Comisión Nacional del Agua
Subdirección General Técnica
Gerencia de Aguas Subterráneas
Subgerencia de Evaluación y
Ordenamiento de Acuíferos

Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Navidad-Potosí-Raíces (1916), Estado de Nuevo León

Publicada en el Diario Oficial de la Federación
20 de abril de 2015

Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea

Publicada en el diario oficial de la federación el 20 de Abril de 2015

El artículo 22 segundo párrafo de la Ley de Aguas Nacionales (LAN), señala que para el otorgamiento de una concesión o asignación, debe tomarse en cuenta la disponibilidad media anual del agua, que se revisará al menos cada tres años; sujetándose a lo dispuesto por la LAN y su reglamento.

Del resultado de estudios técnicos recientes, se concluyó que existe una modificación en la disponibilidad de agua subterránea, debido a cambios en el régimen natural de recarga, volumen concesionado y/o descarga natural comprometida; por lo que se ha modificado el valor de la disponibilidad media anual de agua.

La actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea publicada en este documento corresponde a una fecha de corte en el **Registro Público de Derechos de Agua al 30 de junio de 2014.**

CCCXLVIII REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "RÍO BRAVO"

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
ESTADO DE NUEVO LEÓN							
1916	NAVIDAD-POTOSÍ-RAÍCES	98.0	0.0	157.295590	144.2	0.000000	-59.295590

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.

Comisión Nacional del Agua

Subdirección General Técnica

Gerencia de Aguas Subterráneas

Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO NAVIDAD-POTOSÍ-RAÍCES, ESTADO DE NUEVO LEÓN

1.	**GENERALIDADES……..... 3**	
	Antecedentes…….. 3	
1.1.	Localización…….	3
1.1.1	Coordenadas……..	4
1.1.2	Municipios……...	5
1.1.3	Población……	5
1.2	Situación administrativa del acuífero……..	5
2.	**ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD……... 6**	
3.	**FISIOGRAFÍA……. 8**	
3.1	Provincia fisiográfica…….	8
3.2	Clima…….	8
3.2.1	Temperatura media anual…….	8
3.2.2	Precipitación media anual…….	8
3.2.3	Evaporación potencial media anual…….	9
3.3	Hidrografía……..	9
3.3.1	Región hidrológica…….	9
3.3.2	Subregión…….	9
3.3.3	Cuenca…….	9
3.3.5	Infraestructura hidráulica…….	9
3.4	Geomorfología…….	10
4.	**GEOLOGÍA……..... 10**	
4.1	Estratigrafía…….	10
4.2	Geología estructural…….	13
4.3	Geología del subsuelo……..	13
5.	**HIDROGEOLOGÍA……. 14**	
5.1	Tipo de acuífero…….	14
5.2	Parámetros hidráulicos…….	15
5.3	Piezometría…….	15
5.4	Comportamiento hidráulico……..	16
5.4.1	Profundidad al nivel estático…….	16
5.4.2	Elevación del nivel estático…….	16
5.4.3	Evolución del nivel estático……..	19
5.5	Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea…….	19
6.	**CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA……... 20**	
7.	**BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS……. 20**	
7.1	Entradas…….	20
7.1.1	Recarga natural……..	21
7.1.2	Recarga inducida……..	22
7.1.3	Flujo subterráneo horizontal…….	22
7.2	Salidas …….	23
7.2.1	Evapotranspiración…….	23
7.2.2	Descarga natural…….	23

7.2.3 Bombeo……. 23
7.2.4 Flujo subterráneo horizontal…… 24
7.3 Cambio de almacenamiento……. 24

8. DISPONIBILIDAD…….. 24
8.1 Recarga total media anual……... 24
8.2 Descarga natural comprometida……. 24
8.3 Rendimiento permanente……. 25
8.4 Volumen concesionado de aguas subterráneas…….. 26
8.5 Disponibilidad de aguas subterráneas……... 26

9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS…… 27

1. GENERALIDADES

Antecedentes

La Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento (LAN) contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, por acuífero en el caso de las aguas subterráneas, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 “Norma Oficial Mexicana que establece el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas provenientes de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, organismos de los gobiernos de los estados y municipios, y de la CONAGUA.

El método que establece la NOM indica que para calcular la disponibilidad de aguas subterráneas deberá de realizarse un balance de las mismas, donde se defina de manera precisa la recarga de los acuíferos, y de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA)

El cálculo de la disponibilidad obtenida permitirá una mejor administración del recurso hídrico subterráneo ya que el otorgamiento de nuevas concesiones sólo podrá efectuarse en acuíferos con disponibilidad de agua subterránea. Los datos técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información necesaria, en donde quede claramente especificado el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar, considerando los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y los usuarios registrados con derechos vigentes en el REPDA. La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para fines de administración del recurso, en la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, en los planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, y en las estrategias para resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

1.1 LOCALIZACIÓN

El área del acuífero comprende una superficie aproximada de 4207 km^2, se encuentra ubicado en la parte sur del estado de Nuevo León. Geográficamente se localiza como se muestra en la Figura No. 1, donde se aprecia que en la zona norponiente coincide con el límite estatal de Coahuila.

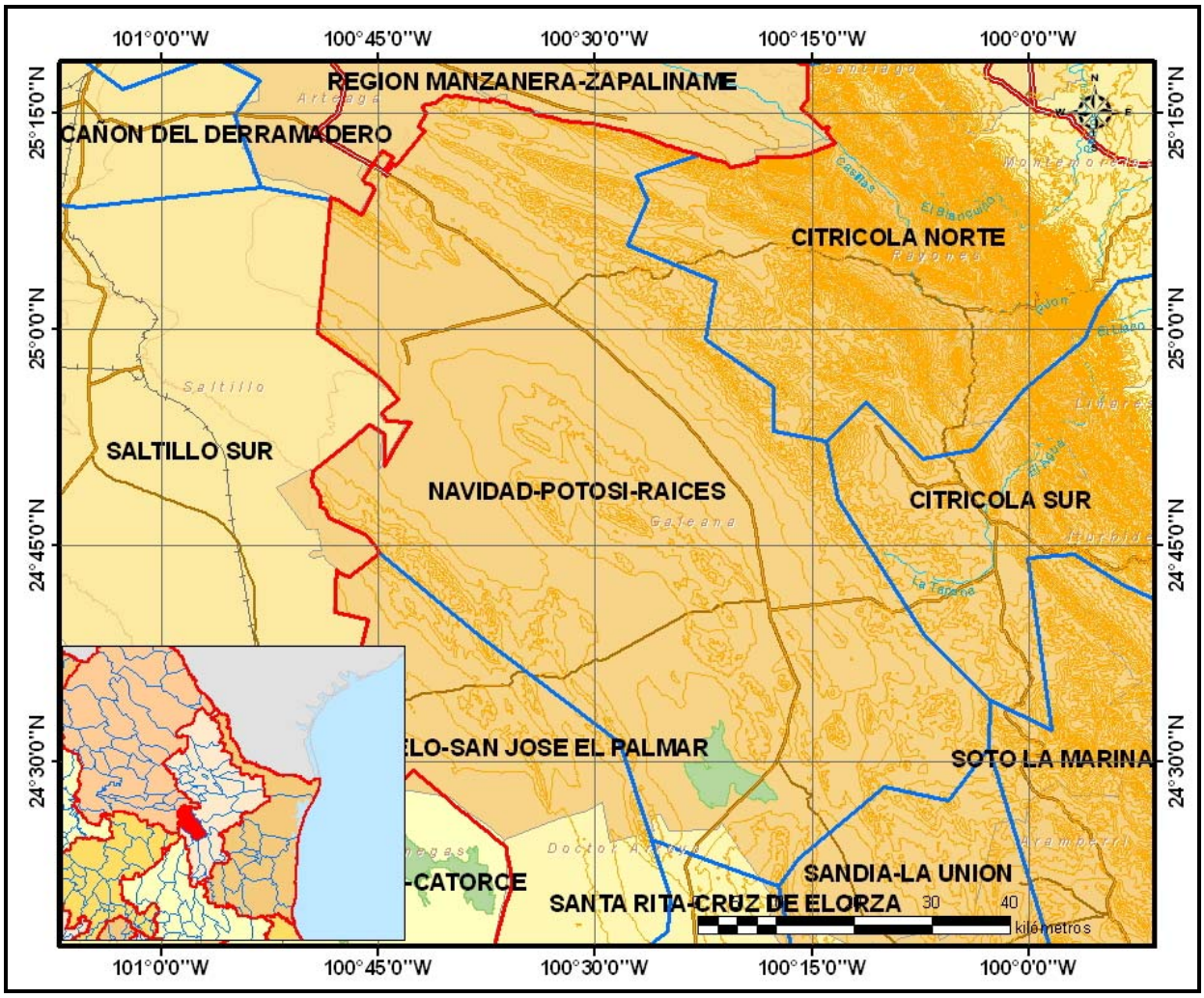

Figura No. 1. Localización del acuífero.

1.1.1 Coordenadas

El acuífero Navidad-Potosí-Raíces quedó designado con la clave 1916 del Sistema de Información Geográfica del Agua Subterránea (SIGMAS) por la Gerencia de Aguas Subterráneas de la CNA. Asimismo, en la Tabla No. 1 se indican las coordenadas del polígono para enmarcar el área de l acuífero.

Tabla No. 1. Coordenadas que definen el área del acuífero Navidad-Potosí-Raíces

ACUIFERO 1916 NAVIDAD-POTOSI-RAICES

VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	100	17	40.6	24	52	57.0	
2	100	13	59.5	24	52	16.4	
3	100	13	12.0	24	48	13.5	
4	100	7	15.5	24	38	57.5	
5	100	2	42.7	24	34	19.4	
6	100	2	45.4	24	30	58.8	
7	100	5	35.0	24	27	19.4	
8	100	10	2.4	24	28	19.1	
9	100	15	58.1	24	23	17.6	
10	100	17	19.0	24	21	26.0	
11	100	26	9.0	24	24	37.7	
12	100	28	16.2	24	31	20.9	
13	100	37	49.7	24	38	33.7	
14	100	44	55.7	24	44	32.2	DEL 14 AL 15 POR EL LIMITE ESTATAL
15	100	48	18.8	25	8	58.0	DEL 15 AL 16 POR EL LIMITE ESTATAL
16	100	22	50.8	25	12	6.7	
17	100	27	7.7	25	10	40.2	
18	100	26	23.2	25	8	57.3	
19	100	27	47.6	25	5	49.6	
20	100	21	40.1	25	3	20.3	
21	100	22	22.0	24	59	19.5	
22	100	17	40.6	24	55	57.2	
1	100	17	40.6	24	52	57.0	

1.1.2 Municipios

De acuerdo con la división política del estado de Nuevo León, el acuífero abarca básicamente y en forma parcial, el municipio de Galeana.

1.1.3. Población

Entre las principales poblaciones que se localizan dentro del municipio de Galeana y comprendidas en la zona del acuífero se encuentran: Catarino Rodríguez, El Carmen, El Castillo, El Coyote, El Cristal, El Milagro, El Prado, El Tepozán, Esmeralda, Jesús María Aguirre, La Boca del Refugio, La Carbonera, La Hedionilla, La Leona, La Paz, Las Delicias, Los Adobes, Puerto México, Refugio de Ibarra, San Antonio Salero, San José de Raíces, San Pablo de Raíces, San Rafael, San Roberto, San Urbet, Santa Clara de C., Santa María de Ramos, Santo Domingo, Tanquecillos y Tokio.

De conformidad con datos de CONAPO el municipio de Galeana para el año 2000 contaba con una población de 40,009 habitantes, mientras que de acuerdo a sus estimaciones, para el año 2004, se espera que sea del orden de 40,420 habitantes.

1.2 SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO

El acuífero se localiza dentro de la veda que describe el Decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos en la superficie comprendida dentro del límite geopolítico del municipio de Galeana, estado de Nuevo León, para el mejor control de las extracciones, uso y aprovechamiento de aguas del subsuelo en dicha zona. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 7 de julio de 1978.

En dicho Decreto se establece veda por causa de interés público, por tiempo indefinido para las extracciones, alumbramiento y aprovechamiento de aguas del subsuelo en la región mencionada.

Excepto cuando se trate de extracciones para uso doméstico y de abrevadero que se realicen por medios manuales desde la vigencia del presente Decreto, nadie podrá ejecutar obras de alumbramiento de aguas del subsuelo dentro de la zona vedada, sin contar previamente con el correspondiente permiso de construcción otorgado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, ni extraer o aprovechar las mencionadas aguas sin la concesión o asignación que expida también, según el caso, la propia Secretaría.

El acuífero Navidad-Potosí-Raíces queda comprendido dentro de la Región Administrativa VII Cuencas Centrales del Norte; forma parte del Consejo de Cuenca del Altiplano y no cuenta con un Comité Técnico de Aguas subterráneas, COTAS.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

A continuación se enlistan los estudios que se disponen sobre el estudio del acuífero Navidad-Potosí-Raíces.

Estudios Agrológicos y Geohidrológicos de la zona del Cuije – Potosí – Raíces del Estado de Nuevo León, realizado en 1977, por la empresa, Ingeniería y Geotecnia, S.A.

Entre los aspectos relevantes se menciona que en el Valle El Potosí se tienen dos acuíferos, el primero de tipo granular conformado por depósitos de tipo aluvial, lacustre y de pie de monte; el segundo acuífero se localiza en las rocas carbonatadas de las Formaciones geológicas Cuesta del Cura, Aurora y Cupido. La extracción de agua subterránea reportada para el acuífero granular fue de 77 hm^3/año. En cuanto a la calidad del agua subterránea se presentaron contenidos de sólidos totales disueltos con valores entre 300 y 2, 500 partes por millón.

Estudio integral de la zona El Potosí, Estado de Nuevo León, elaborado en 1979 por la empresa Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A. Entre los aspectos relevantes se menciona que en el Valle El Potosí se tienen acuíferos en medio granular y acuíferos en rocas carbonatadas y fracturadas. De pruebas de bombeo se obtuvo una transmisividad de $2x10^{-3}$ m^2/s, para el acuífero granular, y de 12 a $400x10^{-3}$ m^2/s, para el acuífero en rocas calcáreas. Respecto a la calidad del agua se manifiesta que en el acuífero granular se tienen valores mayores de 1500 ppm (partes por millón).

Actualización de las Condiciones Piezométricas de los Campos de Pozos Aires, Mina, Zona Citrícola, Sabinas-Parás, Valle Navidad-Potosí-Raíces. Realizado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1987. Entre los aspectos más relevantes relativos al acuífero Valle Navidad-Potosí-Raíces, el estudio contempla trabajos de piezometría con información de 1987.

Estudio de simulación hidrodinámica de los acuíferos de Saltillo-Ramos Arizpe, Coah, y Navidad-Potosí-Raíces, N.L., elaborado por la empresa Consultores Infraestructura y Servicios, S.A. de C.V. para la Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas, 1999

Entre los resultados relevantes alcanzados por el estudio se presentan los aspectos generales de la región donde se localiza el acuífero como su clima, hidrografía y geología, asimismo, se determinaron y expusieron datos genéricos de hidrogeología.

El modelo de simulación hidrodinámica del acuífero se efectuó con el código numérico VISUAL MODFLOW versión 2.0. El área de estudio se discretizó mediante una malla regular de 1 km por lado, de 26 columnas y 94 renglones, cubriendo un área total de 2,444 km^2, con un área activa de 1,204 km^2.

La discretización vertical consideró las unidades hidrogeológicas definidas en el modelo conceptual resultando un modelo de tres capas. La primera representa la unidad del material granular aluvial que se extiende aproximadamente hasta 150 m, de profundidad, le subyacen dos capas que corresponden a las calizas con espesores de 100 a 300 m. Los datos de conductividades hidráulicas y demás parámetros se proporcionaron de acuerdo a la información disponible.

El modelo se realizó en estado estacionario, para la simulación se consideró que el sistema acuífero estaba en condiciones naturales por lo cual se definieron únicamente cargas hidráulicas constantes (tipo Dirichlet) en las fronteras. La información piezométrica disponible más antigua corresponde a los niveles piezométricos del año 1974 los cuales se consideraron como representativos de las condiciones establecidas del acuífero.

Se realizó un análisis de sensibilidad variando el parámetro de conductividad hidráulica. Al respecto se observó que en el modelo no existe una influencia importante de ella.

Debido a que el balance se realizó en condiciones establecidas no se hizo intervenir al bombeo ni al cambio de almacenamiento y por tanto tampoco al cambio de cargas piezométricas dentro del acuífero, asimismo, se consideró que la recarga natural representativa es por infiltración de agua de lluvia que se precipita en las partes altas y que llega a presentarse como entradas horizontales en las zonas de pie de monte.

De acuerdo con el planteamiento de la ecuación del balance geohidrológico y de una corrida del modelo de simulación hidrodinámica del acuífero, se determinó como entradas, el valor de la componente por flujo horizontal subterráneo con valor de 38.97 hm^3/año y como salidas se obtuvieron tanto las originadas por flujo horizontal subterráneo con un valor de 0.21 hm^3/año, así como la evapotranspiración con valor de 38.76 hm3/año.

Respecto a la red de monitoreo se ofrecen algunas recomendaciones para el establecimiento de la misma.

En el año 2002, la Comisión Nacional del Agua, a través de la empresa Ingeniería Geológica Computarizada, S.A de C.V, realizó la reactivación de redes de monitoreo piezométrico de los acuíferos de los Valles de: Zona Citricota Norte, Área Metropolitana de Monterrey y Navidad-Potosí, Edo. de Nuevo León, al respecto se estableció una red de monitoreo para la obtención de información hidrogeológica y piezométrica de estos acuíferos, a efecto de conocer las condiciones de los niveles del agua subterránea.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 PROVINCIA FISIOGRÁFICA

El acuífero Navidad-Potosí-Raíces se encuentra dentro de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Oriental, asimismo, la mayor parte del área y que contiene a la zona central de ella, corresponde a la Subprovincia Sierras y Llanuras Occidentales, mientras que en menor proporción y hacia las sierras del nororiente y oriente, entre las que se encuentra la sierra El Potosí, la zona se encuentra dentro de la Subprovincia Gran Sierra Plegada y una pequeña parte de la zona poniente donde se localiza la sierra Las Mazmorras está dentro de la Subprovincia Sierras Transversales.

3.2 CLIMA

Según los criterios de Wilhem Köppen modificados por Enriqueta García, en el área se presentan varios tipos de clima, siendo los que predominan el tipo BS_0 seco subtipo BS_0 kx' seco templado hacia las partes bajas, y del tipo BS_1 semiseco subtipo BS_1 kx' semiseco templado hacia las sierras; hacia otras alturas como en las inmediaciones de las sierras Las Mazmorras, Esmeralda y El Potosí el tipo es Cx' templado subhúmedo. Los climas en esta región se presentan con lluvias escasas todo el año y porcentaje de precipitación invernal mayor de 18.

3.2.1 Temperatura media anual

El promedio anual de la temperatura para las zonas de menor altitud varía entre 16 y 17° C, y las zonas de mayor altitud donde se encuentran las sierras oscila entre de 14 y 16° C.

3.2.2 Precipitación media anual

La precipitación promedio anual varía de acuerdo a las altitudes del terreno, correspondiendo a las zonas bajas un promedio anual que oscila aproximadamente entre 300 mm a 400 mm; para las partes altas es del orden de 400 a 500 mm.

3.2.3 Evaporación potencial media anual

De acuerdo a la información referente a la evapotranspiración de los registros del Servicio Meteorológico Nacional, en la zona se reportan valores de evapotranspiración potencial del orden de 1,648 mm/año.

3.3 HIDROGRAFÍA

La zona del acuífero está contenida en la Región Hidrológica No. 37 El Salado, la cual es una de las más importantes del país. Este conjunto hidrográfico está constituido por una serie de cuencas cerradas de diferentes dimensiones con escurrimientos de poca relevancia, encontrándose las redes de drenaje ubicadas en las vertientes de las serranías y de los accidentes orográficos de los alrededores. Así, las corrientes que pueden formarse son de tipo intermitente. Es importante destacar que los suelos en el área de interés son salinos y salino-sódicos, siendo probable la presencia de una fuerte evaporación de los sistemas de agua subterránea.

Las altitudes de las sierras que conforman el parteaguas varían en un rango amplio que va de los 2,000 a los 3,000 msnm, encontrándose valores mayores a 3,000 msnm en la Sierra El Potosí, ubicada al este del área de interés. En la parte baja, la cual abarca el mayor porcentaje de la superficie de la cuenca, la cota media es 1,900 msnm con pendientes prácticamente nulas en la parte central aumentando conforme se aproxima al pie de las serranías.

Debido a que las corrientes son de poca relevancia en el área no existen corrientes principales, asimismo, no se cuenta con estaciones hidrométricas.

3.3.1 Región Hidrológica

Pertenece a la Región Hidrológica No. 37 El Salado

3.3.2 Subregión

El Salado

3.3.3 Cuenca

Sierra Madre Oriental

3.3.4 Infraestructura hidráulica

En el área prácticamente no existen obras para el aprovechamiento de las aguas superficiales.

Respecto a las obras que existen para aprovechar los recursos hídricos subterráneos estas se pueden consultar en el apartado de Censo de aprovechamientos subterráneos.

3.4 GEOMORFOLOGÍA

La región de Potosí se halla ubicada en la parte sur de la estructura denominada por Padilla y Sánchez (1985) como Curvatura de Monterrey. El relieve de esta subprovincia está ligado a una evolución tectónica muy compleja la cual dio como resultado estructuras fuertemente plegadas de rocas sedimentarias del Jurásico Superior (Formación Olvido) y del Cretácico (formaciones La Casita, Taraises, Cupido, La Peña, Cuesta del Cura y Agua Nueva).

La secuencia sedimentaria está constituida por caliza, caliza arcillosa y yeso. Son comunes los pliegues recostados, así como las cabalgaduras al oriente de la zona y, en algunos lugares, se encuentran estructuras en forma de diapiros. En conjunto, el relieve se caracteriza por una serie de cadenas montañosas, valles intermontanos y depresiones kársticas, cuya dirección predominante es NW-SE; la red hidrográfica también presenta esta orientación general.

Las vertientes de las sierras tienen una pendiente muy fuerte y se encuentran múltiples cornisas, escarpes y paredes subverticales; el fondo de los valles es estrecho y está parcialmente cubierto por los materiales provenientes de las vertientes.

Las elevaciones principales superan los 3,000 m de altitud, destacándose en la región el cerro de Potosí con 3,760 msnm, el más alto en todo el noreste de México.

Las condiciones climáticas y litológicas de la zona hacen que el drenaje sea de régimen estacional, con excepción de las corrientes alimentadas por manantiales.

Superficialmente se considera una unidad hidrogeomorfológica a los depósitos aluvio-lacustres que colmatan a los valles. Otra unidad son las rocas calizas que conforman a las sierras, principalmente, de las formaciones Cupido y Cuesta del Cura.

En términos genéricos, las condiciones geomorfológicas que se suscitan en el valle Navidad - Potosí - Raíces juegan un papel preponderante en la recarga natural del sistema acuífero de la zona, ya que los procesos de plegamiento, erosión e intemperismo de los depósitos carbonatados incrementan la permeabilidad de los mismos.

4. GEOLOGÍA

4.1 ESTRATIGRAFÍA

La litología del área está integrada por una secuencia sedimentaria esencialmente marina formada por caliza, caliza arcillosa y yeso que comprende desde el Jurásico Superior hasta el Cretácico Superior. Gran parte de esta litología está cubierta por sedimentos cuaternarios. Figura No. 2.

A continuación se describe la columna estratigráfica de la zona.

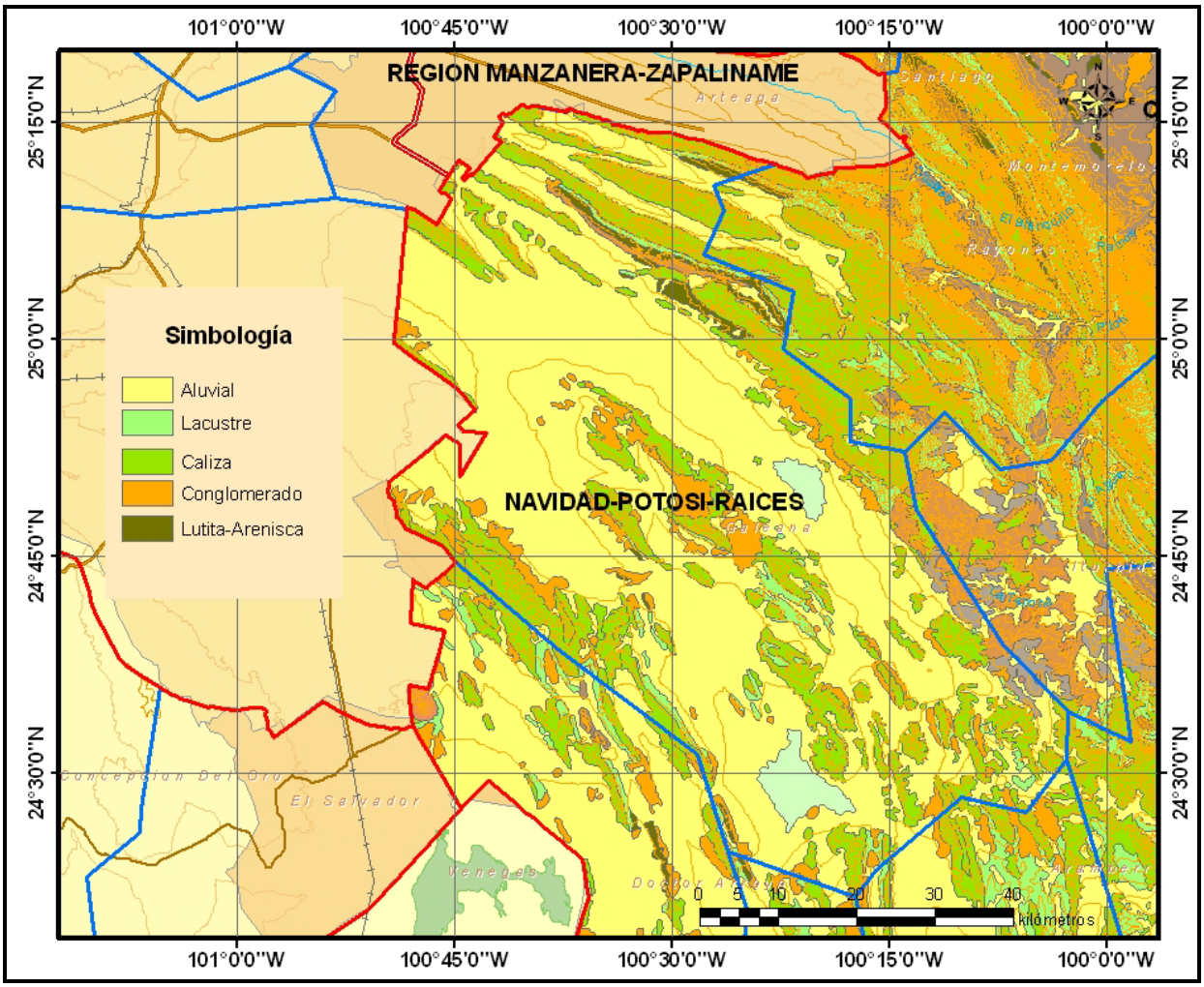

Figura No. 2. Mapa Geológico.

Grupo Huizachal. Las rocas más antiguas que afloran en algunas zonas de la "Curvatura de Monterrey" han sido asignadas al Grupo Huizachal del Triásico Tardío. La unidad consiste principalmente de lechos rojos, más finos hacia la base y más gruesos hacia la cima que representan depósitos netamente continentales. Estas rocas han sido interpretadas como resultado de la erosión de horsts formados en el Mesozoico Temprano.

Formación Olvido. Constituida por yesos y dolomías intercalados con horizontes delgados de lutitas que conforman el núcleo de los anticlinales del área. Esta formación subyace concordantemente a la Formación La Casita y sobreyace en discordancia tectónica a la Formación Huizachal del Jurásico Superior. Se le ha asignado una edad del Oxfordiano-Argoviano. Esta formación aflora en la zona de San José Raíces y Boca de Refugio; se considera que en la zona de Navidad-Potosí-Raíces llega a tener hasta 250 m de espesor.

Formación La Casita. Presenta en la parte superior lutitas carbonosas de color gris oscuro en estratos gruesos que contienen pelecípodos. En la parte media tiene lutitas

de color gris claro y limolitas intercaladas con horizontes de yeso de hasta 4 cm de espesor; hacia la base contiene calizas arenosas negras en estratos que varían de delgados a ligeramente gruesos, en ocasiones contiene fósiles de amonitas. Conforma lomas pequeñas de pendientes suaves, que por lo general bordean depresiones kársticas desarrolladas en la Formación Olvido, unidad a la que sobreyace. La edad asignada a la Formación La Casita es portlandiana. Se estima que esta formación en la zona llega a tener hasta 250 m de espesor.

Formación Taraises. Contiene calizas en estratos medianos de color gris oscuro, así como calizas arcillosas de color gris claro en estratos delgados que alternan con horizontes de lutitas en la parte superior. Se han reportado en esta formación fósiles de amonitas. Su edad corresponde al Berriasiano-Hauteriviano, sobreyace a la Formación La Casita y subyace a la Caliza Cupido. Se considera que esta formación en la zona presenta hasta 350 m de espesor.

Formación Cupido. Conformada por calizas de color gris claro y de estratos gruesos intercalados con estratos delgados de calizas arcillosas. Contiene concreciones de pirita, nódulos de pedernal y abundantes fósiles de gasterópodos y miliólidos. Como estas calizas son masivas y fuertemente fracturadas, facilitan el desarrollo de los procesos kársticos. Se le ha asignado una edad del Hauteriviano-Barremiano. Subyace a la Formación La Peña y sobreyace a la Formación Taraises. Se considera que la Formación Cupido en la zona presenta hasta 600 m de espesor.

Formación La Peña. Constituida por una secuencia de estratos delgados de caliza arcillosa de color gris claro alternando con estratos de lutita calcárea. En su parte inferior muestra concreciones de pirita y nódulos de pedernal; éstos últimos, en la parte superior forman bandas delgadas. La fauna está representada por fósiles de amonitas y pelecípodos. Se le ha asignado una edad del Aptiano-Albiano. Se estima que el espesor de esta formación en el área es de 20 a 50 m.

Formación Cuesta del Cura. Consiste de calizas de color gris claro en estratos medianos a gruesos que, hacia la cima, se intercalan con lutitas; asimismo, llegan a presentar nódulos y bandas gruesas de pedernal. Contiene fósiles de amonitas y foraminíferos. La edad asignada es del Albiano – Cenomaniano. Tanto las calizas de la Formación Cupido como las de la Formación Cuesta del Cura originan relieves muy abruptos en el área. Se considera que esta formación en la zona presenta de 150 a 300 m de espesor.

Depósitos Granulares del Cuaternario. Ocupan los valles que corresponden a sinclinales recostados están representados por depósitos aluvio-lacustres constituidos por arenas, gravas y arcillas así como depósitos de piamonte conformados por gravas y arenas.

4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Los pliegues y fallas de la denominada Curvatura de Monterrey varían bastante en forma y tamaño. Éstos constituyen la cadena alta de la Sierra Madre Oriental y contrastan con los pliegues del extremo sur del Golfo de Sabinas, con los pliegues de la parte oriental de la Cuenca de Parras y con las tierras bajas de la Planicie Costera del Golfo. De acuerdo a una división de estilos de plegamiento que se realizó, Padilla y Sánchez (1985), el acuífero de Navidad-Potosí-Raíces se ubica dentro del área denominada “basamento somero de largos pliegues”, casi simétricos y de gran amplitud que contienen numerosos pliegues secundarios y apretados un ejemplo es el Anticlinal Potosí. Una descripción más detallada de este, es la siguiente:

El Anticlinal Potosí es probablemente la estructura más sobresaliente en la Curvatura de Monterrey debido a su tamaño (más de 50 km de longitud), a su longitud de onda de aproximadamente 10 km y a su amplitud estimada en más de 4 km. El Potosí es un anticlinal muy amplio, asimétrico y “abierto”, que contrasta notablemente con los pliegues más apretados que lo rodean. Su terminación noroccidental buza suavemente (~30°) al noroeste, mientras que hacia el sur parece bifurcarse en varios pliegues más pequeños. Su plano axial es casi vertical, pero tiene una ligera inclinación de unos cuantos grados hacia el suroeste. Las rocas más antiguas que se conocen en la Curvatura de Monterrey son las que se encuentran expuestas en su núcleo (Grupo Huizachal). Numerosos pliegues secundarios, sin orientación preferente, están presentes en las rocas de la Formación Olvido, en la Sierra de los Rincones, la cual es parte del Anticlinal de Potosí.

El límite oriental de esta área de basamento somero se ha situado al suroeste de los anticlinales de Ciénega del Toro, Sierra Borrada y al oeste del Anticlinal El Labrador; mientras que su límite occidental se ubicó a lo largo de los últimos afloramientos de los pliegues secundarios del Anticlinal de Potosí.

Geomorfológicamente, se observa que los núcleos de la gran mayoría de las sierras están representados por las formaciones Zuloaga, Olvido y la Caliza Cupido, ya que dadas sus características litológicas son más resistentes a la erosión. En cambio, los depósitos de lutitas como los de la Formación La Peña, en la mayoría de los núcleos de los anticlinales, han sido erosionados.

4.3 GEOLOGÍA DEL SUBSUELO

El acuífero granular libre tiene un espesor variable menor de 150 m. Los mayores espesores se observan al centro del valle y disminuyen gradualmente hacia las sierras.

Los materiales del acuífero granular corresponden a sedimentos de ambientes aluviales y lagunares. Los primeros se encuentran localizados en las inmediaciones de las sierras con extensiones laterales cortas, conformando una geometría lenticular interdigitándose lateralmente con los sedimentos evaporíticos de facies de planicies de inundación hacia el centro del valle.

A esta unidad estratigráfica la subyace el acuífero en calizas, el cual está también ampliamente distribuido hacia las márgenes de la cuenca, especialmente en las partes SW, N y NW y constituye las fronteras laterales del sistema acuífero. Su espesor varía de más de 300 m en la parte central del valle a menos de 120 m hacia las sierras.

El medio fracturado en general está constituido por las Formaciones Cuesta del Cura, La Peña, Cupido, Zuloaga y Olvido las cuales presentan un alto fracturamiento y activa disolución, por lo que su porosidad secundaria es de mayor relevancia en lo referente al movimiento del agua subterránea. Las tres primeras se encuentran en la parte centro – noroeste de la cuenca y las dos últimas en los alrededores de Raíces.

El basamento está conformado por las unidades impermeables correspondientes a las formaciones Taraises, La Caja y Huizachal, que tienen alto grado de cementación y reducido afloramiento en la región.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1 TIPO DE ACUÍFERO

El acuífero de Navidad-Potosí-Raíces es de tipo libre y esta conformado en dos medios geológicos, uno poroso y otro fracturado.

El medio poroso está formado por el material granular del Cuaternario, producto de la erosión de las partes altas de las montañas y se encuentra sobreyaciendo a las formaciones calizas del Cretácico y Jurásico. La permeabilidad en esta unidad, que se puede considerar somera, es variable ya que se trata de depósitos aluviales-lacustres (arenas, gravas y arcillas) y de pie de monte (gravas y arenas); los espesores son menores a los 150 m.

El medio fracturado está constituido por las formaciones Cuesta del Cura, La Peña, Cupido, Zuloaga y Olvido, las cuales presentan un alto fracturamiento y activa disolución, por lo que su porosidad secundaria es de mayor relevancia en lo referente al movimiento del agua subterránea. Las tres primeras se encuentran en la parte centro – noroeste de la cuenca y las dos últimas en los alrededores de Raíces.

Como se mencionó en el inciso anterior, el basamento esta conformado por las unidades impermeables correspondientes a las formaciones Taraises, La Caja y Huizachal.

La recarga del sistema es básicamente por medio del agua de lluvia captada en las partes altas de las sierras adyacentes, induciendo a la formación de sistemas de flujo local e intermedio. Las salidas se asocian a la explotación de las unidades por medio de norias y pozos, y en algunas zonas donde los niveles estáticos son someros, a la evaporación y evapotranspiración. Las zonas de explotación se encuentran al NW y S de San Rafael y en las proximidades de Raíces.

5.2 PARÁMETROS HIDRÁULICOS

En el medio granular, la permeabilidad es función de la distribución granulométrica de las unidades y del grado de compactación de las mismas. En términos generales, en este medio las transmisividades son del orden de 10^{-3} m^2/s. En la Tabla No. 2 se muestran los rangos de conductividad hidráulica de los sedimentos aluviales.

En el medio de las calizas se tienen las siguientes condiciones:

Área del Cuije y Potosí, compuesto por las formaciones del Cretácico Cuesta del Cura, La Peña y Cupido, presentan alto fracturamiento y activa disolución por lo que su porosidad es de tipo secundario aunque sus rendimientos son relativamente bajos. Estas rocas están ampliamente distribuidas en las márgenes de la cuenca, especialmente en las partes SW, N y NW, y presentan condiciones favorables para la circulación del agua subterránea.

Área de Raíces: Compuesta por las formaciones del Jurásico Zuloaga (Jz) y la Olvido (Jo). Esta unidad tiene un buen potencial de almacenamiento, se localiza al SE de la cuenca en las áreas de San José de Raíces y Boca del Refugio

En la Tabla No. 2 se muestran valores de conductividad hidráulica de los diferentes materiales que se encuentran en la zona determinados mediante pruebas de bombeo, así como de rendimientos específicos, las calizas con alto fracturamiento y activa disolución de las formaciones Cupido, Zuloaga y Cuesta del Cura son las que presentan mayor conductividad hidráulica

Tabla No. 2. Propiedades hidrogeológicas de las formaciones

Formación	Espesor (m)	K (m/día)	Sy
Cupido	10 – 300	0.16 – 334.0	0.013 - 0.098
Cuesta del Cura	40 – 300	0.03 – 79.8	0.0074 – 0.104
Sedimentos aluviales	45 – 100	3.27 – 24.5	0.10 *
Zuloaga	60	124.0	0.121
Taraises	350	1.05	0.025

* Valor estimado

5.3 PIEZOMETRÍA

Las elevaciones topográficas máximas se encuentran en las sierras del Potosí, Esmeralda, El Cateado y El Orégano, las cuales delimitan a las partes bajas donde se ubica el sistema de agua subterránea. De acuerdo con la información piezométrica disponible, las curvas de igual elevación del nivel estático son prácticamente paralelas a las sierras, sobre todo al pie de estas. Lo anterior origina un flujo casi perpendicular a las sierras mencionadas.

5.4 COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO

5.4.1 Profundidad al nivel estático

De acuerdo con la Figura No. 3, el acuífero, para el año 2004, presenta valores de profundidades al nivel estático entre 20 y 130 m, en forma puntual los valores extremos van de 14.5 y 143 m. Las profundidades entre 20 y 30 m se encuentran prácticamente hacia el centro del valle, donde el acuífero es de relleno granular y comprendido entre la Sierra El Orégano y Sierra El Potosí, mientras que las profundidades de 40 a 70 m se localizan en la parte norponiente de la zona e inmediaciones de los poblados de Santa María de Ramos y La Casita, donde el medio es fracturado en rocas calizas, así como también en la zona sur e inmediaciones de los poblados San José de Raíces y Las Majadas. Los niveles estáticos del agua subterránea más profundos con valores de hasta 130 m se han observado hacia las faldas de la Sierra El Potosí, constituido por calizas.

5.4.2 Elevación del nivel estático

De la información piezométrica para el año 1972 se registra una configuración donde los valores máximos de elevación del nivel estático son de alrededor de 1880 msnm, ubicándose al pie de las sierras Esmeralda, Potosí y El Zorrillo. En la zona de Catarino Rodríguez los niveles son del orden de los 1870 msnm; en la parte sur, alrededor de Raíces, y entre San Rafael y Santa Marta, se encuentran los valores más bajos, registrándose altitudes del nivel estático de 1850 msnm.

En la configuración de 1977 los niveles estáticos se mantienen al pie de las sierras en 1880 msnm, notándose incrementos importantes, según la información recopilada a través de la Gerencia de Aguas Subterráneas, asociados a la sierra El Zorrillo y al noroeste de Raíces, donde se registran valores de hasta 1900 msnm. Al norte de Raíces se encontraba una cota de nivel estático mínima, del orden de 1845 msnm.

En general, el flujo de agua subterránea proviene de las partes altas de las Sierras circundantes hacia la parte central del valle. Su origen es el agua de lluvia que se infiltra a través de las fracturas y conductos de disolución de las formaciones de calizas que afloran en la parte norte del área principalmente.

La Figura 4 muestra una configuración de curvas de igual elevación del nivel estático del año 2004, en ella se puede apreciar que en el área comprendida entre los poblados de La Paz y San José de Raíces el flujo subterráneo se presenta hacia el centro del valle proveniente de la Sierra El Potosí, así como también de la Sierra El Orégano y de la sierra donde se localiza el cerro El Fraile; el agua de lluvia se infiltra en esas sierras de material calizo y alimenta al acuífero constituido por los rellenos del valle.

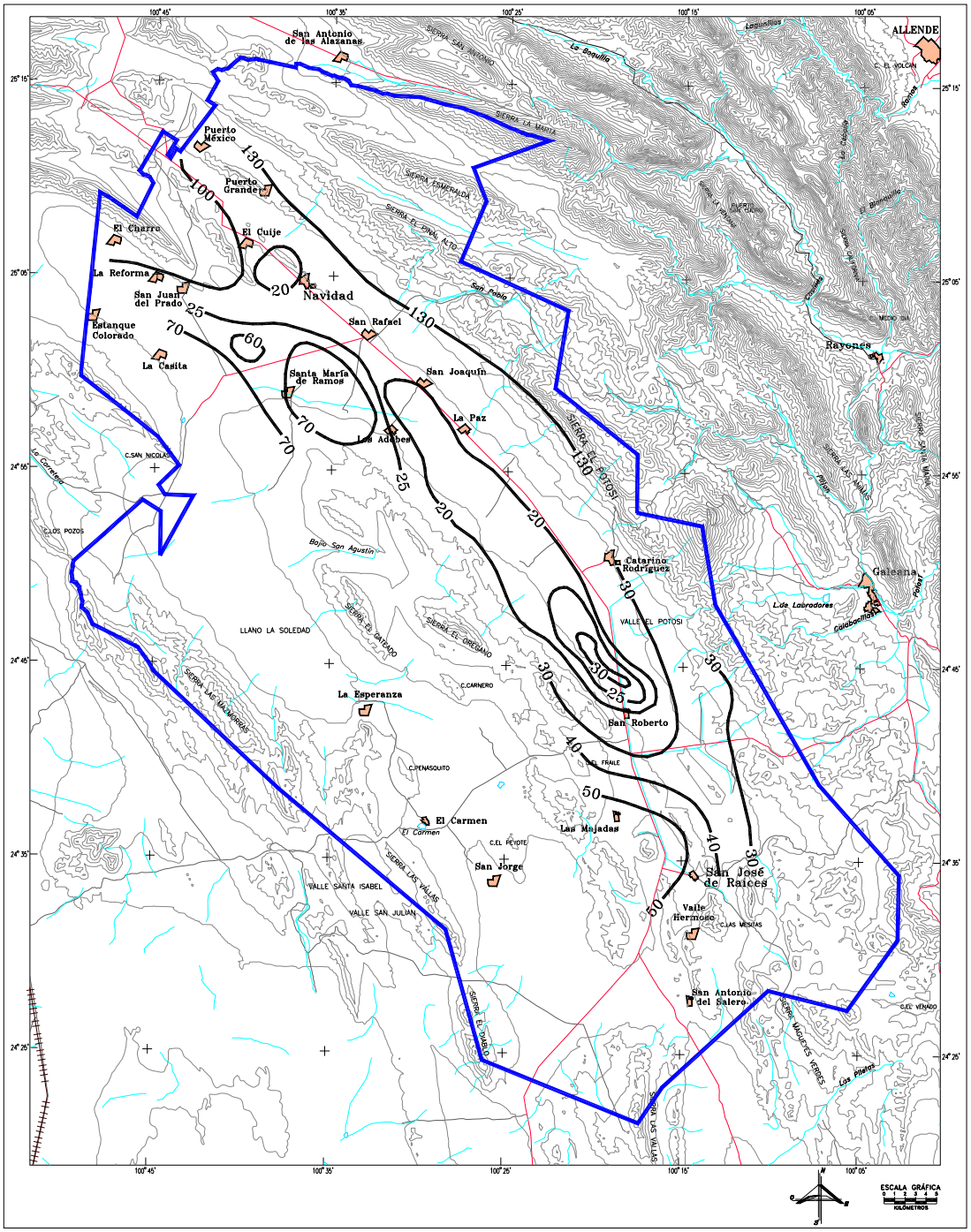

Figura No. 3. Curvas de igual profundidad al nivel estático, 2004 (m)

Las cotas piezométricas hacia la sierra El orégano son de 1880 msnm y en las faldas de la Sierra El Potosí son del orden de 1870, mientras que en la zona del valle son del orden de 1860, y en algunos puntos las cotas mínimas son de 1840.

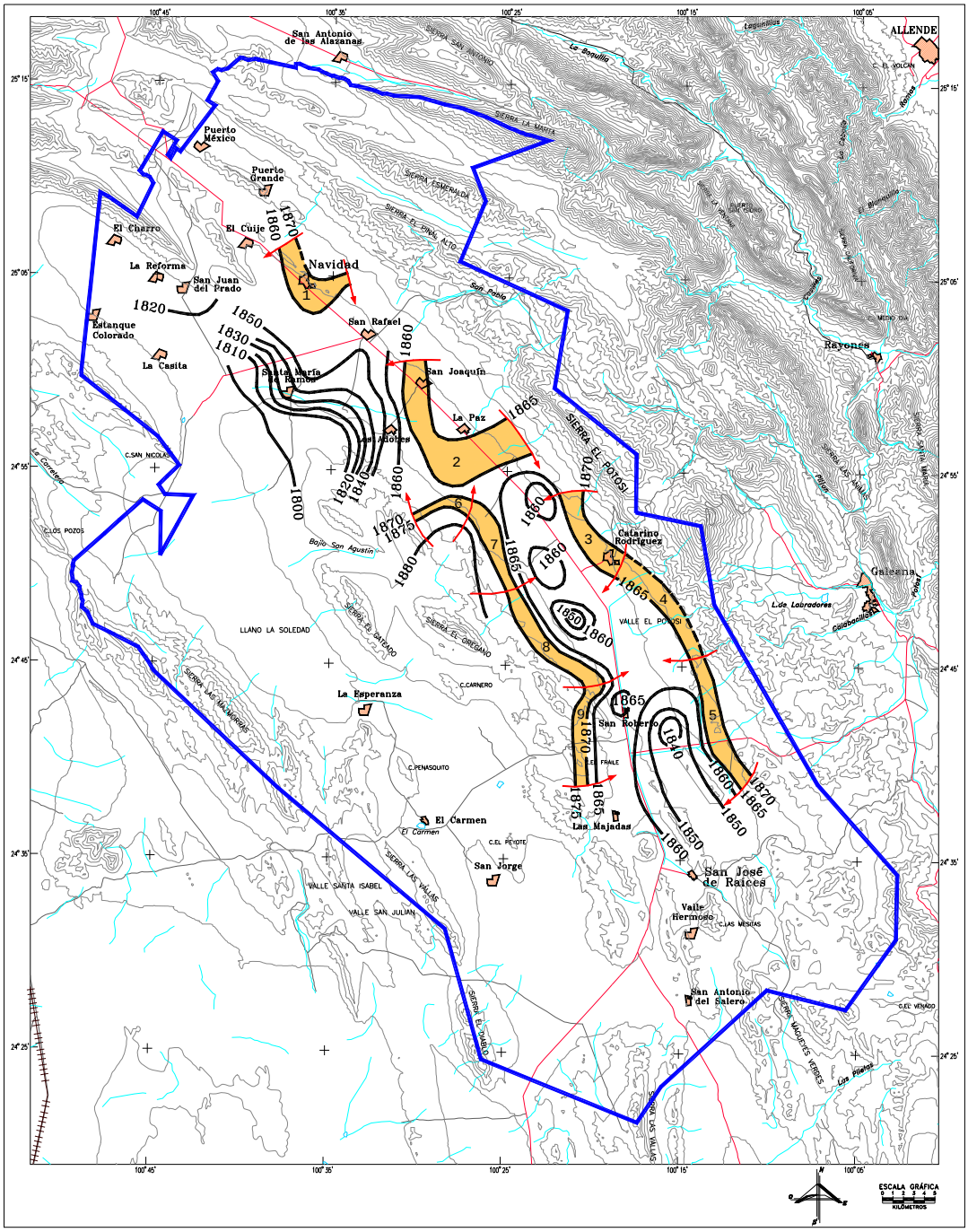

Figura No. 4. Curvas de igual elevación del nivel estático, 2004 (msnm)

En el área NW de la zona, comprendida aproximadamente entre las poblaciones de San Joaquín-Los Adobes-El Cuije-San Juan del Prado, el flujo de agua subterránea presenta una dirección del NE al SW, es decir, los flujos que provienen desde las faldas de la Sierra El Pinal Alto, con cotas piezométricas del orden de 1870 msnm se dirigen hacia las partes bajas donde se localizan los poblados de las Delicias y la Maroma y donde la altitud del nivel estático del acuífero es de 1800 msnm.

Las salidas del sistema están representadas por la extracción mediante pozos, anteriormente el acuífero presentaba también salidas por evapotranspiración en zonas donde los niveles estáticos eran someros, sin embargo, actualmente y en términos genéricos los niveles estáticos del acuífero se encuentran a más de 10 m de profundidad, por lo que la evapotranspìración, ya no ocurre en el acuífero.

Debido a que los potenciales de flujo subterráneo bajo condiciones establecidas y en acuíferos de tipo libre están normalmente influenciados por la topografía del terreno, se deduce que el nivel estático en la zona Navidad-Potosí-Raíces en principio sigue de manera más o menos regular la topografía del terreno.

5.4.3 Evolución del nivel estático

No se tiene mucha información sobre la variación de los niveles estáticos, sin embargo, considerando la información del período 1978-2000, se observan descensos de los niveles de agua subterránea de 0.0 a 50.0 m con una media de 20.0 m en el período de 22 años, es decir, el acuífero presenta una evolución media de –0.9 m/año.

5.5 HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La calidad de agua subterránea en el acuífero Navidad-Potosí–Raíces es variable, en el medio granular presenta las siguientes características:

Contiene aguas de mala calidad debido a la alta movilidad de las sales de yeso que proceden de la disolución de las rocas existentes en las formaciones Jurásicas o en los sedimentos aluviales del relleno, y a la alta evaporación en la cuenca endorreica (depositación de evaporitas). Presenta alto contenido de Sólidos Totales Disueltos (STD), especialmente en la parte central de los valles.

En la parte NW se presentan zonas con aguas de mejor calidad debido a que estas aguas no están cerca de afloramientos de yeso y/o a que el agua se infiltra rápidamente: Zonas Cuije-La Paz y Catarino Rodríguez, en especial el límite oriental.

Hacia la parte central del valle se observan aguas de buena calidad, las cuales se incrementan cerca de las sierras. Hacia el SE del área el agua es de mala calidad debido a la presencia de yesos. Cerca de El Tepozán hay una pequeña zona donde el agua es de buena calidad.

En las calizas la calidad del agua subterránea es la siguiente:

Área del Cuije y Potosí: Esta unidad contiene agua de mejor calidad (STD < 1,000 ppm) que la unidad superior y es recargada en las sierras donde aflora como el Cerro El Potosí. Las aguas que contienen esta unidad son de tipo HCO_3-Ca con un tiempo de residencia corto por lo que son aptas para cualquier uso. Cabe mencionar que en los alrededores de Raíces se encuentran aguas de mala calidad para la agricultura y el abastecimiento urbano producto de la fácil disolución del yeso ($CaSO_4$).

Área de Raíces: Compuesta por las formaciones del Jurásico: Zuloaga y Olvido. Esta unidad tiene un buen potencial de almacenamiento, se localiza al SE de la cuenca, en las áreas de San José de Raíces y contiene aguas de mala calidad para la agricultura y el abastecimiento urbano, producto de la fácil disolución del yeso ($CaSO_4$).

6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

De la información disponible se sabe que para 1978 existían 779 obras de captación y explotación del sistema de agua subterránea, de los cuales 715 corresponden a pozos, 60 norias y 4 manantiales.

Actualmente no se dispone de un censo de campo para conocer las extracciones de agua subterránea, por tanto se estimó en 144.0 hm^3/año (Millones de metros cúbicos anuales), considerando las extracciones reportadas en el REPDA del 31 de diciembre de 2004.

7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La diferencia entre la suma total de las entradas (recarga), y la suma total de las salidas (descarga), representa el volumen de agua perdido o ganado anualmente por el almacenamiento del acuífero.

El balance en este documento se realizó en forma anualizada, considerando para las extracciones y calculo de entradas por flujo horizontal la información del año de 2004, para la evolución promedio anual del nivel estático se consideró la del período 1978-2000, que corresponde a un período de 22 años, la cual se considera representativa del abatimiento actual.

La ecuación general de balance de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es como sigue:

$$\text{Entradas (E)} - \text{Salidas (S)} = \text{Cambio de almacenamiento} \quad \ldots (1)$$

Aplicando esta ecuación al estudio del acuífero, las entradas quedan representadas por la recarga total, las salidas por la descarga total y el cambio de masa por el cambio de almacenamiento de un acuífero:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \begin{array}{c}\text{Cambio de almacenamiento}\\ \text{en el acuífero}\end{array} \quad \ldots (2)$$

7.1 ENTRADAS

Las entradas al acuífero Navidad-Potosí-Raíces están integradas básicamente por las recargas naturales y las recargas inducidas.

7.1.1 Recarga natural

Esta recarga está constituida por la infiltración de una parte del agua de lluvia precipitada en las partes altas y en el área de valle de la zona, así como por la recarga por flujo horizontal subterráneo.

Las recargas que se presentan por las zonas de pie de monte en forma de entradas horizontales, provienen básicamente de la infiltración de agua de lluvia que se precipita en las partes altas, por tanto en el inciso de entradas se consideraran como flujo horizontal subterráneo.

La recarga natural por lluvia, que se presenta en el área de las partes bajas, es del orden 21.0 hm^3/año (Millones de metros cúbicos anuales), obtenida en un área de aproximadamente 1,330 km^2, donde la lámina promedio de lluvia es de 350 mm y al considerar un valor de 0.0451 de coeficiente de infiltración.

El orden de magnitud del coeficiente de infiltración por lluvia se obtuvo través de un balance de agua superficial, para el cual se aplicó la siguiente expresión:

Infiltración = precipitación – evapotranspiración - escurrimiento

Para determinar la evapotranspiración real (ETR), se hizo uso de la formula de Turc, que indica:

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.90 + (P / L)^2}}$$

donde:

P = Precipitación en mm
L = 300+25*T+0.05*T^3
T = Temperatura en º C

En nuestro caso la precipitación promedio anual, de toda el área, es del orden de 401.3 mm/año (promedio calculado al considerar una lámina de precipitación media anual de 350 mm en área de valle y de 425 mm en el resto del área), de acuerdo a lo anterior el volumen promedio anual precipitado es del orden de 1,688.2 hm^3/año, la temperatura promedio anual es de 16º C, valores que una vez sustituidos en la ecuación anterior, dan un valor de evapotranspiración real de 383.2 mm, que multiplicado por el área de 4,207 km^2 da un volumen total evapotranspirado real de 1,612.1 hm^3/año (Millones de metros cúbicos anuales).

El volumen de escurrimiento anual en esta región es muy escaso por lo que se consideró en este caso igual a cero.

Sustituyendo valores en la ecuación que se planteó anteriormente para obtener el volumen infiltrado se tiene:

$$\text{Infiltración} = 1{,}688.2 - 1{,}612.1 - 0.0 = 76.1\ hm^3/año$$

Al dividir el volumen anual promedio infiltrado entre el volumen anual promedio precipitado, que en nuestro caso es de 1,688.2 hm^3/año, se obtiene el coeficiente de infiltración, el cual resulta del orden de 0.0451.

7.1.2 Recarga inducida

La recarga inducida está constituida principalmente por la infiltración vertical debida a los volúmenes de agua utilizados en el riego, el cual es del orden de 21.6 hm^3/año (Millones de metros cúbicos anuales) al considerar un coeficiente de 0.15.

7.1.3 Flujo subterráneo horizontal

Parte de las precipitaciones pluviales que se presentan en las zonas altas del área se infiltran por las fracturas de las rocas que forman parte de ellas, y posteriormente llegan a recargar al acuífero a través de flujos subterráneos que se manifiestan en las partes bajas de las estructuras geológicas que delimitan dicho valle.

El valor de la recarga por flujo horizontal en el acuífero se calculó en 55.3 hm^3/año obtenido con base a la Ley de Darcy. Para estimar este valor se utilizó la configuración de curvas de igual elevación del nivel estático del año 2004, Figura No. 4. En la Tabla No. 3 se muestran los datos utilizados y los resultados obtenidos. Estas entradas provienen en principio del agua de lluvia infiltrada en las sierras y que posteriormente se presentan al pie de las mismas como flujo horizontal hacia el acuífero.

La expresión que enuncia la ley de Darcy es la siguiente:

$$Q = T * B * i$$

Donde
Q: caudal en m^3/s
T: Transmisividad (m^2/s) en el canal de flujo
B: Ancho (m) del canal de flujo
i: Gradiente hidráulico (i = h / L); h y L son la diferencia y distancia respectivamente entre las equipotenciales (h) que conforman el canal de flujo.

Tabla No. 3 Entradas por flujo horizontal subterráneo

CELDA	ANCHO	LARGO	h1-h2	GRADIENTE HIDRÁULICO	TRANSMISIVIDAD	CAUDAL	VOLUMEN
	(B)	(L)	h	(i)	(T)	(Q)	
	(m)	(m)	(m)		m^2/s	m^3/s	hm^3/año
1	9,400	2250.0	10	0.0044	0.004	0.165	5.20
2	19,100	3030.0	5	0.0017	0.004	0.130	4.10
3	8,960	1905.0	5	0.0026	0.004	0.093	2.93
4	11,750	1869.0	5	0.0027	0.005	0.159	5.01
5	13,460	1679.0	5	0.0030	0.005	0.202	6.37
6	5,900	2075.0	5	0.0024	0.008	0.113	3.56
7	8,820	1542.0	5	0.0032	0.008	0.226	7.13
8	12,200	1537.0	5	0.0033	0.008	0.322	10.15
9	10,030	1150.0	5	0.0043	0.008	0.345	10.88
					Total	1.755	55.33

7.2 SALIDAS

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo y manantiales, en el área no se presenta flujo base.

7.2.1 Evapotranspiración

Actualmente en el área los niveles estáticos en general son mayores de 10 m, profundidad donde llega a tener influencia el efecto de evapotranspiración, por lo cual no existe descarga de agua subterránea por este concepto.

7.2.2 Descarga natural

En el caso del acuífero, no existen descargas naturales, debido a que no hay salidas por flujo horizontal subterráneo ni manantiales de importancia para considerarlos en el balance.

7.2.3 Bombeo

La extracción de agua subterránea en el área de estudio ha variado a través del tiempo; actualmente no se dispone de esta información por lo cual se considera como aproximada la reportada en el REPDA al 31 de diciembre del año 2004, la cual es del orden de 144.2 hm^3/año (Millones de metros cúbicos anuales). Este volumen se emplea en diversos usos como se muestra en la Tabla No. 4.

Tabla No. 4 Extracciones de agua subterránea por uso

Uso	Volumen Concesionado (m^3/año)
Agrícola	137,355,056
Múltiples	6,509,599
Pecuario	253,761
Publico urbano	16,060
Servicios	120,000
Total	**144,254,476**

7.2.4 Flujo subterráneo horizontal

Dado que la cuenca superficial es de tipo endorreico, se asume que las salidas subterráneas son muy limitadas, según el estudio de simulación ésta es del orden de 0.2 hm^3/año por lo que para este balance se consideran iguales a cero.

7.3 CAMBIO DE ALMACENAMIENTO

El balance de aguas subterráneas señala que el acuífero tiene una recarga total de 97.9 hm^3/año, y una descarga total de 144.2 hm^3/año por lo que el cambio de almacenamiento en el acuífero de Navidad-Potosí–Raíces es del orden de –46.3 hm^3/año (Millones de metros cúbicos anuales).

En la tabla No. 5, se presentan los valores del balance de aguas subterráneas.

8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas se aplica el procedimiento establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que establece la Metodología para calcular la disponibilidad media anual de las aguas nacionales que en la fracción relativa a las aguas subterráneas menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$\text{Disponibilidad media anual de agua subterránea en una unidad hidrogeológica} = \text{Recarga total media anual} - \text{Descarga natural comprometida} - \text{Volumen anual de agua subterránea concesionado e inscrito en el REPDA} \quad (3)$$

8.1 RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL

La recarga total media anual (Rt) corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, en forma de recarga natural, más la recarga inducida. Para este caso la suma es del orden de **98.0 hm^3/año** (Millones de metros cúbicos anuales).

8.2 DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA

Es la suma de los volúmenes concesionados de los manantiales que están comprometidos como agua superficial para diversos usos más una parte del agua que sale por flujo horizontal subterráneo para satisfacer necesidades comprometidas, de tal manera que para este acuífero se estima en 0.0 hm^3 /año (Millones de metros cúbicos anuales)

Tabla No. 5. Balance de aguas subterráneas

BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, ACUÍFERO NAVIDAD-POTOSÍ-RAÍCES			
Área total del acuífero		km^2	**4,207**
RECARGA			
Área de valle		km^2	1,330.0
Coeficiente	I_1		0.0451
Precipitación		mm/año	350
Recarga natural por lluvia		hm^3/año	**21.0**
Entradas horizontales	Eh	hm^3/año	**55.3**
Total de recarga natural		hm^3/año	**76.3**
Público Urbano	I_2		0.00
Retorno del uso Público Urbano		hm^3/año	**0.00**
Agrícola más otros	I_3		0.15
Retorno de riego, agua subterránea		hm^3/año	**21.6**
Retorno total de aguas subterráneas			**21.6**
ENTRADAS TOTAL	Rt	hm^3/año	**98.0**
DESCARGA			
Salidas horizontales	Sh	hm^3/año	0.00
Caudal base	Q_{base}	hm^3/año	0.00
Evapotranspiración		hm^3/año	0.00
Manantiales		hm^3/año	0.0
Extracción total bruta		hm^3/año	**144.2**
Agrícola		hm^3/año	137.3
Público urbano		hm^3/año	0.02
Industrial		hm^3/año	0.00
Otros		hm^3/año	6.9
DESCARGA TOTAL		hm^3/año	**144.2**
Minado	DA	hm^3/año	**-46.3**
Coeficiente de almacenamiento	S		0.03868
Volumen drenado (m/año)	Vd	hm^3/año	1,197.00
Abatimiento m/año		m	0.90

8.3 RENDIMIENTO PERMANENTE

El rendimiento permanente es la recarga total media anual menos la descarga natural comprometida. Para el acuífero Navidad-Potosí-Raíces la descarga natural comprometida es del orden de 0.0 hm^3/año, luego entonces el rendimiento permanente es igual a 98.0 hm^3/año (Millones de metros cúbicos anuales).

8.4 VOLUMEN CONCESIONADO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El volumen anual de extracción, de acuerdo con los títulos de concesión inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) de la Subdirección General de Administración del Agua, al 31 de mayo del 2005 es de 147' 314,476 m^3/año.

8.5 DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

La disponibilidad de aguas subterráneas, conforme a la metodología indicada la norma referida, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de aguas subterráneas concesionado e inscrito en el REPDA, que de acuerdo con la expresión (3), resultó ser de –49,314,476 m^3/año.

-49,314,476 = 98,000,000 - 0.0 - 147'314,476

Los resultados indican que no existe volumen disponible para nuevas concesiones; por el contrario, el déficit es de 49'314,476 m^3 anuales, que se están extrayendo del almacenamiento no renovable del acuífero. En este sentido, no se deberá autorizar concesiones para nuevos aprovechamientos para la explotación, uso o aprovechamiento del recurso, que implique un incremento a las extracciones.

9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Consultores Infraestructura y Servicios, S.A. de C. V. 1999. Estudio de simulación hidrodinámica de los acuíferos de Saltillo-Ramos Arizpe, Coah, y Navidad-Potosí-Raíces, N. L., para la Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas

Diario Oficial de la federación del 17 de abril de 2002. México. NOM-011-CNA-2000. Norma Oficial Mexicana. Conservación del recurso agua que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1987. Actualización de las Condiciones Piezométricas de los Campos de Pozos Buenos Aires, Mina, Zona Citrícola, Sabinas-Parás, Valle Navidad-Potosí-Raíces.

Secretaría de Programación y Presupuesto. 1981. Atlas Nacional del Medio Físico.

Secretaría de Programación y Presupuesto, Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. 1981. Carta Fisiográfica escala 1 000 000.