



## EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO DEL RÍO TECORIPA, SONORA, MÉXICO

\* EVA LOURDES VEGA GRANILLO, MARIANO MORALES MONTAÑO, JOSÉ CASTILLO GURROLA, GUSTAVO ADOLFO FIERRO FIMBRES, JESÚS GUADALUPE RAMÍREZ VALENZUELA

### RESUMEN

La presente evaluación hidrogeológica tiene el propósito de apoyar a los municipios de Tecoripa y Suaqui Grande para resolver la problemática que enfrentan respecto a la escasez de agua, reflejado, en el abatimiento de sus acuíferos y en los bajos escurrimientos superficiales.

La evaluación incluyó información previa y generó nuevos datos sobre geología, geofísica, hidrología superficial e hidrogeología. Para conocer las condiciones del subsuelo, se aplicaron las técnicas de prospección geofísica de resistividad eléctrica y gravimetría. Se elaboró un modelo de 3 a 5 capas, siendo la cobertura aluvial del Río Tecoripa la más importante, para el almacenamiento de agua subterránea desde el sitio La Cortina hasta Suaqui Grande, con espesores que varían de los 4.0 a los 20.0 m. El basamento está representado por el Grupo Báucarit, con espesores de decenas a cientos de metros, es improductivo desde el punto de vista geohidrológico.

Los cálculos hidrológicos muestran que la evapotranspiración representa el 87% de la lluvia, el escurrimiento el 12% y el resto ocurre como infiltración o recarga al acuífero. Se concluye que el volumen infiltrado no es suficiente para los usos que se realizan en el Acuífero del Río Tecoripa, por lo que se recomienda se realicen obras hidráulicas de recarga artificial.

**Palabras clave:** Hidrogeología, acuífero, Río Tecoripa, Sonora, México.

### ABSTRACT

*This hydrogeological assessment is intended to support municipalities of Tecoripa and Suaqui Grande to solve the problems they face with respect to water scarcity, reflected in the lowering of its water and low surface runoff, caused by recurrent droughts have arisen in recent years in the state of Sonora.*

*The evaluation included prior information and generated new data on geology, geophysics, surface hydrology and hydrogeology. For subsurface conditions geophysical prospecting techniques of electrical resistivity and gravimetric were applied. A model of 3-5 layers were prepared, being the Tecoripa River flood coverage the most important to groundwater storage, from the site La Cortina to Suaqui Grande, which thicknesses ranges from 4.0 to 20.0 m. The basement is represented by Báucarit Group, with thicknesses of tens to hundreds of meters, is unproductive from the point of view geohydrology.*

*Hydrologic calculations show that evapotranspiration accounts for 87% of the rainfall, runoff 12% and the rest occurs as infiltration or groundwater recharge. We conclude that the infiltrated volume is not enough for the uses made in Tecoripa River Aquifer, for this reason is recommended to build artificial recharge hydraulic constructions.*

**Keywords:** Hydrogeology, aquifer, Tecoripa River, Sonora, Mexico.

M.I. EVA LOURDES VEGA GRANILLO  
 Depto. de Geología, Universidad de Sonora  
 Correo: eva.vega@ciencias.uson.mx  
 M.C. MARIANO MORALES MONTAÑO  
 Depto. de Geología, Universidad de Sonora  
 Correo: morales@geologia.uson.mx

DR. JOSÉ CASTILLO GURROLA  
 Consultor Independiente  
 Correo: kemeney@prodigy.net.mx  
 GEOL. GUSTAVO ADOLFO FIERRO FIMBRES  
 Correo: gustavo\_fe11@hotmail.com  
 PAS. GEOL. JESÚS GUADALUPE RAMÍREZ V.  
 Correo: ravaje75@gmail.com

\*Autor para correspondencia: Eva Lourdes Vega Granillo

Correo electrónico: eva.vega@ciencias.uson.mx

Recibido: 16 de septiembre de 2014

Aceptado: 24 de noviembre de 2014

ISSN: 2007-4530



"El saber de mis hijos  
hacia mi grandeza"

## INTRODUCCIÓN

La situación actual en torno a los recursos hidráulicos, en el estado de Sonora, es crítica, dado que existe un desequilibrio espacial y temporal de su disponibilidad por razones naturales, por la concentración de la población y las actividades productivas en determinadas zonas y, por un inapropiado aprovechamiento del agua, lo que ha provocado el agotamiento de las reservas superficiales, y la sobreexplotación de las subterráneas.

Esta problemática es la que enfrenta el Acuífero del Río Tecoripa, por lo que se desarrolló el presente estudio, que servirá de base para futuras acciones. El acuífero, en la cuenca hidrológica del mismo nombre, se ubica la porción centro oriental del estado de Sonora, entre los paralelos 28° y 29° de latitud Norte y los meridianos 109°30' y 110°30' de longitud Oeste; cubre una superficie de 2,447.44 km<sup>2</sup>. El acuífero/cuenca pertenece a la región hidrológica "RH-9" Sonora Sur, específicamente a la cuenca hidrológica "b" del Río Yaqui (Figura 1).

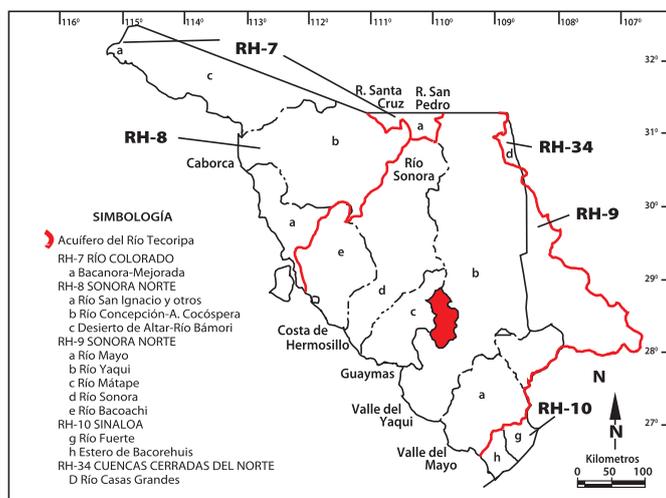


Figura 1. Localización del Acuífero del Río Tecoripa.

La metodología empleada en el presente trabajo, contempló varias etapas: recopilación y análisis de la información existente, recorridos de campo y trabajo de gabinete. Los trabajos de campo consistieron, en la nivelación de brocales con instrumentos de alta precisión, evaluación geofísica que incluyó sondeos eléctricos verticales, y perfiles gravimétricos, realización de pruebas de bombeo, para definir los parámetros geohidrológicos, medición de los niveles estáticos y dinámicos para obtener los planos de piezometría, cálculo del flujo subterráneo y balance hidrológico.

## GEOLOGÍA

De acuerdo a la CONAGUA [1], la geología general, está representada por un conjunto de rocas de origen sedimentario e ígneo de complejas relaciones estructurales, debido a los eventos de deformación que

dieron lugar a extensos plegamientos de dirección E-W y NW-SE. Las rocas en el acuífero, varían del Paleozoico inferior al Cuaternario (Figura 2).

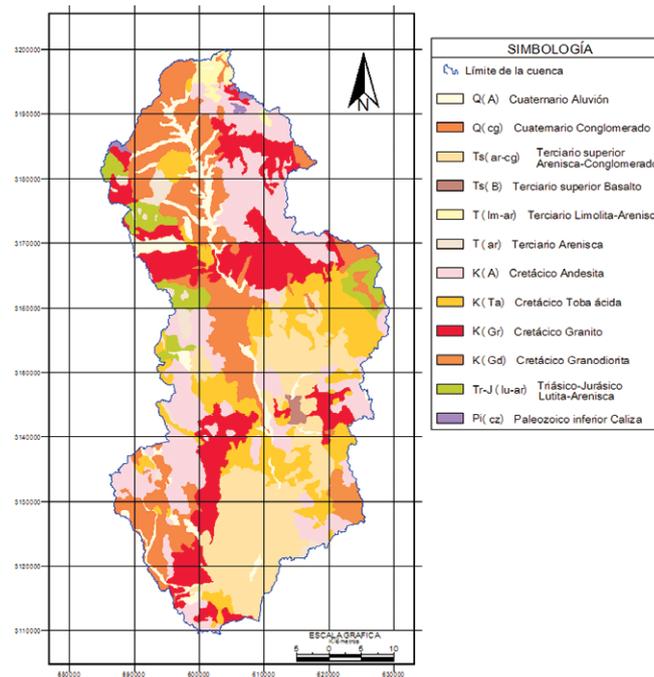


Figura 2. Geología del Acuífero del Río Tecoripa ( [1] modificado).

Las rocas más antiguas son calizas del Paleozoico inferior, las cuales afloran en la porción NE y NW de la zona. Forman una secuencia de calizas masivas de origen marino, con intercalaciones de lutitas y areniscas; estas rocas están plegadas, y generalmente recrystalizadas por el efecto de las intrusiones graníticas del Cretácico.

Le siguen rocas del Triásico-Jurásico; el Triásico aflora en toda la porción centro-oriental del estado de Sonora, y está representado por un conjunto de rocas sedimentarias, a las cuales Dumble [2] designó, con el nombre de División Barranca; Alencaster [3] la eleva al rango de Grupo y la divide en tres Formaciones: Arrayanes, Santa Clara y Coyotes.

El Cretácico Inferior está representado por la Formación Tarahumara, esta secuencia forma lomeríos suaves, constituidos por un paquete de andesitas, areniscas y traquitas con algunos horizontes de areniscas, lutitas, calizas y tobas andesíticas.

Del Paleógeno-Neógeno es la Formación Báucarit (Grupo Báucarit) considerada como el basamento acuífero; está compuesta por conglomerados polimícticos, con fragmentos de angulosos a subangulosos de todas las rocas preexistentes: intrusivas, volcánicas y sedimentarias (areniscas y pedernal). Los afloramientos son extensos, observándose a todo lo largo de ambas márgenes del Río Tecoripa. El medio ambiente de depósito está asociado

a cuencas continentales, formadas a partir del evento distensivo de sierras y valles paralelos (Basin and Range).

Del Cuaternario (Pleistoceno), existen depósitos no consolidados de conglomerados, gravas, arenas y limos, con clastos subangulosos de tamaños y composición heterogénea, su espesor promedio es de 10.0 m. Descansan discordantemente, sobre toda la columna precuaternaria. Desde el punto de vista hidrogeológico, es la unidad más importante, ya que de ella se extrae la mayor cantidad del agua utilizada en la región.

## GEOFÍSICA

Con el objetivo de conocer las condiciones del subsuelo, que conforma el Acuífero del Río Tecoripa, tanto en su distribución vertical como horizontal, se procedió a la aplicación de técnicas indirectas, de prospección geofísica. Ésta se define, como un conjunto de técnicas físico-matemáticas, aplicadas a la exploración del subsuelo, por medio de observaciones realizadas sobre la superficie de la tierra. Dichas observaciones consisten, en la medición de alguna propiedad física de los materiales del subsuelo (resistividad eléctrica, densidad, elasticidad, etc).

Para la presente investigación del subsuelo, se seleccionaron sitios del Acuífero del Río Tecoripa, en los cuales se llevó a cabo la aplicación de los métodos de Resistividad eléctrica, en la modalidad de sondeos eléctricos verticales y Gravimetría en la modalidad de perfiles. Se levantaron un total de 30 sondeos eléctricos verticales (Figura 3), y 6 perfiles de gravimetría, integrados en 190 estaciones (Figura 4).

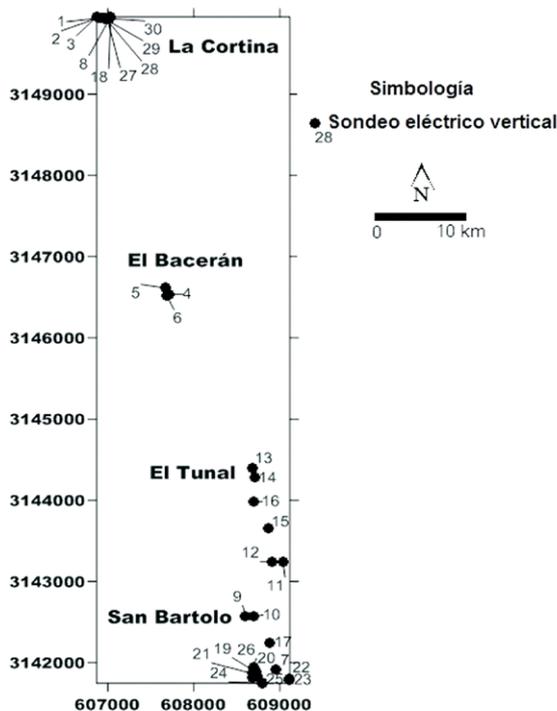


Figura 3. Localización de los sondeos eléctricos verticales.

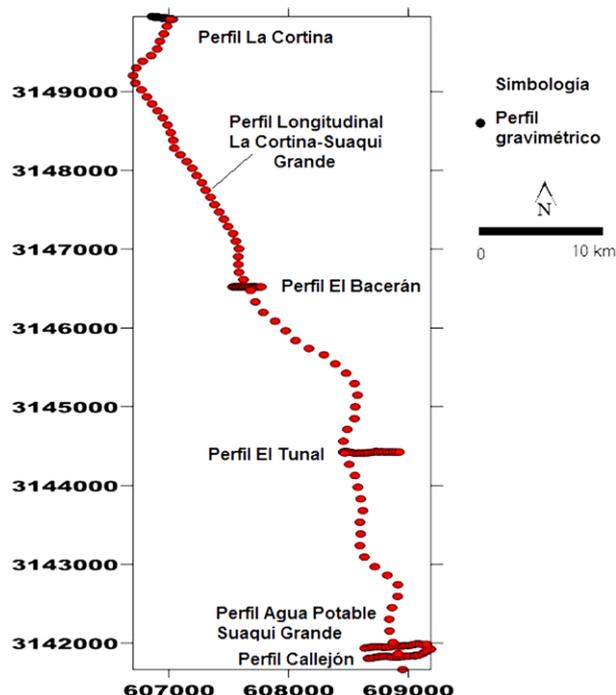


Figura 4. Distribución de perfiles gravimétricos.

## Resistividad eléctrica

El método de Resistividad eléctrica, cuyo fundamento físico – matemático descansa en la Ley de Ohm, consiste básicamente en la inyección de corriente eléctrica al subsuelo, a través de dos electrodos (A y B) denominados “electrodos de corriente”. El campo eléctrico generado por la propagación de la corriente en el subsuelo, se mide en un par de electrodos (M y N) denominados “electrodos de potencial” conectados a un voltímetro. El tipo de corriente utilizada es continua o directa.

Los datos de resistividad aparente ( $\rho_a$ ) obtenidos en cada SEV, se representan por medio de una curva, en función de las distancias entre electrodos de corriente ( $\rho_a$  como ordenada y  $AB/2$  como abscisa), en hojas doble logaritmo; la curva así obtenida se denomina curva SEV, curva de campo o curva de resistividad aparente. La mayor eficacia del método, corresponde al caso en que éste se aplica sobre terrenos compuestos por capas lateralmente homogéneas, en lo que respecta a la resistividad, y limitadas por planos paralelos a la superficie (medio estratificado).

La interpretación de la curva de campo obtenida, consiste en, deducir la distribución vertical de las resistividades y espesores reales que conforman el subsuelo, en el punto sondeado (Corte geoelectrico). Dicha interpretación evidentemente consiste, en la solución de un “problema inverso” para el cual, no existe solución única.

Para realizar los sondeos se utilizó, un Resistivímetro Scintrex-Saris de 180 W, con un arreglo Tetraelectrónico de Schlumberger, con apertura A/B de 250 m.



La interpretación cuantitativa de los datos de campo obtenidos por el método de Resistividad eléctrica indica que:

Los cortes geoelectricos representativos del Río Tecoripa varían de 3 a 5 capas perteneciendo a los tipos K, KQ, AK, KH y KQQ respectivamente, indicativos de la presencia de cobertura aluvial de espesor variable.

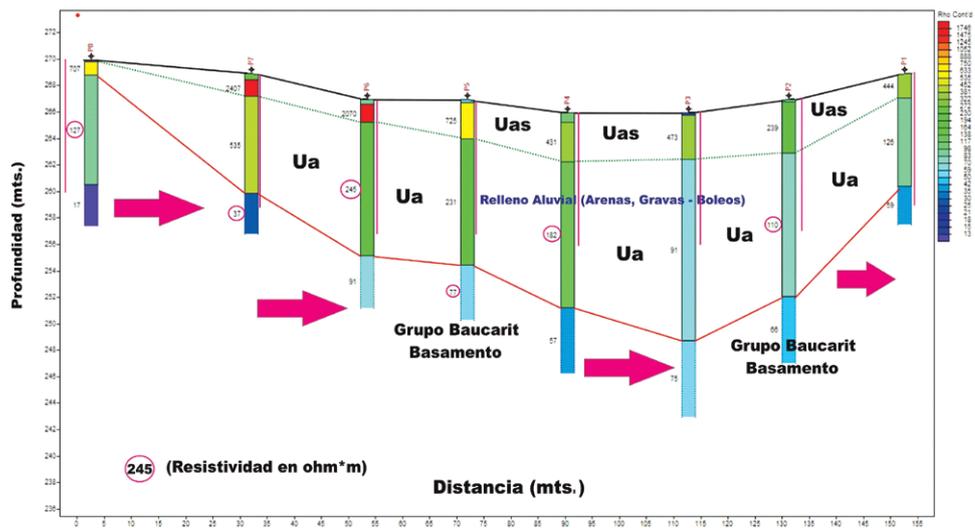
La unidad aluvial saturada del Río Tecoripa es la más importante desde el punto de vista geohidrológico, para el almacenamiento de agua subterránea; desde el sitio de La Cortina hasta el poblado de Suaqui Grande presenta poco espesor (4.0 a 20.0 m), lo que limita en gran medida la disponibilidad del recurso, sobre todo en épocas de estiaje.

El basamento, prácticamente impermeable, está representado por secuencias litológicas correspondientes al denominado Grupo Báucarit (conocido como "El Cascajo" a nivel local), con espesores que varían de las decenas a los cientos de metros e improductivo desde el punto de vista geohidrológico (agua para abrevadero). Las secciones geoelectricas obtenidas muestran el comportamiento de las diferentes unidades detectadas en el subsuelo.

En el sitio de La Cortina, las profundidades al basamento impermeable representado por el Grupo Báucarit, varían de un mínimo de 1.2 m a un máximo de 17.0 m.

En el presente trabajo se muestran algunas de las secciones geoelectricas que definen el comportamiento de las diferentes unidades detectadas en el subsuelo del Río Tecoripa (Figuras 5 y 6).

Figura 5. W – Sección geoelectrica La Cortina – E.



Uas: unidad aluvial sin saturación; Ua: unidad aluvial saturada.

### Estudio gravimétrico

El método gravimétrico de prospección consiste en la medición de los valores de la gravedad terrestre, con el objeto de determinar las desviaciones o "anomalías" del comportamiento normal del campo gravitacional, ocasionadas por cambios de densidad en los materiales del subsuelo. El fundamento físico-matemático del método descansa en la "Ley de la Gravitación Universal" de Newton, expresada por la relación:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Donde:

F = módulo de la fuerza ejercida entre ambos cuerpos, y su dirección se encuentra



en el eje que une ambos cuerpos (dina o Newton).  
 $G =$  constante de la gravitación universal ( $6.67428 \pm 0.00067$ )  $\times 10^{-11}$   $\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$ .  
 $m_1$  y  $m_2 =$  masas unitarias (g).  
 $r =$  distancia que separa los centros de dichas masas (m).

Debido a las variaciones prácticamente despreciables que experimenta el campo gravitacional (980 gals en el Ecuador a 985 gals en los polos donde  $1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/seg}^2$ ), es necesario contar con instrumentos lo suficientemente sensibles que permitan efectuar mediciones muy precisas de la gravedad; dichos instrumentos se denominan Gravímetros.

Para la gravimetría de Acuífero del Río Tecoripa se usó un Gravímetro Scintrex-Autograv CG-5, totalmente automatizado. La distancia entre perfiles gravimétricos fue variable (176 - 9,023 m), así como la distancia entre estaciones (5 - 150 m); el número de perfiles y de estaciones fue de 6. La resolución fue de 0.001 miligal, con un rango de operación de 8,000 miligals sin necesidad de resetear.

Una vez obtenidos los datos de campo con el gravímetro, el procesado e interpretación de los mismos requiere que se apliquen las correcciones siguientes:

Corrección por deriva instrumental + marea gravimétrica (efecto Luni - Solar).

- Corrección por latitud.
- Corrección por elevación (Aire libre o de Faye).
- Corrección de Bouguer.
- Corrección por topografía (Terreno).

Al valor de gravedad que se obtiene en cada punto de medición una vez realizadas las correcciones señaladas, se le conoce como "Gravedad de Bouguer". El siguiente paso consiste en obtener la llamada "Anomalía de Bouguer" para lo cual, a partir de los datos de Gravedad de Bouguer, se resta el valor de una estación de referencia (base). A partir del plano o perfil de Anomalía de Bouguer se lleva a cabo la separación Regional-Residual, para eliminar efectos no deseados.

El Residual, puede ser interpretado cuantitativamente para deducir la estructura del subsuelo, reduciendo la

ambigüedad con ayuda de la información geológica y/o geofísica disponible. En el Acuífero del Río Tecoripa, las densidades utilizadas fueron de  $1.8 \text{ g/cm}^3$  para la cubierta aluvial y de  $2.2 \text{ g/cm}^3$  para el basamento (Grupo Báucarit).

### Interpretación geofísica

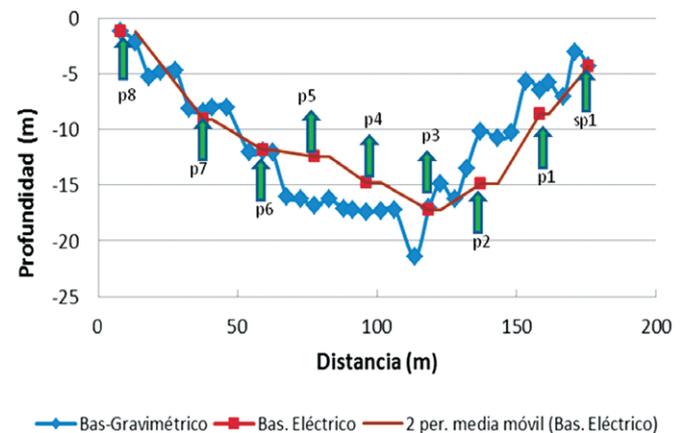
La interpretación conjunta indica que las unidades geohidrológicas que conforman el subsuelo de los sitios analizados están representadas por:

Unidad aluvial sin saturación o zona vadosa (Uas), constituida por materiales granulares de espesor variable representados por arenas, gravas y boleos cuyo espesor descansa entre los 5.0 y los 10.0 m. Presenta un rango de resistividades que varían desde los 230 a mayores de los 2,000  $\text{W} - \text{m}$ , que son valores típicos para materiales de granulometría media a gruesa sin saturación (Figura 6).

Unidad aluvial saturada (Ua), la más importante desde el punto de vista geohidrológico, se caracteriza por presentar un rango de resistividades que varían desde los 90 hasta los 535  $\text{W} - \text{m}$ . Estas resistividades son típicas de materiales de acarreo y relleno aluvio-fluvial, tales como gravas, boleos y arenas de alta porosidad y permeabilidad. Los espesores varían de 4.0 a 20.0 m (Figura 6).

Unidad basal (Basamento), conocida como "El Cascajo" a nivel local, aflora en los extremos del perfil, así como a lo largo de ambas márgenes del Río Tecoripa y es el asiento del propio poblado, así como del de Suaqui Grande; constituye el basamento impermeable de la región. Se caracteriza por la presencia de un conglomerado polimíctico con matriz arcillo-limosa con intercalaciones de estratos areno-arcillosos. Su actitud es prácticamente horizontal en el sitio de La Cortina. Las resistividades que se observan para esta unidad, en dicho sitio, varían de un mínimo de 37 a un máximo de 127  $\text{W} - \text{m}$ . Desde el punto de vista geohidrológico es un productor pobre, como lo muestran las perforaciones profundas que lo cortan (Figura 6).

Figura 6. W - Perfil La Cortina - E.



Los símbolos SP1 a P8 representan los sondeos eléctricos verticales.

Se concluye de la geofísica que los reducidos espesores del relleno aluvial (Figuras 5 y 6) indican una pobre fuente de retención de los escurrimientos, por lo cual, es imprescindible realizar obras que permitan reducir la velocidad del agua, propiciando una mayor infiltración al subsuelo.

## HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

Para realizar el balance hidrológico superficial, en el presente estudio, se usaron las estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional [4] denominadas Tecoripa y Suaqui Grande, ubicadas dentro de la Cuenca del Río Tecoripa y 7 de las estaciones más próximas fuera de la cuenca (San José de Pimas, Mazatán, Rebeiquito, Soyopa, Punta de Agua II, P. Álvaro Obregón y Ónavas).

La lluvia media anual de la cuenca hidrológica en estudio se obtuvo usando el método de los Polígonos de Thiessen, que consiste en trazar polígonos irregulares alrededor de cada estación meteorológica, para posteriormente multiplicar la lluvia de la estación por el área del polígono [5] (Figura 7).

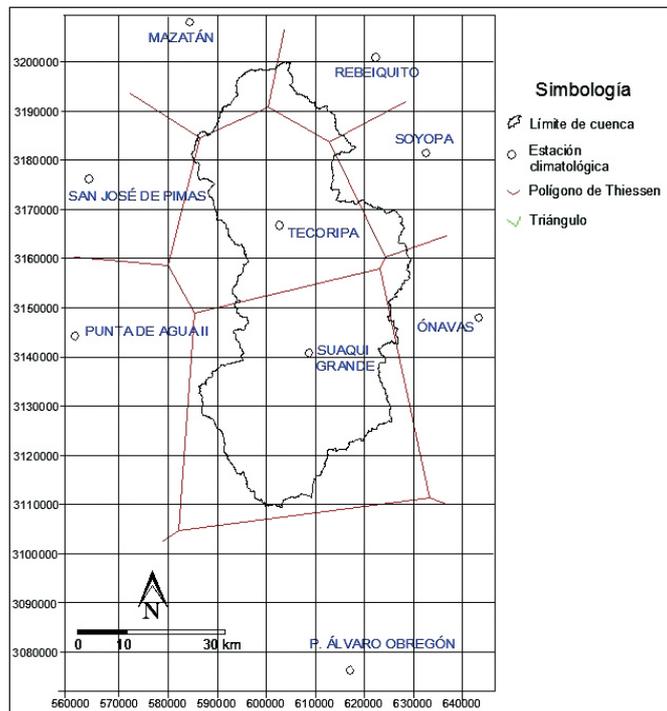


Figura 7. Trazado de los Polígonos de Thiessen en la cuenca.

La lluvia media anual obtenida fue de 518.26 mm, que multiplicada por el área de la cuenca de 2,447,440,345.77 m<sup>2</sup> da un volumen precipitado al año de 1,268.42 Hm<sup>3</sup>.

Para conocer la evapotranspiración real anual en la Cuenca del Río Tecoripa se usó la ecuación propuesta por Coutagne en 1954,  $ET = P - \lambda P^2$  [5]; se consideró una temperatura media del aire de 22.87°C, se calculó el parámetro lambda,  $\lambda = 1/[0.8 + 0.14T]$  de 0.25, y se usó



la precipitación media anual previamente calculada; estos datos se reemplazaron en la fórmula dando una evapotranspiración real anual de 451.14 mm, que equivale a un volumen evapotranspirado al año de 1,104.15 Hm<sup>3</sup>, lo que representa el 87.0% del volumen llovido en la cuenca.

Se sabe que el coeficiente de escurrimiento de una cuenca se calcula con la relación  $Ce = VeTVp$  (volumen escurrido/volumen precipitado). En el presente trabajo se usó el método indirecto de la Norma Oficial Mexicana [6] para calcularlo. El primer paso consistió en recorridos de campo para determinar las unidades geohidrológicas (tipo de suelo), clasificándolas como permeable, semipermeable o impermeable según fuera el caso. En dichos recorridos también se registraron los usos de suelo, entre los que destacó zonas de cultivo agrícola (cauce del río), zonas con bosque con menos del 50% de cobertura vegetal (montañas) y zonas de mezquital y matorral (parte del valle aluvial).

El promedio de los coeficientes de escurrimiento calculados fue de 12.0% (2014), que al multiplicarlo por el volumen precipitado dio un volumen natural de escurrimiento de 152.21 Hm<sup>3</sup>, siendo la lámina escurrida igual a 62.19 mm/año. Comparando estos resultados con los de otros autores que aplicaron el método del Número de curva para obtener el coeficiente de escurrimiento, éste varió año con año, de 25.0% (1988) a 7.0% (2012).

Por último, se calculó la infiltración media anual del acuífero, despejándola de la ecuación del ciclo hidrológico ( $Pp = Esc + Evap + Inf \pm S$ ), la cual dio una lámina anual infiltrada de 4.93 mm (12.06 Hm<sup>3</sup>), considerado como la recarga vertical al acuífero, que equivale al 1% del agua de la lluvia que se infiltra verticalmente.

## HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

El Acuífero del Río Tecoripa es de tipo libre; en el presente estudio por medio de la geología y geofísica se reconocieron básicamente 3 unidades geohidrológicas: Unidad aluvial sin saturación (Uas), Unidad aluvial saturada (Ua) y Unidad basal (Basamento).

Las fronteras impermeables del acuífero son material geológico de baja permeabilidad que consiste de rocas sedimentarias (Formación o Grupo Báucarit) del Terciario medio.

La relación entre la topografía de la cuenca y la profundidad al nivel estático, en sitios específicos cercanos al poblado de Suaqui Grande, se muestra en la figura 8.

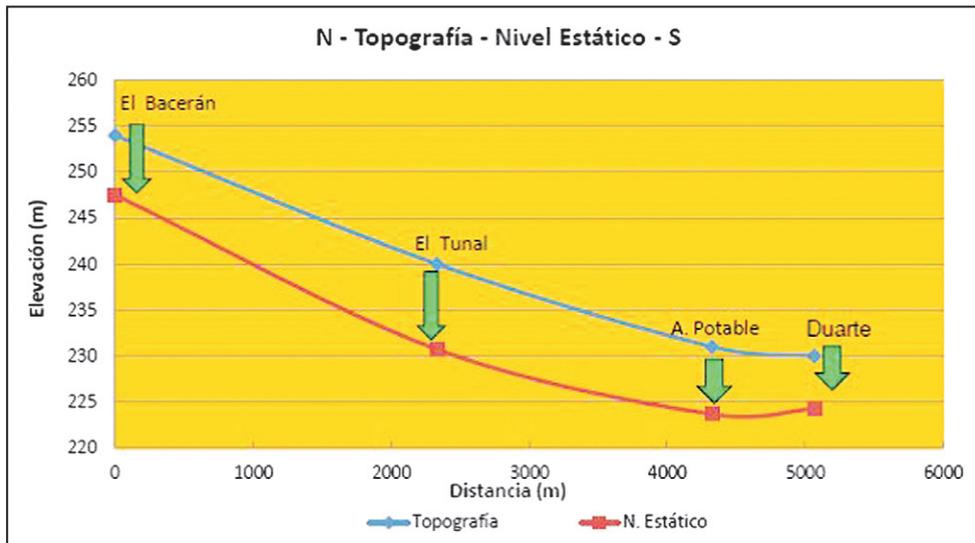


Figura 8. Nivel estático del agua en los pozos del Acuífero del Río Tecoripa.

### Parámetros geohidrológicos

Para complementar el conocimiento del acuífero, se realizaron 18 pruebas de bombeo de corta duración en los pozos de la zona, usando sonda eléctrica, cronómetro y cinta métrica. Las pruebas de bombeo fueron de abatimiento y de recuperación de los niveles dinámicos.

Aplicando el programa Aquifer Test, seleccionando el Método de Theis, se obtuvo la transmisividad, la conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento (Tabla 1), teniendo como datos conocidos el gasto del pozo y el espesor saturado del acuífero obtenido con geofísica. La ubicación de los pozos se muestra en la figura 11.

Tabla 1. Parámetros geohidrológicos en pruebas de bombeo (abatimiento).

Pozo	Clave	Gasto (m <sup>3</sup> /s)	Espesor saturado (m)	Transmisividad (m <sup>2</sup> /s)	Conductividad hidráulica (m/s)	Coficiente de almacenamiento (adimensional)
El Tunal	sg-19	0.036	47.790	2.98E-03	1.49E-04	3.42E-06
San Bartolo	sg-11	0.036	50.110	3.92E-03	1.96E-04	2.41E-07
Agua Potable Suaqui Grande	sg-07	0.013	51.690	1.20E-03	6.01E-05	1.38E-06
El Alamito	sg-14	0.036	47.130	2.64E-03	1.32E-04	9.79E-06
Agua Potable Tecoripa	sg-35	0.010	53.280	1.13E-03	5.63E-05	2.58E-06
La Burqueña	sg-37	0.003	5.790	5.88E-04	2.94E-05	9.31E-07
El Bacerán	sg-23	0.003	7.250	6.81E-04	3.40E-05	2.41E-07
El Tepeguaje	sg-21	0.004	5.210	6.20E-04	3.10E-05	8.74E-08
Máximo		0.036	53.280	3.92E-03	1.96E-04	9.79E-06
Mínimo		0.003	5.210	5.88E-04	2.94E-05	8.74E-08
Promedio		0.018	33.531	1.72E-03	8.60E-05	2.33E-06

El mayor gasto se presentó en los pozos El Tunal, San Bartolo y El Alamito ( $0.036 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y el menor en los pozos La Burqueña y El Bacerán ( $0.003 \text{ m}^3/\text{s}$ ); el mayor espesor saturado en el pozo Agua Potable Tecoripa (53.280 m) y el menor en El Tepeguaje (5.210 m); las mayores transmisividad y conductividad hidráulica se registraron en el pozo San Bartolo y las menores en La Burqueña; el mayor coeficiente de almacenamiento fue en el pozo El Alamito ( $9.79\text{E-}06$ ) y el menor en El Tepeguaje ( $8.74\text{E-}08$ ) (Tabla 1).

Las figuras 9 y 10 muestran ejemplos de las gráficas que se generaron tanto en pruebas de abatimiento como de recuperación.

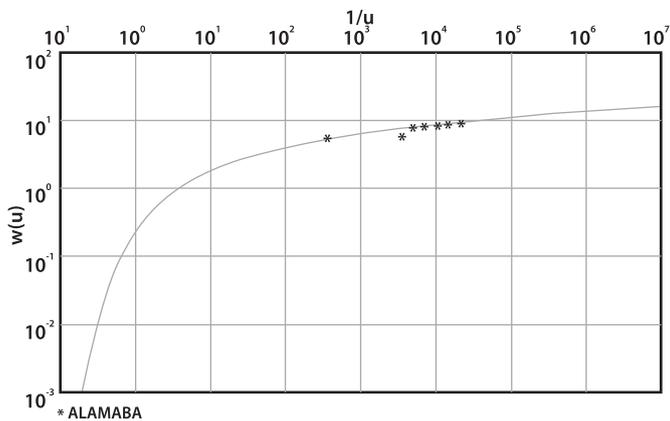


Figura 9. Prueba de bombeo (abatimiento) en el pozo El Alamito.

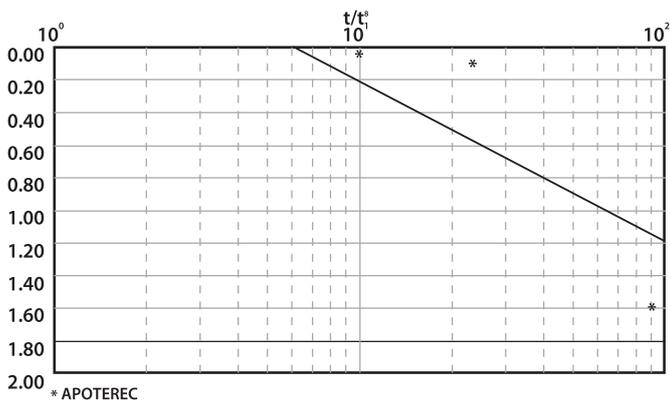


Figura 10. Prueba de bombeo (recuperación) en el pozo Agua Potable Tecoripa.

### Red de flujo de agua subterránea

Como parte de la investigación, se elaboró un censo de 35 aprovechamientos entre norias y pozos con profundidad media; a los pozos se les asignó la clave "sg" seguida de un número (Figura 11). En el campo se midió en los pozos la profundidad del nivel estático (m), y en gabinete, se obtuvo la elevación del nivel estático (msnm).

La profundidad del agua en los pozos del Acuífero del Río Tecoripa varía de 4.55 m (pozo sg37) a 65.50 m (pozo sg26); las elevaciones del nivel estático van de 215.24 msnm (pozo sg-38) a 572.20 msnm (pozo sg-25). El promedio de profundidades es de 12.69 m y de elevaciones de 332.77 msnm.

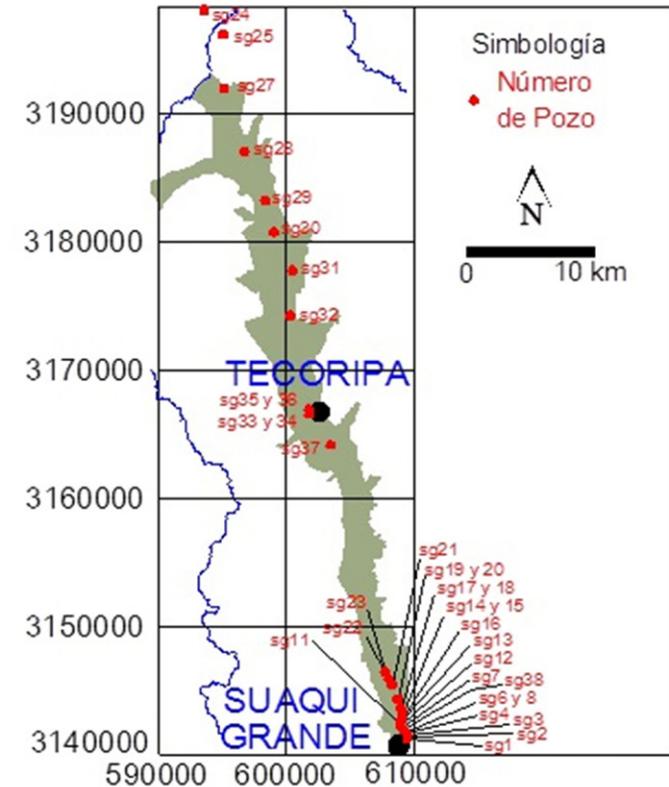


Figura 11. Aprovechamientos del Acuífero del Río Tecoripa, Sonora.

Los datos puntuales de piezometría se interpolaron para construir una red de flujo de entrada y una de salida de agua subterránea. Con la red de flujo se puede conocer la dirección del movimiento del agua subterránea y el gasto ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) que pasa por cada celda. En los cálculos se usó un valor promedio de transmisividad de los obtenidos en las pruebas de bombeo (Tabla 1).



Se calculó la entrada horizontal de agua subterránea entre las líneas equipotenciales 535 y 540 msnm mediante 4 celdas, siendo de 3.83 Hm<sup>3</sup> para el año 2014; la salida horizontal de agua se calculó entre la 255 y la 260 por medio de 3 celdas, resultando en 3.30 Hm<sup>3</sup> para el año 2014. El agua se mueve sensiblemente de N a S (Figura 12).

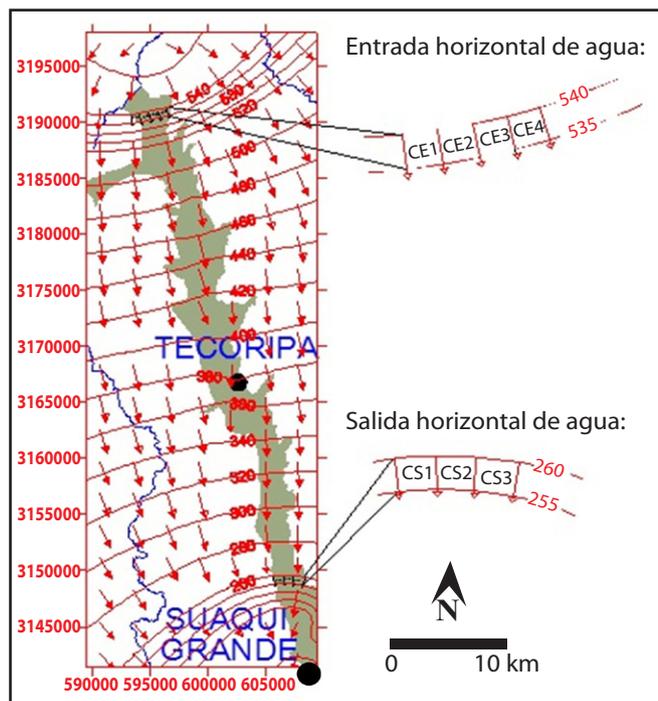


Figura 12. Red de flujo con datos piezométricos de 2014.

## CONCLUSIONES

En el Acuífero del Río Tecoripa, la geología está representada por un conjunto de rocas de origen sedimentario e ígneo de complejas relaciones estructurales, debido a los eventos de deformación que dieron lugar a extensos plegamientos de dirección E-W y NW-SE.

Con el objeto de conocer las condiciones del subsuelo, se aplicaron técnicas indirectas de prospección geofísica, levantándose en total 30 sondeos eléctricos verticales (Resistividad eléctrica) y 6 perfiles (Gravimetría) integrados en 190 estaciones. Los cortes geoelectrónicos representativos del Río Tecoripa varían de 3 a 5 capas perteneciendo a los tipos K, KQ, AK, KH y KQQ respectivamente, indicativos de la presencia de cobertura aluvial de espesor variable. La cobertura aluvial del Río Tecoripa, la más importante desde el punto de vista geohidrológico para el almacenamiento de agua subterránea, desde el sitio de La Cortina hasta el poblado de Suaqui Grande, presenta un espesor que va de 4.0 a 20.0 m. El basamento, prácticamente impermeable, está representado por secuencias litológicas del Grupo Báucarit ("El Cascajo"), con espesores que varían de las decenas a los cientos de metros e improductivo desde el punto de vista geohidrológico. En el sitio de La Cortina, las

profundidades al basamento impermeable representado por el Grupo Báucarit, varían de un mínimo de 1.2 m a un máximo de 17.0 m.

De los cálculos realizados se concluye que en el año 2014, el gasto total de entrada para la sección del acuífero seleccionada fue de 3.83 Hm<sup>3</sup> y el de salida de 3.30 Hm<sup>3</sup>.

De las pruebas de bombeo realizadas, se observan las mayores transmisividad y conductividad hidráulica en el pozo San Bartolo (3.92E-03) y las menores en La Burqueña (5.88E-04); el mayor coeficiente de almacenamiento fue en el pozo El Alamito (9.79E-06) y el menor en El Tepeguaje (8.74E-08). El mayor espesor saturado se presentó en el pozo Agua Potable Tecoripa (53.28 m) y el menor espesor en El Tepeguaje (5.21 m).

Respecto a los gastos, sólo tres pozos son de 36 L/s, los de agua potable de Tecoripa; los pozos de Suaqui Grande son de 10 y 13 L/s, respectivamente; y las norias de 3 a 4 L/s.

Para realizar el balance hidrológico superficial, se usaron datos de 9 estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional, dentro y fuera del área del acuífero. Por medio del método de los Polígonos de Thiessen, se calculó una lluvia media anual de 0.52 mm (1,268.42 Hm<sup>3</sup>), una evapotranspiración real anual por el método de Coutagne de 0.45 m (1,104.15 Hm<sup>3</sup>), lo que representa el 87% del volumen llovido en la cuenca. El promedio de los coeficientes de escurrimiento fue de 0.12 (12%), obtenido con la Norma Oficial Mexicana, equivalente a un volumen natural de escurrimiento de 152.21 Hm<sup>3</sup>. La infiltración media anual despejada de la ecuación del ciclo hidrológico fue 4.93 mm (12.06 Hm<sup>3</sup>), considerado como la recarga vertical al acuífero, o el porcentaje del agua de la lluvia que se infiltra verticalmente.

Se concluye que el volumen infiltrado no es suficiente para los usos que se realizan en el Acuífero del Río Tecoripa, por lo que se recomienda se realicen obras hidráulicas de recarga artificial.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) CONAGUA, «Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero 2639 Río Tecoripa, Estado de Sonora,» SEMARNAT, México, 2010.
- 2) E. Dumble, «Notes on the geology of Sonora, Mexico,» American Institute of Mining and Petroleum Engineering Transactions, vol. 29, pp. 122-152, 1900.
- 3) G. Alencaster de Cserna, «Estratigrafía del Triásico Superior de la parte central del estado de Sonora. Parte I.,» Paleontología del Triásico Superior en Sonora: UNAM, Paleontología Mexicana, vol. 11, pp. 1-18, 1961.
- 4) Servicio Meteorológico Nacional, Datos de estaciones climatológicas (P, T, E), Hermosillo, Sonora: CONAGUA, 2014.
- 5) E. L. Vega Granillo, Hidrogeología, Hermosillo, Sonora: UNISON, 2011.
- 6) Norma Oficial Mexicana, NOM-011-CONAGUA-2000. Conservación del recurso agua que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales., México, D.F.: Poder Ejecutivo, Sría. Med. Amb. y Rec. Nat. Diario Oficial, 2002.