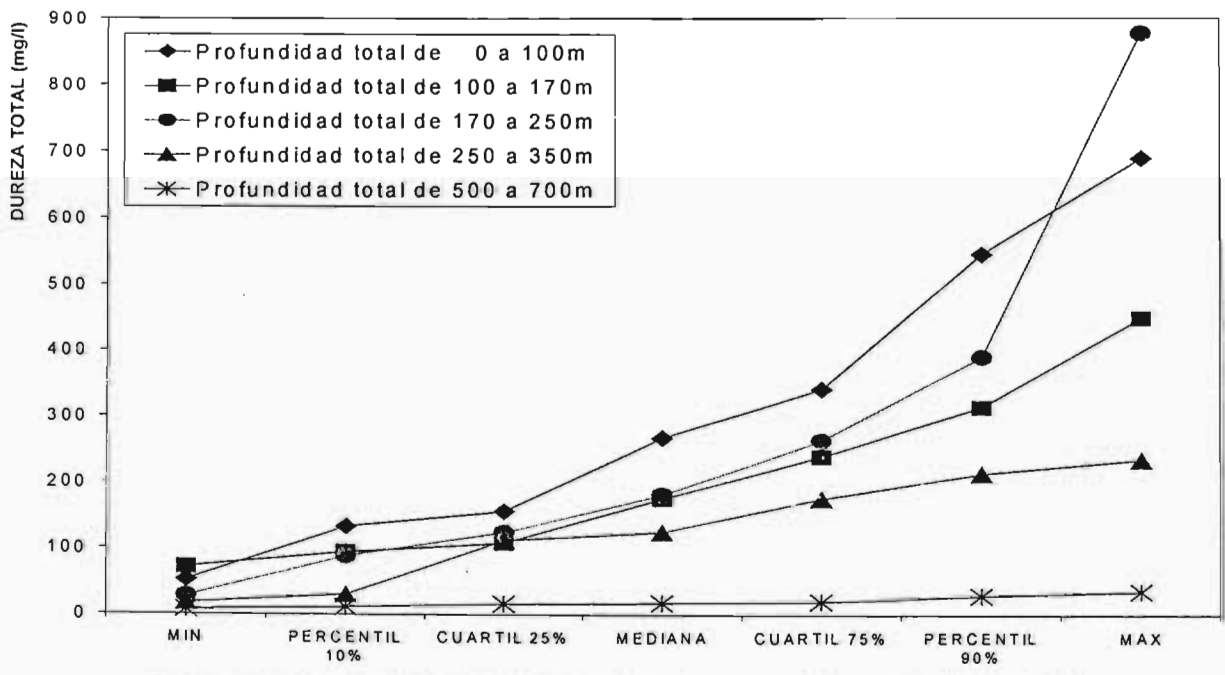


Figura 5.52. Concentración de la dureza total en la comparación a profundidad en 2003

5.5. INTEGRACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA AL MODELO CONCEPTUAL

De acuerdo con las zonas que se establecen como de recarga en el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico, es donde se presentan las menores salinidades; se detectan claramente estas regiones, que corresponden con salinidades que en general son menores a 500 mg/l. En lo que respecta a otros parámetros como la temperatura, la distribución de ésta para el año de 1979 se observa que predominan temperaturas en general no mayores a 25-27°C en la mayor parte de la zona que comprende el Acuífero Irapuato-Valle, lo que puede ser consistente con extracción sustentada por sistemas de flujo intermedios y/o locales (CNA, 2003).

La extracción de agua subterránea a lo largo de los años probablemente ha disminuido paulatinamente la potencialidad de los sistemas de flujo someros, a tal grado que los de tipo local probablemente estarían muy limitados. De este modo que al representar la evolución de la temperatura del agua subterránea para el periodo 1979-2003 se detecta un incremento generalizado de la temperatura del agua subterránea extraída en la zona de interés. Por lo tanto, probablemente el mejoramiento de la calidad del agua subterránea que se sugiere, probablemente se relacione con que en el año 2003 se capten sistemas de flujo diferentes a los que se captaban en el año de 1979, es decir, actualmente la extracción de agua subterránea está sustentada en sistemas de flujo que presentan mayor profundidad de circulación, por lo que corresponden con sistemas de flujo de escala regional (CNA, 2003).

La determinación de la evolución de cloruro para el periodo 1979-2003, parece confirmar lo establecido previamente. El mejoramiento de la calidad del agua que se detecta en la región al sur de la ciudad de Irapuato, seguramente se relaciona con el hecho de que en 1979 esa zona se irrigaba con aguas residuales, la extracción de agua subterránea agotó esa zona contaminada, por lo que para el año de 2003 se detecta una disminución de las concentraciones de cloruro. Desafortunadamente, para el año de 1979 no se tienen datos de nitrato u otro indicador de la contaminación antropogénica, con lo que sería posible validar las deducciones aquí establecidas (CNA, 2003).

En términos generales la conductividad eléctrica del agua subterránea en la zona de estudio, se manifestó un comportamiento similar entre los análisis de comparación temporal a nivel regional y local. Esto es, al realizar una comparación entre fechas contiguas, la conductividad eléctrica no presenta diferencia significativa, sin embargo al comparar las fechas más antiguas y recientes se observa un aumento en los valores de la conductividad eléctrica.

Los valores de pH comparados de forma regional no presentaron diferencia significativa, aunque de manera local la medición de pH en este estudio se presentó con valores menores a los monitoreos realizados con anterioridad.

Se presentan resultados semejantes entre la temperatura, sólidos disueltos totales y el calcio para la comparación realizada de forma regional, mientras que de manera local, la temperatura y los sólidos disueltos totales se mantuvieron en general sin variación.

El magnesio solamente se comparó de forma regional, en los resultados se observa que presentó un aumento en sus valores, del primer al segundo estudio, pero los valores disminuyeron del segundo al presente estudio, de tal manera que los valores del estudio del 79 con respecto al 2003 no presentan variación.

El sodio, en forma regional no presentó diferencia significativa, aunque de manera local se realizó solo una comparación en la cual se observa una disminución en sus valores entre las temporadas de estiaje y lluvia de 2003.

El potasio y el bicarbonato, presentan un comportamiento semejante en la comparación regional, del primer al segundo estudio se observa un aumento en sus valores, mientras que del segundo al presente estudio se muestra una disminución, aunque no es tal esa disminución que los valores del 2003 son aún mayores que los del primer estudio.

El carbonato solo se comparó de manera regional entre los primeros dos estudios, presentando una disminución en sus valores.

El sulfato y el cloruro en la comparación temporal regional se observa una disminución en los valores del presente estudio. Mientras que las comparaciones locales se presentan variaciones con respecto a lo regional; en la zona de Irapuato, los valores de sulfato y cloruro, disminuyen y se presentan sin diferencia significativa, respectivamente realizando la comparación con este estudio. Mientras que en la zona de Salamanca se observa un aumento.

La dureza total comparada temporalmente de forma regional, presenta una disminución del segundo al presente estudio. Mientras que en la zona de Irapuato no se presenta variación en la mayoría de las comparaciones; aunque, solamente en la comparación realizada entre las épocas de estiaje y lluvia de 2003 se observa un aumento en sus valores. En la zona de Salamanca los valores obtenidos en este estudio son mayores a los de 1997 y 2001.

El arsénico solo se comparó de forma local. En Irapuato no se presentó variación; mientras que en Salamanca se observa una disminución en la comparación entre las temporadas de estiaje y lluvia en 2003; no se presentó variación en los valores comparados de 1997 y 2003.

El manganeso se comparó temporalmente de forma local, presentando un comportamiento semejante en las zonas de Irapuato y Salamanca, se observa un aumento en la comparación de estiaje y lluvia de 2003. se presenta sin variación entre 1997 y 2003.

La comparación temporal realizada de manera regional presenta el siguiente comportamiento; de 1979 a 1998, los parámetros comparados se presentan sin variación o con aumento en sus valores (con excepción del carbonato); mientras que de 1998 a 2003, los valores de los parámetros comparados no presentan variación o han disminuido. No obstante, en la mayoría de los parámetros esta disminución no es de tal magnitud que los valores del 2003 sean menores o semejantes con los valores medidos en 1979.

Con respecto a los valores de piezometría medidos a nivel regional se observa un descenso promedio de 1.3m/año, de 1979 a 1998; mientras que en los monitoreos recientes de 1999 a 2003 se observa que se presenta mayor variación en los valores medidos en la temporada de estiaje que en la de lluvia, por lo que a habido recuperación en las últimas temporadas de lluvia, con una recuperación promedio de 0.3m/año.

En la comparación local en la zona de Irapuato se observa un comportamiento similar a los resultados obtenidos de forma regional, se realizaron comparaciones desde 1997 hasta 2003; los resultados indican que en la mayoría de los valores de los parámetros comparados no hay variación o han disminuido con respecto a las fechas antiguas de comparación. Los valores de los parámetros medidos en éste estudio (diciembre de 2003) en general son menores o sin variación con respecto a 1997 y 2001; mientras que con respecto a mayo y noviembre de 2003 son mayores o sin variación.

En la zona de Salamanca, de 1997 a 2001 los valores de los parámetros en general aumentaron, de 2001 a 2003 se observaron disminución o sin variación en la mayoría de los parámetros comparados. En la comparación entre 1997 y 2003 los valores comparados aumentaron o no variaron. En términos generales y de manera regional, se observa un efecto provocado por los eventos extraordinarios de precipitación pluvial de los últimos años, generando una mayor recarga para el acuífero, provocando que los niveles piezométricos se observen recuperados, asimismo los valores de los parámetros de la calidad del agua. Aunque de manera local, y en específico en las zonas urbanas los niveles piezométricos se han acentuado, provocando conos de abatimiento importantes, aunque pocos efectos negativos en la calidad del agua.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se obtuvo la evolución temporal de la información físico-química y bacteriológica del acuífero mediante la comparación de pruebas estadísticas a escala regional; así como localmente, en las ciudades de Irapuato y Salamanca. De la comparación se concluye que, a nivel regional, de 1979 a 1998, se han mantenido sin variación los valores de conductividad eléctrica, sodio, y sulfato y, por el contrario, se incrementaron la temperatura del agua, sólidos disueltos totales, calcio y cloruro entre otros. Mientras que de 1998 a 2003, principalmente disminuyeron la alcalinidad, sulfato, cloruro y dureza total, y se mantuvieron sin variación la conductividad eléctrica, temperatura, calcio y sodio.

Con respecto a las elevaciones piezométricas, se obtiene que regionalmente, de julio de 1998 a junio de 2003, el nivel del acuífero presentó un aumento promedio de 1,5 m; por lo cual, se incrementó a razón de 0,3 m/año. Por tanto, hay una relación directa entre los valores de los parámetros comparados y los niveles piezométricos; al haber mayor volumen de agua en el acuífero, los componentes físico-químicos en términos generales se ven diluidos.

De los aprovechamientos de Irapuato, de abril de 1997 hasta diciembre de 2003, se obtiene que el 69% de las comparaciones no observan variación, mientras que el 19% presentaron disminución en los valores y sólo el 12% presentó aumento en los valores de cada uno de los parámetros comparados. En los pozos de Salamanca, se observó que de agosto de 1997 a mayo de 2001 la mayoría de los valores comparados aumentaron y de mayo de 2001 a diciembre de 2003 se mantuvieron sin variación.

En términos generales y de manera regional, se observa que los eventos extraordinarios de precipitación pluvial de los últimos años han generado mayor recarga en el acuífero, provocando la recuperación del nivel piezométrico y la mejora de la calidad del agua. Aunque de manera local, en las zonas urbanas, los niveles piezométricos se hayan acentuado, provocando conos de abatimiento importantes, con pocos efectos negativos en la calidad del agua.

Con respecto a la comparación espacial de las zonas de recarga y zonas de desarrollo se observa que para 1979 no se presenta mayor alteración en la calidad del agua subterránea por contaminación de tipo antropogénico, solamente se cuenta con respecto a las zonas agrícolas oeste y sur, por otra parte, al comparar la zona de control este se observa algunas diferencias en la calidad con respecto a las zonas agrícolas norte y sur.

Al realizar la verificación entre zonas del mismo tipo de 1979 solamente se encuentran identificadas las zonas de control norte con la zona de control oeste y la zona agrícola sur con la zona agrícola oeste. Al

contrario se observan variaciones en la calidad de la zona de control este con respecto a las de control norte y sureste; los parámetros se observan en menor concentración en la zona de control este. y de igual forma la zona agrícola norte presenta menores concentraciones que las zonas agrícolas sur y oeste.

En la comparación espacial de 1998, no es posible encontrar variaciones debido a que el número de muestras consideradas en el estudio de 1998 son solamente 25, por lo que solo se pudo verificar las zonas agrícolas que cuentan con al menos cuatro muestras. De las variaciones más sobresalientes se observa que al contrario de 1979 la zona agrícola norte presenta mayor concentración de en la zona agrícola sur y ésta a su vez presenta mayor concentración que la zona agrícola oeste.

Otras diferencias que se observaron en la comparación espacial de 1998 es que se observa mayor temperatura en la zona agrícola oeste, al compararla con la agrícola norte. Por otro lado se presenta mayor contenido de bicarbonato en la zona agrícola sur con respecto a la zona agrícola norte.

En la comparación espacial de 2003 se observa una afectación de la calidad del agua subterránea al realizar comparaciones de las zonas desarrolladas con respecto a las zonas de control. Esta afectación es más notoria en las comparaciones realizadas en la porción sur del acuífero.

Al realizar las comparación entre las zonas de un mismo tipo en 2003, se presentan variaciones en prácticamente todas las comparaciones; solamente la zona especial al compararla con la verificación realizada en la misma zona no presenta ninguna variación significativa, aunque por otro lado, ésta zona presenta mayores concentraciones que todas las zonas agrícolas. Al realizar la verificación entre las zonas urbanas, se observa que sí afecta de manera distinta que en la ciudad se cuente con un complejo industrial como es el caso de Salamanca. Las zonas agrícolas presentan distintas concentraciones según su ubicación y zona de recarga aledaña.

En la comparación entre las profundidades de 2003 se puede observar que los parámetros que tiene que ver directamente con el medio geológico (rocas félsicas) como son la temperatura, el sodio, el potasio y el fluoruro presentan aumento conforme aumenta la profundidad de los pozos. Por otro lado, también se puede observar el efecto de la contaminación antropogénica en los pozos someros y el aumento de contenido de sólidos disueltos totales debido probablemente a las lluvias extraordinarias.

7. BIBLIOGRAFÍA

- CEASG, *Estudio hidrogeológico y modelo matemático del Acuífero del Valle de Irapuato – Valle de Santiago*. Documento del plan estatal hidráulico de Guanajuato, Geofísica de exploraciones Guysa, S.A. de C.V., 1998.
- CEAG, *Periodo de Informe: Enero-Diciembre del 2003*. Comisión Estatal del Agua de Guanajuato, Resultados de la red nacional de monitoreo, 2003.
- CGSNEGI, Anuario Estadístico del Estado de Guanajuato, edición 2002, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, Aguascalientes, Ags., 2002, 665 pp.
- http://www.cna.gob.mx/publica/estaticas/subdirecciones/html-GAS/disp_gas/disp_pub/estados/gto/gto.html
- CMAPAS, *Datos técnicos de los pozos de abastecimiento del sistema de agua potable de Salamanca y plano de la ciudad de Salamanca*, Comité Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Salamanca, Gto., Coordinación de Operación 2003.
- CNA, *Estadística del Agua en México*, Comisión Nacional del Agua, Un producto del Sistema Unificado de Información Básica del Agua (SUIBA), 2003.
- Comisión Nacional del Agua, Gerencia Estatal en Guanajuato, Residencia Técnica, Departamento de Saneamiento y Calidad del Agua, Resultados de la red nacional de monitoreo, Periodo de Informe: Enero-Diciembre del 2003.
- Comisión Nacional del Agua, Gerencia Estatal en Guanajuato, Residencia Técnica, Departamento de Saneamiento y Calidad del Agua, Resultados de la red nacional de monitoreo, Periodo de Informe: Enero-Diciembre del 2002.
- Comisión Nacional del Agua, Gerencia Estatal en Guanajuato, Subgerencia de Ingeniería, Departamento de Saneamiento y Calidad del Agua, Resultados de la red nacional de monitoreo, Año 2001.
- Comisión Nacional del Agua, Gerencia Estatal en Guanajuato, Subgerencia de Ingeniería, Departamento de Saneamiento y Calidad del Agua, Resultados de la red nacional de monitoreo, Informe del Año 2000.
- DATA MINING INSTITUTE S.L., 1997 – 2004
<http://www.estadistico.com/>
- Diario Oficial de la Federación, 1988, Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 28 de enero de 1988.
- Escolero, Ó. A. y Alcocer, J., *Desecación de los lagos cráter del Valle de Santiago, Guanajuato, El agua en México vista desde la Academia*, Editores: Jiménez, B. y Marín L., Coordinadores: Morán D.; Escolero Ó. y Alcocer, J., Academia Mexicana de Ciencias, México, 2004, por publicarse pp. 99-115.
- E. R. German, *Analysis of nonpoint-source ground water contamination in relation to land use: Assessment of nonpoint-source contamination in central Florida*. U. S. Geological Survey Water-Supply paper 2381-F. 1996, 60pp.

Pértega Díaza Sonia y Pita Fernández Salvador, Asociación de variables cualitativas: El test exacto de Fisher y el test de McNemar. <http://www.fisterra.com/mbe/investigacion/fisher/fisher.asp> actualizada el 14/11/2004. Visitada el 16/05/2005

Sistema Unificado de Información Básica del Agua (SUIBA)

Gerencia de Aguas Subterráneas, 2003

IMTA, Velasco, V. Israel, Diagnóstico Operativo del Distrito de Riego 011, Alto Río Lerma, Gto., Jiutepec, Morelos: IMTA, Coordinación de Tecnología de Riego y Drenaje, Subcoordinación de Operación y Mantenimiento, 150 / 1994.

IMTA, Sistema de información Hidroagrícola de Distritos de Riego, 2001.

IMTA, *Estudio de contaminación difusa en el agua subterránea en el acuífero Irapuato-Valle, Gto.* Diciembre de 2003, 323 pp.

INEGI, *Estadísticas del Medio Ambiente México 1994*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes, Ags., 1995, 447 pp.

INEGI, Conjunto de datos vectoriales de la carta topográfica 1:250,000, Querétaro F14-10, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, Aguascalientes, Ags., 2000.

INEGI, Tabulados Básicos Nacionales y por Entidad Federativa. Base de Datos y Tabulados de la Muestra Censal. XII Censo General de Población y Vivienda, 2000. Aguascalientes, Ags., México, 2001.

JAPAMI, Información general de pozos de abastecimiento del sistema de agua potable de Irapuato y plano de la ciudad de Irapuato, Junta de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Irapuato, Gto., Consejo de Administración 2001-2003.

Johnson, "Estadística para ingenieros", Editores Miller y Freud, 5ª edición, Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., Naucalpan de Juárez, Edo. de México, 1997, 630 pp.

NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. "Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. México", Diario Oficial/18-1-1996, 1994, pp. 41-49.

Piezometría (Lluvias 2000), Acuífero Irapuato - Valle de Santiago, Depto. de Aguas Subterráneas, CNA.

Richard Lowry, Mann-Whitney Test: $n_a = NaN$; $n_b = NaN$, VassarStats, 2001 - 2005, <http://faculty.vassar.edu/lowry/utest.html>, visitada en el 2005

SARH, Estudio Geohidrológico Cuantitativo de los Acuíferos del Alto Lerma, Guanajuato. México, Geohidrológica Mexicana, S.A., 1979.

SSA, Resultados emitidos por la Secretaría de Salud de fuentes de abastecimiento que contienen contaminantes, de acuerdo con la norma 127-SSAI-1995.

W. Mendenhall et al, "Estadística Matemática con Aplicaciones" 2ª edición, Grupo editorial Iberoamérica, S.A. de C.V. México, D. F., 1994, 772 pp.

<http://www.guanajuato.gob.mx/coepes/filo-cienti-fii-CI.htm>
Gobierno del Estado de Guanajuato