CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

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 Rio Elota (2506), Estado de Sinaloa

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.**

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
ESTADO DE SINALOA							
2506	RÍO ELOTA	45.3	1.2	10.238428	6.7	33.861572	0.000000

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 (2506) RÍO ELOTA, ESTADO DE SINALOA

CONTENIDO

1		**GENERALIDADES**	3
		ANTECEDENTES	3
	1.1	LOCALIZACIÓN	3
	1.1.1	Coordenadas	3
	1.1.2	Municipios	4
	1.1.3	Población	5
	1.2	SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO	5
2		**ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD**	6
3		**FISIOGRAFÍA**	6
	3.1	PROVINCIA FISIOGRÁFICA	6
	3.2	CLIMA	7
	3.2.1	Temperatura media anual	7
	3.2.2	Precipitación media anual	7
	3.2.3	Evaporación potencial media anual	7
	3.3	HIDROGRAFÍA	8
	3.3.1	Región hidrológica	8
	3.3.2	Infraestructura hidráulica	8
	3.4	GEOMORFOLOGÍA	9
4		**GEOLOGÍA**	9
	4.1	ESTRATIGRAFÍA	9
	4.2	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	11
	4.3	GEOLOGÍA DEL SUBSUELO	11
5		**HIDROGEOLOGÍA**	11
	5.1	TIPO DE ACUÍFERO	11
	5.2	PARÁMETROS HIDRÁULICOS	12
	5.3	PIEZOMETRÍA	12
	5.4	COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO	12
	5.4.1	Profundidad al nivel estático	12
	5.4.2	Elevación del nivel estático	12
	5.4.3	Evolución del nivel estático	15
	5.5	HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA	15
6		**CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA**	15
7		**BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**	15
	7.1	ENTRADAS	16
	7.1.1	Recarga natural	16

7.1.2 Recarga inducida 16
7.1.3 Flujo subterráneo horizontal 17
7.2 SALIDAS 18
7.2.1 Evapotranspiración 18
7.2.2 Descargas naturales 18
7.2.3 Bombeo 18
7.2.4 Flujo subterráneo horizontal 18
7.3 CAMBIO DE ALMACENAMIENTO 19

8 DISPONIBILIDAD 19
8.1 RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL 19
8.2 DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA 20
8.3 RENDIMIENTO PERMANENTE 20
8.4 VOLUMEN CONCESIONADO DE AGUA SUBTERRÁNEA 20
8.5 DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS 20

9 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS 21

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, para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, para 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

La zona del acuífero se localiza en la porción sur del estado de Sinaloa; limita al noroeste con el acuífero Río San Lorenzo y al sureste con el acuífero Río Piaxtla.

1.1.1 Coordenadas

El acuífero “Río Elota”, quedó designado con la clave 2506 en el documento publicado el 5 de diciembre de 2001 en el Diario Oficial de la Federación. El acuífero está circunscrito dentro del perímetro definido por las coordenadas geográficas presentadas en la tabla No. 1.

1.1.2 Municipios

En la figura No. 1 se muestran los municipios integrados al acuífero. Prácticamente comprende la totalidad del municipio Elota, las porciones meridionales de los municipios Cosal y Tamazula, Sin., y una pequeña parte del de San Ignacio. Los municipios colindantes son Culiacán y Cosal por el noroeste, y por el sureste Tamazula, San Dimas y San Ignacio.

Destacan los poblados de La Cruz de Elota principalmente, El Saladito, Potrerillo del Norte, Tanques, Emiliano Zapata y El Espinal, todos ellos en la llanura costera.

Tabla No. 1. Acuífero 2506 Río Elota

Vértice	Longitud oeste			Latitud norte		
	Grados	Minutos	Segundos	Grados	Minutos	Segundos
1	106	25	58.0	24	12	30.0
2	106	28	54.1	24	9	24.7
3	106	36	13.4	24	7	17.6
4	106	38	19.7	24	0	50.5
5	106	38	4.4	23	56	52.6
6	106	43	10.2	23	51	15.3
*7	106	53	0.6	23	48	31.9
*8	107	5	40.2	24	1	13.8
9	107	0	43.0	24	8	35.0
10	106	56	40.1	24	8	35.0
11	106	56	32.2	24	18	39.7
12	106	51	19.9	24	16	58.0
13	106	46	37.4	24	22	32.7
14	106	46	49.8	24	26	35.6
15	106	33	33.1	24	28	14.6
16	106	32	40.2	24	28	32.3
17	106	29	5.7	24	33	31.1
18	106	24	55.4	24	30	40.0
19	106	20	27.2	24	28	42.5
20	106	18	14.4	24	29	38.7
21	106	11	41.9	24	29	5.1
22	106	9	46.1	24	26	19.5
23	106	9	25.4	24	21	1.6
24	106	14	37.4	24	23	36.1
25	106	20	32.3	24	22	45.0
26	106	21	41.3	24	18	47.5
27	106	25	43.9	24	18	6.6
1	106	25	58.0	24	12	30.0

* Del 7 al 8 de Bajamar a lo largo de la costa

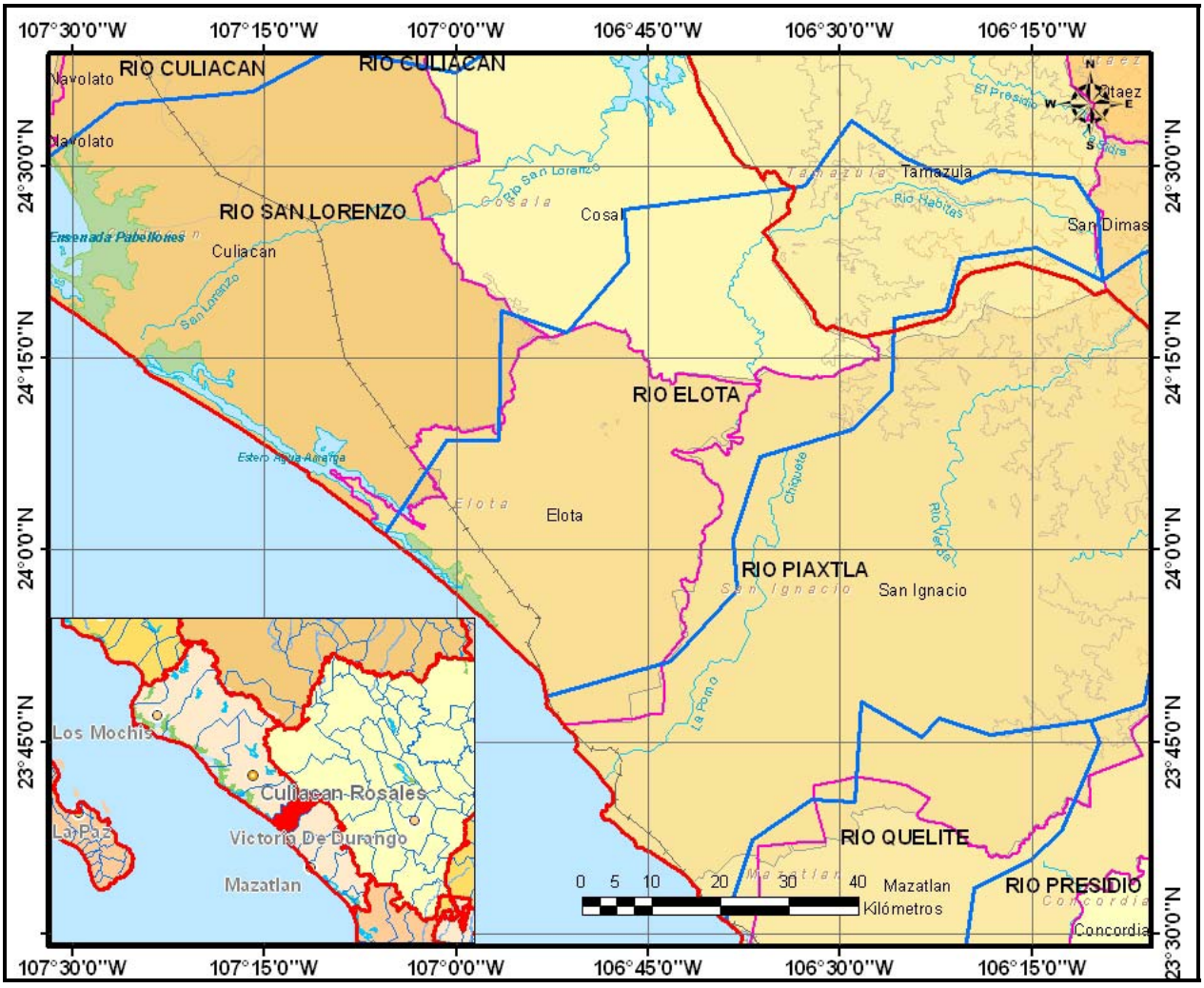

Figura No. 1. Localización del acuífero Río Elota y municipios.

1.1.3 Población

Dentro del acuífero en estudio y para el 2000, el INEGI reporta la población de unas 12 localidades, entre las que destacan la cabecera municipal Cruz de Elota con unos 50,000 habitantes, y Cosalá con otros 5,600 pobladores. El total de habitantes para las restantes 11 localidades es apenas del orden de 3,000.

1.2 SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ACUÍFERO

Del acuífero Río Elota no se tienen antecedentes de haber sido afectados por una veda para nuevos alumbramientos de agua subterránea.

2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

Se tiene como antecedente más destacado un estudio de evaluación de acuíferos Elota-Cañas de 1978 ([1]), cartas geológicas del Instituto de Geología y de DETENAL, así como otros estudios llamados Servicios de prospección en 1977 ([2]), el Atlas Geológico ([3]) y una evaluación geológica-minera del Instituto de Geología.

Cabe puntualizar que antes de la última definición de los acuíferos del país, muchos estudios se realizaron involucrando a varios de ellos; en este caso se les identificó juntos dentro de un estudio comprendido desde el valle del río Elota, Sin., hasta el Cañas, Nay.

En el año 2001 la Compañía PROTYC realizó un estudio de actualización para el acuífero Río Elota ([4]), donde, en efecto, se abordan y actualizan aspectos tales como: censo de aprovechamientos, piezometría, calidad del agua y pruebas de bombeo, aportando además un mejor conocimiento del marco hidrogeológico conceptual y un balance preliminar de aguas subterráneas.

3. FISIOGRAFÍA

3.1 PROVINCIA FISIOGRÁFICA

De acuerdo con E. Raisz, 1959, la zona queda dentro de la subprovincia fisiográfica de los Deltas y Costas de Sinaloa, dentro de la provincia fisiográfica de Cordilleras Sepultadas. La primera se extiende a lo largo de la costa del Pacífico, desde Sonora hasta Nayarit.

Está constituida esencialmente por rocas ígneas intrusivas, emisiones graníticas y dioríticas, así como extrusivas, magma de carácter riolítico y andesítico, entre las cuales se han abierto paso los ríos, erosionando y depositando materiales fluviales en los deltas, abanicos aluviales y terrazas.

Sus rasgos más importantes son los lomeríos de relieve moderado con alturas de 50 metros como máximo, sierras formadas por rocas volcánicas que constituyen parte de la Sierra Madre Occidental, y la llanura costera, donde se distinguen los cauces fluviales, valles deltáicos, estuarios, lagunas, bermas, manglares, dunas y playas.

---

[1] Evaluación de acuíferos en la zona Elota-Cañas en el estado de Sinaloa, de Consultores, S.A. para la Subdirección de Geología y de Zonas Áridas. 1978.

[2] Servicios de prospección y levantamientos geológicos y geofísicos en los estados de Coahuila, Chihuahua y Sinaloa. Técnicas Modernas de la Ingeniería S.A. para la Subdirección de Geohidrología y de Zonas Áridas del la SARH. 1977.

[3] Atlas geológico y evaluación geológica-minera del estado de Sinaloa. Instituto de Geología del la UNAM para la Secretaría de Desarrollo Económico del Estado de Sinaloa.

[4] Estudio de actualización geohidrológica de los acuíferos de los ríos Elota, Piaxtla y Quelite, Sinaloa. . Acuífero Río Elota. Protyc, S.A. de C. V. 2001.

Aparte de la llanura costera, otra geoforma importante la constituye la serranía, formada en general por rocas volcánicas que constituyen parte de la Sierra Madre Occidental, que ocupa la mayor parte del área y se desarrolla hacia la porción NE.

3.2 CLIMA

La zona costera del acuífero en estudio tiene un clima cálido, subhúmedo, con régimen de lluvias en verano, y un porcentaje de lluvias invernal menor del 5% del total anual, de acuerdo con los criterios propuestos por Köppen y E. García.

Las estaciones climáticas de apoyo en el estudio del 2001, fueron: La Cruz, Acatitlán e Ixpalino, considerando el periodo 1980-2000, que en general avalan los valores reportados en estudios previos.

3.2.1 Temperatura media anual

La temperatura media anual en el área del acuífero es del orden de 24.8° C, valor que se caracteriza por disminuir desde la costa, hasta la zona montañosa donde alcanza un valor de 12° C. La temperatura media mensual mínima es del orden de 5° C en enero y de casi 30° C para junio como valor medio mensual máximo.

3.2.2 Precipitación media anual

La precipitación media anual es creciente hacia tierra adentro a partir de la costa, variando desde 700 mm hasta 1500 mm en las inmediaciones de la Sierra Madre Occidental; como valor promedio puede adoptarse el valor de 800 mm/año en el área del acuífero.

Los meses de mayor precipitación media mensual son julio, agosto y septiembre, sobre todo agosto, siendo muy baja de marzo a mayo.

La influencia de los ciclones es muy importante en la precipitación pluvial. Su origen puede ser por corrientes convectivas de aire, o por diferencias de presión, además de las corrientes de aire frío conocidas como “jet”, que provoca grandes heladas. También la denominada Corriente Marina del Golfo proporciona la humedad de los alisios a fines de mayo, provocando lluvias de mayor intensidad en los meses siguientes.

Es por esto que se distinguen dos regímenes de precipitación, las lluvias de verano y las de invierno. Las primeras son producto de la temporada normal y las otras producto de los ciclones, por lo general menores que las de verano.

3.2.3 Evaporación potencial media anual

La evaporación potencial media al año es de 1850 mm considerando el área de estudio. El valor mínimo mensual corresponde al mes de enero con 83 mm y la máxima mensual media sucede en el mes de mayo con 254 mm.

3.3 HIDROGRAFÍA

3.3.1 Región Hidrológica

El acuífero en estudio pertenece a la Región Hidrológica No. 11, que abarca varias cuencas de ríos tanto del sur del estado de Sinaloa como del norte de Nayarit.

El río Elota nace en la laguna de los Patos, pasa con rumbo franco N-S por las poblaciones Ensenada de Elota y Elota, hasta llegar a Loma de Tecuyo, donde bruscamente adopta una dirección E-W, pasa posteriormente por los poblados de El Limoncito y Benito Juárez y sigue hasta llegar a la población La Cruz de Elota, para que después de unos cuantos kilómetros desembocar en una laguna litoral y finalmente en el Océano Pacífico.

El arroyo Potrerillos es la otra corriente superficial de importancia para el acuífero Río Elota. No hay mayor información en cuanto a la descripción de su nacimiento y características, sólo se reporta que su régimen era intermitente y ahora es perenne.

Se ha estimado un escurrimiento medio anual para el Elota de 409 Mm^3 al año; y se tienen registrados un máximo de 1312 Mm^3 anuales y un mínimo de 69 Mm^3 anuales.

El estudio del 2001 reporta los años de sequía más notorios a: 1957, 1965, 1969, 1971, 1979, 1982,1987, 1989,1991 y 1997, en tanto que señala como años lluviosos a: 1958, 1963,1968, 1981, 1985, 1990 y 1993.

Según los datos registrados antes de la construcción de la presa Aurelio Benassini, el régimen del río Elota era perenne con un flujo base de unos 69 Mm^3 anual, en tanto que el de Potrerillos es intermitente. Sin embargo, después de la construcción de la presa El Salto y del desarrollo agrícola del Distrito de Riego, se incrementaron las aportaciones de agua superficial al acuífero, constatando este fenómeno el hecho de que el régimen del río Potrerillos tornó de intermitente a perenne, además de que el río Elota incrementó su escurrimiento.

3.3.2 Infraestructura hidráulica

La infraestructura hidráulica está relacionada con el Distrito de Riego 108, Elota-Piaxtla, y consiste de la presa Aurelio Benassini (El Salto), caminos, canales y drenes.

La presa domina una superficie de 24,454 ha, pero la susceptible de riego es de 21,330 ha. Los caminos suman un total de 364 km aproximadamente, entre pavimentados, revestidos y de terracería; los canales forman una red de 356 km entre principales y secundarios; los drenes alcanzan un desarrollo de 171 km, y por último, son de mencionarse cuatro plantas de bombeo y cinco pozos.

3.4 GEOMORFOLOGÍA

Las unidades geomorfológicas más importantes son: mesetas, cauces fluviales, valles deltáicos, rías, estuarios y lagunas litorales.

Las mesetas están constituidas por rocas volcánicas intrusivas; poco erosionadas, con leves inclinaciones hacia el poniente y en flancos abruptos; las rocas volcánicas extrusivas están conformando las sierras y los depósitos continentales en general constituyen la llanura costera. Los cauces fluviales están perfectamente definidos, con baja pendiente, originando divagaciones que forman meandros; dentro de los cauces se han desarrollado terrazas por erosión y depósitos del río.

En las márgenes de los ríos se reconocen depósitos deltáicos que forman valles de forma plana, suave pendiente, donde son perceptibles numerosos meandros abandonados.

Las rías corresponden a zonas bajas inundables, que ocupan la desembocadura de los ríos; en las lagunas litorales los estuarios y lagunas son rasgos y formas que corresponden en general al estado de Sinaloa. Son cuerpos de agua aislados del océano por la acumulación de sedimentos continentales.

4. GEOLOGÍA

Las rocas de la zona abarcan desde el Paleozoico al Reciente. En los estudios anteriores no hay una descripción de los afloramientos en particular, como no sean las basadas en el Atlas Geológico Minero, sólo en forma muy general, que se reporta a continuación. Figura No. 2.

4.1 ESTRATIGRAFÍA

En la zona afloran rocas ígneas, tanto extrusivas como intrusivas; sedimentarias continentales y en menor proporción metamórficas y sedimentarias marinas.

Las intrusivas son granitos y graniodoritas que forman parte de un batolito regional; las extrusivas son derrames lávicos, brechas y tobas de composición variable que corresponden al Terciario. Las rocas sedimentarias continentales son conglomerados, areniscas y clásticos de diferentes tamaños que forman los pies de monte y los abanicos aluviales, los depósitos fluviales que forman deltas, bermas y dunas cuya edad primordial corresponde al Cuaternario. Las rocas metamórficas son esquistos y pizarras del Paleozoico, en tanto que las sedimentarias marinas son calizas con intercalaciones de margas y lutitas del Cretácico.

La descripción anterior, producto de levantamientos geológicos regionales reportados en estudios previos, fue ampliada y detallada en el estudio de actualización del 2001, donde la estratigrafía está enfocada a la localidad del acuífero Río Elota.

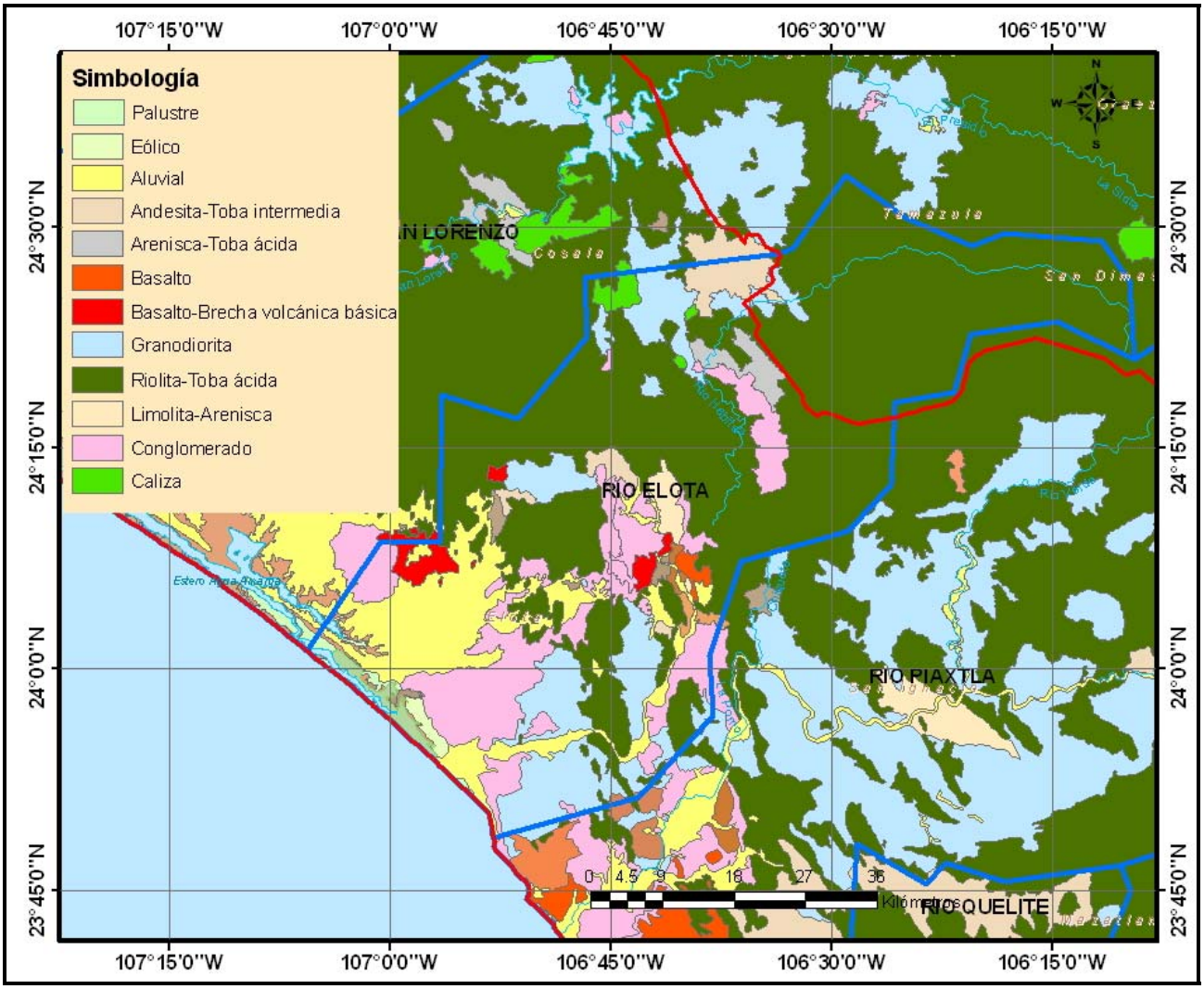

Figura No. 2. Mapa Geológico

En orden cronológico, distinguen una Unidad Precámbrica, consistente de gneiss de muscovita y biotita, llamada también Sonobari; le sigue la Unidad Paleozoica compuesta por rocas sedimentarias marinas afectadas por metamorfismo, que corresponden a los lomeríos bajos. Dentro de esta unidad se distinguen rocas metasedimentarias, esquistos afectados por un metamorfismo de bajo grado y rocas metamórficas de contacto.

Siguen las Unidades Terciarias inferiores: básica, volcánica y ácida. La primera está constituida por materiales andesíticos; la segunda por derrames y brechas de composición andesítica a riolítica, y la tercera por derrames riolíticos, tobas y areniscas conglomeráticas.

Le sigue la Unidad Terciaria media, formada por una secuencia de rocas volcanoclásticas, como areniscas, limo, arcilla tobácea, conglomerados y aglomerados, tobas y lava ácida.

Dentro de la secuencia geológica siguen las Unidades del Terciario superior, rocas riolíticas más jóvenes como lavas y piroclásticos. Se distingue sobreyaciendo a la anterior a la Unidad terciaria clástica, con un espesor considerable de limos, areniscas y conglomerados que están a su vez cubiertos por la Unidad terciario superior básica, compuesta principalmente por brechas y derrames basálticos.

Por último, se describen las unidades cuaternarias: Pleistoceno clástica, Reciente bermas, Reciente dunas estabilizadas, llanuras mixtas de inundación, llanuras de inundación, playas y llanuras intermareas, rasgos generales de la llanura costera de Sinaloa.
Las unidades permeables donde se han constituido los acuíferos son: la Unidad cuaternaria pleistocena en la llanura deltaica, y en la Unidad cuaternaria también en la llanura deltaica.

4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las rocas existentes han sido afectadas por movimientos tectónicos, cuyos efectos dejaron huella en forma de plegamientos, fallas y fracturas. Los plegamientos afectaron a las rocas más antiguas del Precámbrico, Mesozoico y Paleozoico, sobre todo a estas últimas que ya muestran plegamientos anticlinales y sinclinales.

Por lo que toca a las fallas y fracturas producto de esfuerzos de tensión, se distinguen tres sistemas dominantes; el primero orientado N-NW; el segundo muestra fallas en ángulo recto NE-NW, y el tercero también formado por fallas y fracturas también en ángulo recto y orientadas EW-NS. Afectan a las rocas del Terciario medio y tardío, y aún del Cuaternario. Actualmente dichas rocas están afectadas por un intenso proceso de intemperismo y erosión.

4.3 GEOLOGÍA DEL SUBSUELO

No se tienen conocimientos de la geología del subsuelo en el acuífero Río Elota. En el estudio de 1978 reportan algunas prospecciones geofísicas eléctricas del tipo resistivo; apoyadas en cortes litológicos de pozos; no obstante que el estudio abarcó desde el valle del Piaxtla y terminaron en el valle del Cañas, no estudiaron el Acuífero Río Elota.

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1 TIPO DE ACUÍFERO

El acuífero funciona de libre a semiconfinado. Está constituido en un medio granular y su espesor puede alcanzar más de 300 m. Sus fronteras laterales y de fondo son materiales macizos rocosos, ígneos e impermeables.

5.2 PARÁMETROS HIDRÁULICOS

En el valle del río Elota las transmisividades determinadas en los pozos y norias por medio de pruebas de bombeo, varían de 1.41 a 5.93 x 10^{-3} m^2/s, comprendiendo a caudales específicos de 2.09 a 7.14 l/s/m. No se determinó el coeficiente de almacenamiento.

En el estudio del 2001 fueron realizadas cinco pruebas de bombeo, cuya interpretación fue mediante el software Aquifer Test. Los resultados se presentan en la tabla No. 2.

Tabla No. 2. Resultados de las pruebas de bombeo

Pozo	Fase de abatimiento		Fase de recuperación		Valores aceptados	
	Transmisividad en m^2/s	Conductividad en m/s	Transmisividad en m^2/s	Conductividad en m/s	Transmisividad en m^2/s	Conductividad en m/s
CNA-4 MD	1.11E-02	4.59E-04	1.20E-02	4.95E-04	1.16E-02	4.77E-04
CNA-14 MD	6.29E-04	1.15E-05	9.24E-03	1.69E-04	4.93E-03	9.03E-05
CNA-6 MI	9.33E-03	3.75E-04	9.84E-03	3.95E-04	9.59E-03	3.85E-04
CNA-11 MI	1.86E-02	1.23E-03	4.58E-03	3.02E-04	1.16E-02	7.66E-04
CNA-21 MD	7.12E-03	3.02E-04	7.32E-04	3.11E-05	3.93E-03	1.67E-04

5.3 PIEZOMETRÍA

Los aspectos piezométricos estudiados comprenden únicamente los reportados en el estudio del 2001, pues no se tiene mayor información anterior.

5.4 COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO

El comportamiento hidráulico del acuífero se analiza a partir de las configuraciones piezométricas relativas a profundidades al nivel estático, elevaciones y evoluciones del mismo a través del tiempo, con información actualizada del 2001.

5.4.1 Profundidad al nivel estático

La actualización del 2001, permite puntualizar las condiciones en el acuífero Río Elota para esa fecha. A lo largo del cauce la profundidad del nivel estático para ambas márgenes varía entre 4 y 6 m. Hacia la parte norte del acuífero las profundidades aumentan por la elevación del terreno y alcanzan hasta los 30 m, figura No. 3.

Respecto a la zona del arroyo Potrerillos también los niveles son someros, quedando expuesta a la evapotranspiración poco más del 60 % del área, figura No. 3.

5.4.2 Elevación del nivel estático

En referencia a la elevación del nivel estático y de acuerdo con las condiciones observadas en el 2001, figura No. 4, se aprecia que el rumbo del flujo subterráneo es en general hacia el Océano Pacífico. Los valores máximos de las elevaciones son del orden

de 40 msnm, señalando las áreas de recarga al acuífero; en la parte media predominan valores de 18 msnm a la altura del poblado El Roble, y en las partes bajas varían entre 7 y 2 msnm.

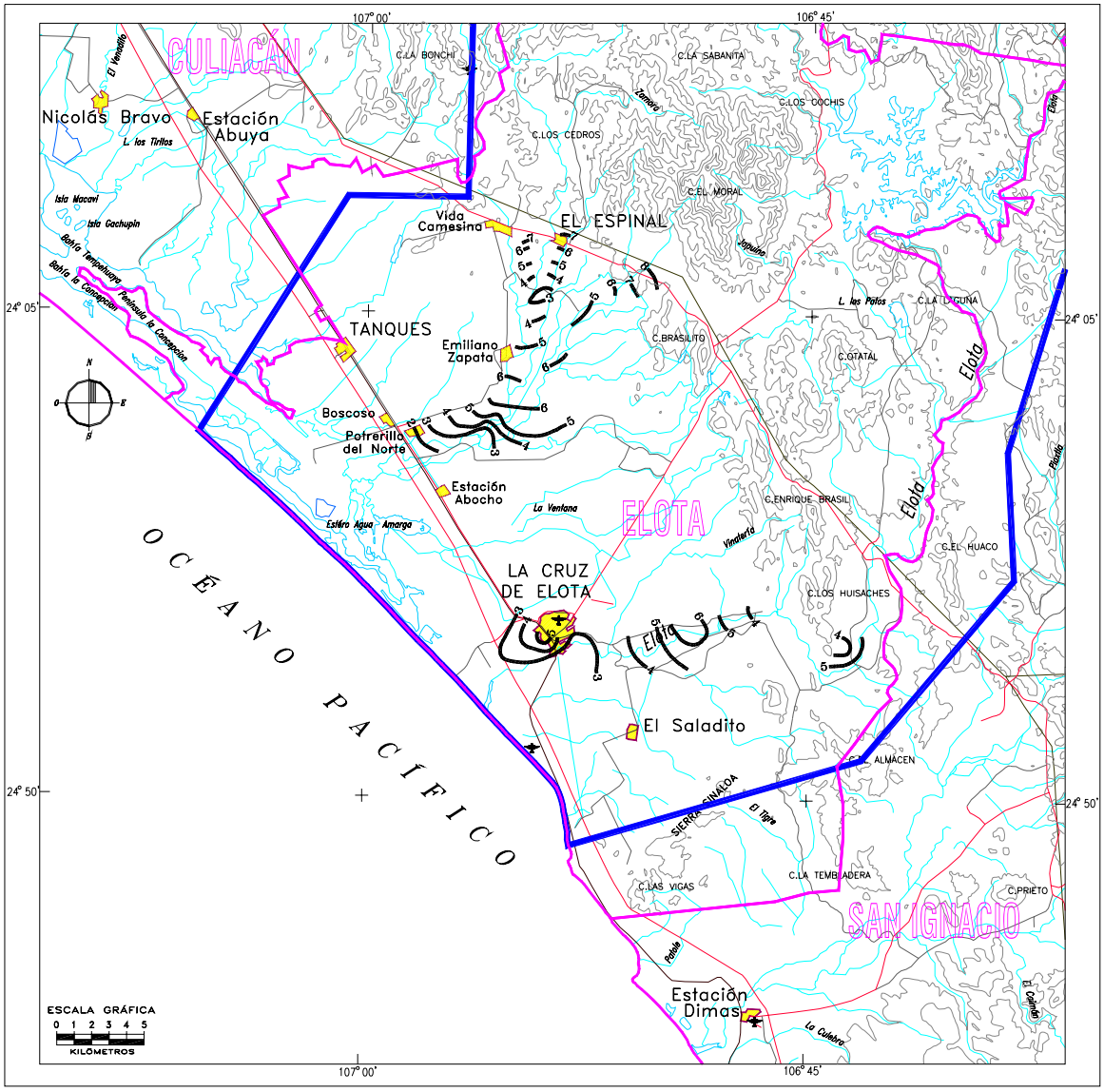

Figura No. 3. Profundidad al nivel estático en m. 2001.

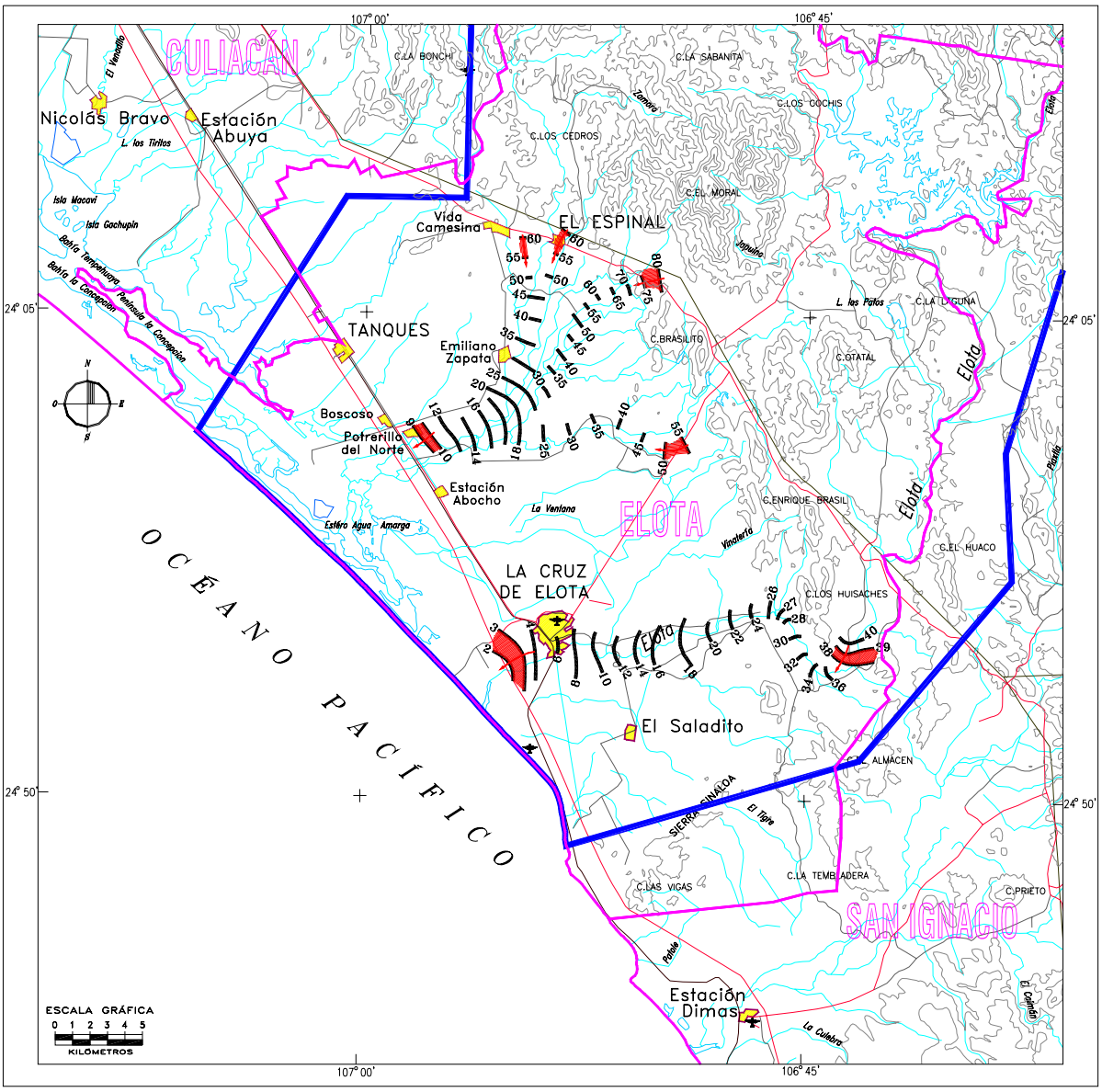

Figura No. 4. Elevación del nivel estático en msnm. 2001.

En la cuenca del arroyo Potrerillos se aprecia un comportamiento similar al anterior; sólo que en las partes altas las elevaciones oscilan entre 80 y 55 msnm; en la partes medias son del orden de los 20 msnm y cerca de la carretera costera las elevaciones son del orden de 9 msnm, señalando que el flujo finalmente descarga en el mar.

5.4.3 Evolución del nivel estático

El estudio de actualización de actualización geohidrológica, reporta una evolución de apenas cuatro meses de ese año del 2001, determinando una recarga vertical de 28.6 Mm^3/año por medio de la ecuación de balance de aguas subterráneas, valor muy bajo precisamente por el lapso tan corto entre las fechas consideradas.

No hay más información sobre las evoluciones piezométricas, excepto la opinión generalizada de los usuarios de que no han tenido necesidad de alargar las columnas de las bombas.

5.5 HIDROGEOQUÍMICA Y CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA

En el estudio de actualización del 2001, se analizaron solamente 5 muestras del agua alumbrada. Señalan que es de buena calidad para suministro de agua potable, recomendando una desinfección para controlar que prolifere la bacteria del hierro.

6 CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRÍA

En el estudio de actualización del 2001, fueron identificados 74 aprovechamientos de agua subterránea, 56 de ellos en la margen derecha y 18 en la izquierda. Las norias tienen profundidades no mayores de 10 m, y la de los pozos varían entre 7 y 85 m.

Estos aprovechamientos bombean del subsuelo un total aproximado de 6.697 hm^3/año (MIllones de metros cúbicos anuales), correspondiendo al uso público urbano la mayor parte con 4.554 y a la agricultura de riego 1.979. El pequeño volumen restante se aprovecha en abrevaderos y en el uso doméstico rural, además de otros no especificados.

7 BALANCE DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El balance de aguas subterráneas en su forma más simple, está dado por la siguiente expresión:

$$\underset{\text{(suma de entradas)}}{\text{Recarga total}} = \underset{\text{(del acuífero)}}{\text{Cambio de almacenamiento}} + \underset{\text{(suma de salidas)}}{\text{Descarga total}}$$

Siendo la recarga la suma de la recarga natural e inducida, incluyendo aportaciones subterráneas; el cambio de almacenamiento con su signo, mostrando así si hay recuperaciones, abatimientos o se conserva el equilibrio, y la descarga total, suma de extracciones por bombeo más las salidas subterráneas.

En la tabla No. 3 se consigna en forma resumida el balance de aguas subterráneas para el Acuífero Río Elota.

7.1 ENTRADAS

Las entradas al Acuífero Río Elota están formadas por recargas naturales e inducidas.

7.1.1 Recarga natural

Está conformada por la infiltración de una parte del agua precipitada en el área del valle y de los escurrimientos superficiales a través de sus cauces, además de la recarga por flujo horizontal subterráneo que se presenta por las zonas de pie de monte, desde las partes altas del valle.

Para el caso que nos ocupa, este concepto resulta de **44.4 hm^3/año** (Millones de metros cúbicos anuales), correspondiendo a la infiltración por lluvia unos 41.1 y por flujo subterráneo otros 3.3. El concepto por lluvia se aplicó a una superficie de 1028 km^2, una precipitación de 800 mm anuales y un coeficiente de infiltración de 0.05.

7.1.2 Recarga inducida

La recarga inducida fue estimada en **0.9 hm^3/año** (Millones de metros cúbicos anuales), correspondiendo a la infiltración vertical por exceso de riego en la agricultura 0.5 y 0.4 a pérdidas en el uso público urbano.

Para el medio rural (específicamente clasificados como otros en el censo), y agrícola, el volumen bombeado es de 0.5 y 2.0 hm^3/año (Millones de metros cúbicos anuales), respectivamente, valores a los que se aplica un coeficiente de infiltración por exceso de riego de 0.2, resultando un retorno de 0.50 hm^3 /año (Millones de metros cúbicos anuales).

En cuanto al uso público urbano, el volumen utilizado es de 4.20 hm^3/año (Millones de metros cúbicos anuales), aplicando un coeficiente de infiltración de 0.1, los retornos por fugas y desperdicios resultan de 0.42 hm^3/año (Millones de metros cúbicos anuales)

Tabla No. 3. Balance de aguas subterráneas en el acuífero Río Elota

Área total del acuífero			km^2	3,288
RECARGA				
	Área de valle		km^2	1,028
	Coeficiente	I_1		0.05
	Precipitación		mm/año	800
Recarga natural por lluvia			hm^3/año	**41.12**
Entradas horizontales continentales		Eh	hm^3/año	3.30
Entradas horizontales de mar		Eh	hm^3/año	**0.0**
Total de recarga natural			hm^3/año	**44.4**
	Público Urbano	I_2		0.100
Retorno del uso Público Urbano			hm^3/año	**0.42**
	Agrícola más otros agua subterránea	I_3		0.20
Retorno de riego, agua subterránea			hm^3/año	**0.50**
Retorno total				**0.9**
RECARGA TOTAL		Rt	hm^3/año	**45.3**
DESCARGA				
Salidas horizontales		Sh	hm^3/año	2.0
Caudal base		Q_{base}	hm^3/año	**1.2**
Evapotranspiración (639.2 km^2) coef. Evp. 0.03 y Evap. Pot 1850 mm			hm^3/año	**35.4**
	Extracción total bruta		hm^3/año	6.7
	Agrícola		hm^3/año	2.00
	Público urbano		hm^3/año	4.20
	Industrial		hm^3/año	0.00
	Otros		hm^3/año	0.50
DESCARGA TOTAL			hm^3/año	**45.3**
Minado		DA	hm^3/año	**0.0**
Coeficiente de almacenamiento		S		
Volumen drenado (m/año)		Vd	hm^3/año	0.0
Abatimiento m/año			M	0.00

7.1.3 Flujo subterráneo horizontal

El flujo horizontal subterráneo procedente de las partes altas que circundan al valle, se estimó en 3.3 hm^3/año (Millones de metros cúbicos anuales), considerando para el área de influencia del río Elota una aportación de 1.49 hm^3/año volumen resultante de tener en cuenta un frente total de 2.6 km, un gradiente hidráulico de 0.0018 y una transmisividad de 1x10^{-2} m^2/s. Para el arroyo Potrerillos se calculó en 1.81 hm^3/año, resultado de considerar cuatro canales cuyos frentes suman 2.9 km, un gradiente hidráulico promedio de aproximadamente 0.0043 y una transmisividad, también promedio de 0.0044 m^2/s, tal como se puede ver con mayor detalle en la tabla No. 4. Todos estos canales de flujo están señalados en la figura No 4.

Tabla No. 4. Estimación del flujo horizontal de entrada

Celda	Largo (B) (m)	Ancho (L) (m)	h1-h2 (m)	Gradiente hidráulico (i)	Transmisividad m^2/s	Caudal (Q) m^3/s	Volumen Mm^3/año
Río Elota:							
C-1	2600	550	1	0.001818	1.00 E-02	0.0473	1.4908
Arroyo Potrerillos:							
C-1	400	1100	5	0.004545	0.004426	0.0080	0.2538
C-2	500	1350	5	0.003704	0.004426	0.0082	0.2585
C-3	1150	1000	5	0.005000	0.004426	0.0254	0.8026
C-4	850	1200	5	0.0041667	0.004426	0.0157	0.4943
					Totales:		3.3000

7.2 SALIDAS

Las salidas de agua subterránea por considerar en el Acuífero Río Elota, son la evapotranspiración, el bombeo y el flujo subterráneo horizontal.

7.2.1 Evapotranspiración

En la zona la evapotranspiración se estimó en 35.4 hm^3/año (Millones de metros cúbicos anuales); tiene lugar en aproximadamente 639 km^2, donde los niveles piezométricos son someros; la evaporación potencial es de 1850 mm anuales, y de acuerdo con la figura 7.3 del manual para evaluar recursos hidráulicos subterráneos, se obtiene un 3 % de la evaporación potencial.

7.2.2 Descargas naturales

Este concepto involucra las aportaciones de manantiales, lagos y caudal base de los ríos. Para el acuífero que nos ocupa se considera como descarga comprometida el flujo base del Elota, del orden de 1.2 hm^3/año.

7.2.3 Bombeo

El volumen procedente del bombeo por medio de pozos se consideró de 6.7 hm^3/año (Millones de metros cúbicos anuales), estimándose para el uso agrícola 2.0, 4.2 para el uso público urbano y 0.5 para otros usos.

7.2.4 Flujo subterráneo horizontal

El flujo horizontal subterráneo de salida se estimó en 2.0 hm^3/año (Millones de metros cúbicos anuales), de los cuales 1.5 corresponden al río Elota, considerando un frente de 3500 m, una transmisividad de 0.01 m^2/s y un gradiente hidráulico de 0.0013 en la desembocadura del citado río; y para el Arroyo Potrerillos 0.5 hm^3/año considerando un

frente de 2135 km, una transmisividad de 0.003 m^2/s y un gradiente hidráulico de 0.0026, según la tabla No. 5.

Tabla No. 5 Estimación del flujo horizontal de salida

Celda	Largo (B) (m)	Ancho (L) (m)	h1-h2 (m)	Gradiente hidráulico (i)	Transmisividad AD (T)	Caudal (Q)	Volumen Mm^3/año
Elota:							
C-1	3500	780	1	0.0013	0.01	0.0455	1.5
Potrerillos:							
C-1	2135	385	1	0.0026	0.003	0.0166	0.5
						Totales:	2.0

7.3 CAMBIO DE ALMACENAMIENTO

El cambio de almacenamiento se consideró nulo, dado que no se han registrado variaciones significativas de los niveles piezométricos desde hace muchos años.

8 DISPONIBILIDAD

La disponibilidad media anual de agua en un acuífero se determina por la expresión dada por la norma mexicana NOM-011-CNA-2000:

Disponibilidad Media anual de agua subterránea	=	Recarga total media anual	-	Descarga natural comprometida	-	Volumen concesionado e inscrito en el REPDA.

En otras palabras, la disponibilidad media anual de agua subterránea en el acuífero que nos ocupa, es la recarga total que recibe en un cierto intervalo, menos la descarga natural comprometida, y menos el volumen concesionado de aguas subterráneas e inscrito en el REPDA.

8.1 RECARGA TOTAL MEDIA ANUAL

De acuerdo con las cifras reportadas en el balance de aguas subterráneas, tabla No. 3, la recarga total resulta de 45.3 hm^3/año (Millones de metros cúbicos anuales), cifra integrada por 44.4 Mm^3/año de recarga natural y 0.9 hm^3/año (Millones de metros cúbicos anuales) de recarga inducida.

8.2 DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA

Dentro de este concepto, se deben considerar 1.2 hm^3/año (Millones de metros cúbicos), como descarga natural comprometida, que corresponde al flujo base del río Elota, para evitar la intrusión marina y mantener el equilibrio de la interfase agua salina-agua dulce.

8.3 RENDIMIENTO PERMANENTE

El rendimiento permanente es la diferencia entre la recarga total media anual y la descarga natural comprometida. En el Acuífero Río Elota es de 45.3 hm^3/año menos 1.2 hm^3/año, esto es, 44.1 hm^3/año (Millones de metros cúbicos anuales).

8.4 VOLUMEN CONCESIONADO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Este volumen corresponde al consignado en el REPDA, que es una concesión de 10´586,176 m^3 anuales, con corte de fecha al 31 de mayo del 2005.

8.5 DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

De acuerdo con la Norma Mexicana NOM-011-CNA-2000, y sustituyendo los valores obtenidos con anterioridad en la ecuación, la disponibilidad resulta de:

Disponibilidad = 33´513,824 m^3 anuales = 45´300,000 - 1´200,000 - 10´586,176

El resultado indica que existe un volumen de 33’513,1824 m^3 anuales disponibles para ser administrados, conforme se otorguen nuevas concesiones de agua y se realicen o actualicen los estudios técnicos, tomando en cuenta que la disponibilidad de agua subterránea varía a lo largo del tiempo, dependiendo de los cambios en el régimen natural de recarga, del comportamiento del acuífero, del manejo del agua y de los volúmenes concesionados.

9 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Comisión Nacional del Agua. 2003. Estadísticas del agua en México.

Consultores, S.A. 1978. Evaluación de acuíferos en la zona Elota-Cañas en el estado de Sinaloa, de para la Subdirección de Geología y de Zonas Áridas.

Diario Oficial de la Federación. 5 de diciembre de 2001. Acuerdo por el que se establece y da a conocer al público en general la denominación única de los acuíferos reconocidos en el territorio de los Estados Unidos Mexicanos, por la Comisión Nacional del Agua, y la homologación de los nombres de los acuíferos que fueron utilizados para la emisión de los títulos de concesión, asignación o permisos otorgados por este órgano desconcentrado.

Instituto de Geología del la UNAM. Atlas Geológico y Evaluación Geológica-Minera del estado de Sinaloa, para la Secretaría de Desarrollo Económico del Estado de Sinaloa.

PROTYC S. A. de C. V. 2001. Estudio de actualización geohidrológica de los acuíferos de los ríos Elota, Piaxtla y Quelite, Sinaloa. Acuífero Río Elota, para la Gerencia Regional Pacífico Norte, Subgerencia Técnica, de la Comisión Nacional del Agua.

Técnicas Modernas de la Ingeniería S.A. 1977. Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en los estados de Coahuila, Chihuahua y Sinaloa, para la Subdirección de Geohidrología y de Zonas Áridas de la SARH.