



**SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA**  
**GERENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

**ACTUALIZACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD MEDIA ANUAL DE  
AGUA EN EL ACUÍFERO LAGUNA EL REY (0856), ESTADO  
DE CHIHUAHUA**

CIUDAD DE MÉXICO, 2024

## Contenido

<b>1. GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
Antecedentes.....	2
1.1 Localización.....	2
1.2 Situación Administrativa del Acuífero.....	4
<b>2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD .....</b>	<b>4</b>
<b>3. FISIOGRAFÍA .....</b>	<b>5</b>
3.1 Provincias Fisiográficas.....	5
3.2 Clima.....	6
3.3 Hidrografía .....	6
3.4 Geomorfología.....	7
<b>4. GEOLOGÍA.....</b>	<b>7</b>
4.1 Estratigrafía .....	10
4.2 Geología Estructural .....	18
4.3 Geología del Subsuelo .....	19
<b>5. HIDROGEOLOGÍA .....</b>	<b>20</b>
5.1 Tipo de Acuífero.....	20
5.2 Parámetros hidráulicos.....	21
5.3 Piezometría .....	21
5.3 Comportamiento hidráulico.....	21
5.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea .....	22
<b>6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA.....</b>	<b>22</b>
<b>7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRRANEAS.....</b>	<b>22</b>
7.1 Entradas.....	22
7.1.1 Recarga vertical.....	23
7.2 Salidas.....	29
7.2.1 Bombeo (B).....	29
<b>8. DISPONIBILIDAD .....</b>	<b>30</b>
8.1 Recarga total media anual (R).....	30
8.2 Descarga natural comprometida (DNC).....	30
8.3 Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS).....	31
8.4 Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA) .....	31

## **1. GENERALIDADES**

### **Antecedentes**

La Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento contemplan que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) debe publicar en el Diario Oficial de la Federación (DOF), la disponibilidad de las aguas nacionales, en el caso de las aguas subterráneas esto debe ser por acuífero, de acuerdo con los estudios técnicos correspondientes y conforme a los lineamientos que considera la “NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua- Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales”. Esta norma ha sido preparada por un grupo de especialistas de la iniciativa privada, instituciones académicas, asociaciones de profesionales, gobiernos estatales y municipales y de la CONAGUA.

La NOM establece para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas la realización de un balance de las mismas donde se defina de manera precisa la recarga, de ésta deducir los volúmenes comprometidos con otros acuíferos, la demanda de los ecosistemas y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

Los resultados técnicos que se publiquen deberán estar respaldados por un documento en el que se sintetice la información, se especifique claramente el balance de aguas subterráneas y la disponibilidad de agua subterránea susceptible de concesionar.

La publicación de la disponibilidad servirá de sustento legal para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua subterránea, transparentar la administración del recurso, planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, resolver los casos de sobreexplotación de acuíferos y la resolución de conflictos entre usuarios.

### **1.1 Localización**

El acuífero Laguna El Rey, definido con la clave 0856 por la Comisión Nacional del Agua, se localiza en el extremo suroriental del estado de Chihuahua, entre los paralelos 26° 43' y 27° 06" de latitud norte y entre los meridianos 103° 46' y 103° 56' de longitud oeste, cubriendo una superficie de 362 km<sup>2</sup> (Figura 1) Limita al norte y oeste con el acuífero Laguna de Palomas, perteneciente al estado de Chihuahua; al este con el acuífero Laguna del Rey-Sierra Mojada, perteneciente al estado de Coahuila; y al sur con el acuífero Ceballos, perteneciente al estado de Durango.



Figura 1. Localización del acuífero Laguna El Rey.

Geopolíticamente su territorio se encuentra ubicado totalmente dentro del municipio de Jiménez. La poligonal simplificada que delimita el acuífero se encuentra definida por los vértices cuyas coordenadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de la poligonal simplificada del acuífero

ACUIFERO 0856 LAGUNA EL REY							
VERTICE	LONGITUD OESTE			LATITUD NORTE			OBSERVACIONES
	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	GRADOS	MINUTOS	SEGUNDOS	
1	103	46	39.8	27	5	24.5	DEL 1 AL 2 POR EL LIMITE ESTATAL
2	103	41	55.6	26	43	30.7	DEL 2 AL 3 POR EL LIMITE ESTATAL
3	103	51	48.3	26	45	16.5	
4	103	55	53.3	26	54	42.1	
1	103	46	39.8	27	5	24.5	

## 1.2 Situación Administrativa del Acuífero

El acuífero Laguna El Rey pertenece al Organismo de Cuenca VI “Río Bravo” y es jurisdicción territorial de la Dirección Local Chihuahua. Su territorio se encuentra totalmente vedado mediante dos decretos, el primero, que cubre un 81% de la superficie centro y norte del acuífero, es el “*Decreto por el que se establece veda para el alumbramiento de aguas del subsuelo en la Región Lagunera*”. Publicado en el DOF el 17 de abril de 1965. Este decreto se clasifica como tipo III que sólo permite extracciones limitadas para usos doméstico, industrial, de riego y otros. Una pequeña parte del extremo sur del territorio (aproximadamente un 19%) se encuentra regida por el “*Decreto que establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas del subsuelo en las zonas de Ceballos y de La Laguna, que comprenden parte de los Estados de Chihuahua, Durango y Coahuila*”. Publicado en el DOF el 6 de Diciembre de 1958 decreto de Zona de Ceballos y la Laguna”. Publicado en el DOF el 6 de Diciembre de 1958. Este decreto es tipo II que sólo permite extracciones para uso doméstico. De acuerdo con la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua de 2024, el acuífero se clasifica como zona de disponibilidad 3.

El uso principal del agua subterránea es el pecuario. En el territorio que cubre el acuífero no se localiza distrito o unidad de riego alguna, ni tampoco se ha constituido hasta la fecha el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS).

## 2. ESTUDIOS TÉCNICOS REALIZADOS CON ANTERIORIDAD

En la zona que comprende el acuífero no se han realizado estudios hidrogeológicos de evaluación, sólo algunos con fines de prospección minera. En algunos acuíferos vecinos se han realizado estudios hidrogeológicos para determinar su recarga media anual. El único estudio que abarcó la superficie completa del acuífero es el que se describe a continuación:

**ESTUDIO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS ACUÍFEROS: LAGUNA DE PALOMAS, LLANO DE GIGANTES, LAS PAMPAS, RANCHO EL ASTILLERO, LAGUNA DE JACO, RANCHO LA GLORIA, RANCHO DENTON, LAGUNA LOS ALAZANES, LAGUNA DEL REY, VALLE DEL PESO, FLORES MAGON-VILLA AHUMADA, EL SABINAL Y LOS JUNCOS, ESTADO DE CHIHUAHUA, realizado en el 2010 para la Comisión Nacional del Agua por la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH).**

El objetivo general de este estudio fue el conocimiento de las condiciones geohidrológicas de los acuíferos para calcular su recarga y determinar la disponibilidad media anual de agua subterránea; así como conocer el número y distribución de las captaciones de agua subterránea existentes en la zona. Mediante la realización de actividades de campo que incluyeron censo de aprovechamientos, piezometría, hidrometría de las extracciones, realización de pruebas de bombeo, nivelación de brocales de pozos y reconocimientos geológicos, en algunos de ellos fue posible plantear el balance de aguas subterráneas.

Los resultados y conclusiones de este estudio fueron la base para la elaboración del presente documento, por lo que sus conclusiones y resultados se analizan en los apartados correspondientes.

### **3. FISIOGRAFÍA**

#### **3.1 Provincias Fisiográficas**

De acuerdo con la clasificación fisiográfica de Erwin Raisz (1964), la superficie cubierta por el acuífero se encuentra en su totalidad en la Provincia Fisiográfica Sierras y Llanuras del Norte, Subprovincia Bolsón de Mapimí.

La provincia de Sierras y Llanuras del Norte es una provincia árida y semiárida que se extiende desde el suroeste de los Estados Unidos de América hasta cerca de Nazas en Durango y la Laguna de Mayrán en Coahuila. Se orienta más o menos noroeste-sureste y abarca parte de los estados de Durango, Sonora, Chihuahua y Coahuila. Su origen está relacionado con el plegamiento de las secuencias marinas del mesozoico que se desarrollaron sobre un basamento Paleozoico y Precámbrico, así como por el relleno de fosas tectónicas con sedimentos continentales y algunos derrames lávicos, que dieron lugar a la formación de cuencas endorreicas.

La Subprovincia Bolsón de Mapimí se extiende desde su frontera septentrional con la subprovincia Llanuras y Médanos del Norte, hacia el sur, pegada al costado oriente de la Sierra Madre Occidental, para ampliarse al este hasta la zona de la Laguna El Rey y las poblaciones Mapimí, Nazas y este de Torreón; de tal forma que abarca parte de los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango. En ella dominan las llanuras aluviales y las bajadas, sólo interrumpidas por pequeñas sierras escarpadas y plegadas, así como lomeríos escarpados y ramificados, orientados norte-sur.

### **3.2 Clima**

De acuerdo con la clasificación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en la mayor parte del acuífero domina el clima Muy Seco, subtipo Muy Seco Semicálido que se caracteriza porque la evaporación excede a la precipitación. Son los más secos del grupo, su baja humedad depende principalmente de la escasa precipitación y la temperatura, pero también influye la corta duración y lo torrencial de la lluvia, la naturaleza del suelo y la cubierta vegetal.

Están clasificados como muy extremosos, por su oscilación térmica media anual mayor de 14.0°C. La escasa humedad propicia el crecimiento de especies integrantes de matorral desértico micrófilo, pastizal natural y vegetación halófila donde los suelos son salinos.

Presenta temperaturas medias anuales mayores de 18.0°C, temperaturas medias del mes más frío inferiores a 18.0°C y precipitaciones totales anuales entre 200 y 400 mm. Su régimen de lluvias es de verano, es decir, que la mayor cantidad de precipitación pluvial se concentra en los meses que comprende esa estación del año. La posibilidad de que florezca la agricultura de temporal es muy baja dada la escasez de agua y debido a que el periodo de lluvias se presenta de julio a septiembre.

Para la determinación de las variables climatológicas se utilizó la información de las estaciones climatológicas que tienen influencia en el área del acuífero. Con estos datos y utilizando el método de los Polígonos de Thiessen, se determinaron valores de precipitación y temperatura media anual de **275.3 mm y 19.0 °C** respectivamente. Con respecto a la evaporación potencial, se obtuvo un valor de **1926 mm anuales**.

### **3.3 Hidrografía**

El área cubierta por el acuífero se encuentra ubicada dentro de la Región Hidrológica RH-35 "Mapimí", cuenca Arroyo La India-Laguna de Palomas, que se localiza en el extremo sureste del estado de Chihuahua. Esta cuenca comprende 2.58% de su territorio estatal y es compartida entre los estados de Durango, Coahuila y Chihuahua.

Limita al norte con la cuenca El Llano-Laguna El Milagro (E) de la RH-35; al oeste con la cuenca Río Florido (M) de la RH-24; al oriente se interna hacia Coahuila; y al sur penetra a Durango.

Las corrientes que conforman esta cuenca son de tipo intermitente y se caracterizan por ser de corta duración y recorrido, algunas de la cuales descargan en la Laguna de Palomas, ubicada en la porción suroccidental del acuífero.

No existen estaciones hidrométricas para la estimación del volumen de escurrimiento, ni infraestructura para el almacenamiento de las escasas corrientes superficiales.

### **3.4 Geomorfología**

La mayor parte del territorio conforma bajadas o extensas llanuras aluviales (cuencas endorréicas), conocidas en el norte de país como bolsones, que en ocasiones constituyen lagunas, delimitadas por sierras orientadas en sentido norte-sur, entre las que destacan las denominadas con los nombre de El Diablo y La Mezcalera.

Fuerzas distensivas originaron cuencas tectónicas que posteriormente fueron rellenadas, creando los bolsones que caracterizan a toda esta porción del norte del país, en uno de los cuales está alojado el acuífero Laguna El Rey.

El proceso de disección causado por las corrientes fluviales originó la conformación de llanuras y valles aluviales. En general y de acuerdo a su génesis, las corrientes del área son consecuentes radiales centrífugas, como las desarrolladas en las unidades volcánicas; consecuentes deformativas las que drenan hacia los bordes de las sierras plegadas; aquellas que drenan en las estructuras sinclinales son las consecuentes longitudinales; por último, las corrientes resecuentes son las que fluyen en la porción oriental de la Sierra El Diablo. Corrientes subsecuentes se han formado a causa del fracturamiento presente en la Sierra La Mezcalera.

## **4. GEOLOGÍA**

En el Mesozoico existía una serie de elementos paleo-geográficos y actividad tectónica, que se desarrollaron desde el Triásico, cuya conjugación dio origen a la formación de dos facies de sedimentación identificadas para el Cretácico Inferior (Pacheco C., Castro R., y Gómez Miguel, 1984).

La primera de ellas de edad Hauteriviano-Turoniano, según Juan Araujo y Rodolfo Arenas (1986), se depositó al occidente del Mar Mexicano o Geosinclinal Mexicano en facies de cuenca y con aportes de sedimentos terrígenos de probable origen de arco volcánico, representada por calizas, lutitas y areniscas (Figura 2).

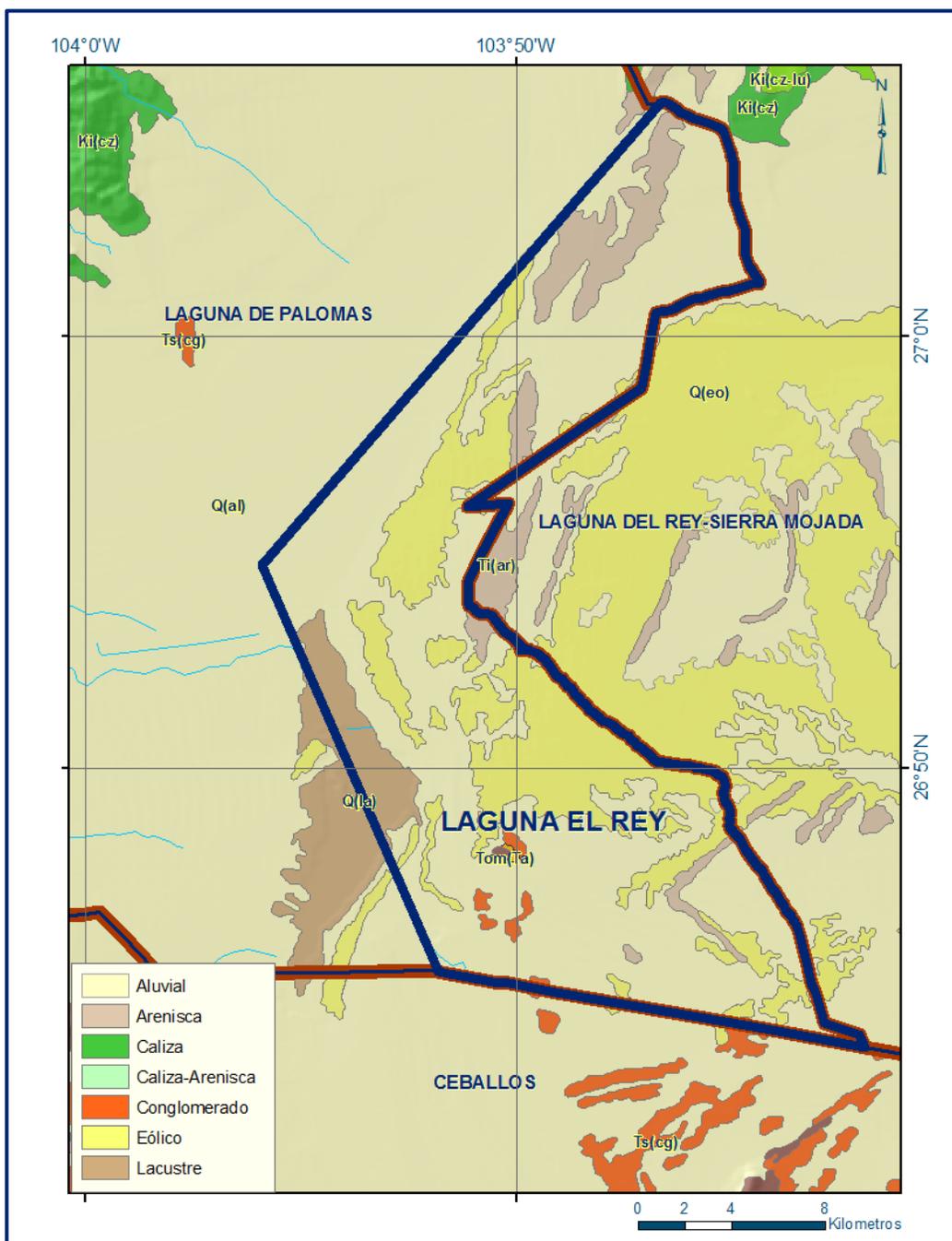


Figura 2. Geología general del acuífero

Al oriente prevalecían condiciones de facies litorales y de mares someros debido a la presencia de elementos positivos como la Isla del Cuervo e Isla de Coahuila, las que fueron transgredidas hasta el Albiano para después predominar facies de plataforma de mar abierto con desarrollo de bancos arrecifales y condiciones lagunares en la Plataforma de Coahuila.

Para el Cretácico Superior (Cenomaniano-Turoniano), las condiciones de depósito varían a causa del levantamiento de la parte occidental y central (López Ramos, 1981) y dan lugar a la sedimentación marina con predominio de terrígenos en facies de mar abierto, iniciándose con la depositación de sedimentos calcáreo-arcillosos.

La fase orogénica proveniente del occidente, continúa a principios del Cenozoico acompañada con la intrusión de granito, granodiorita, gabro y diorita (S.P.P. 1984), que intrusionaron a las calizas de plataforma.

Se identifican secuencias vulcano-sedimentarias que infrayacen a las rocas denominadas por Mc Dowell y Clabaugh (1979) como “Complejo Volcánico Superior”. La segunda fase volcánica la representan tobas de composición riodacítica y riolítica con intercalación de vulcanoclásticos, así como riolitas del Oligoceno-Mioceno que en ocasiones extruyeron a través de fracturas; estas unidades sobreyacen en discordancia a las rocas del “Complejo Volcánico Inferior” (Mc Dowell y Clabaugh, 1979).

Andesitas post-miocénicas sobreyacen concordantemente a las unidades ácidas e infrayacen a los basaltos que son representativos de las últimas manifestaciones volcánicas. De acuerdo con las observaciones de campo, esta unidad sobreyace también discordantemente a rocas ígneas, así como a unidades cretácicas e infrayace a rocas y sedimentos del Plio-Cuaternario.

Contemporánea y/o posteriormente a las manifestaciones volcánicas que dieron origen a la Sierra Madre Occidental, ocurrió la depositación de sedimentos clásticos en facies continentales, representados por areniscas y conglomerados, que rellenan antiguas cuencas continentales. Estas rocas sobreyacen en forma discordante a las rocas del Cretácico e infrayacen a rocas extrusivas volcánicas de tipo ácido e intermedio y a depósitos del Terciario Superior.

Estas condiciones iniciales de relleno de cuenca, representadas por areniscas y conglomerados, posteriormente fueron de tipo lacustre, evidenciados por la depositación de calizas continentales, limolitas y lutitas. Esta secuencia es discordante con las unidades cretácicas.

Para el Cuaternario se depositó material clástico no consolidado y ocurrió el desarrollo de planicies aluviales que rellenaron los bolsones; también se depositaron travertino, caliche, sedimentos lacustres y depósitos eólicos.

#### **4.1 Estratigrafía**

La geología regional de la zona está representada por rocas sedimentarias marinas y continentales, así como rocas volcánicas, cuyo registro estratigráfico comprende edades que varían del Cretácico Inferior (Mesozoico) al Reciente. La columna estratigráfica presente en la zona se describe a continuación, de la unidad más antigua a la más reciente.

Aunque no afloran en el área cubierta por el acuífero, la base de la columna estratigráfica está representada por pizarras, cuarcitas y filitas del Paleozoico Inferior (?), cuyo contacto inferior no se observa y posiblemente se encuentra subyaciendo a la secuencia vulcanosedimentaria de la Serie Delicias (McKee, 1988) del paleozoico Superior, conformada por grauvacas, calizas arrecifales, andesitas, calcarenitas y lutitas. Su contacto superior es discordante con las formaciones Las Uvas y Catita del cretácico Inferior. Las Rocas paleozoicas se encuentran afectadas por cuerpos intrusivos de composición granodiorítica-granítica del Pérmico (Carta Geológica-Minera G13-6 "Tlahualilo de Zaragoza", escala 1:250,000, SGM, 2008)

### **CRETÁCICO INFERIOR**

#### **Formación San Marcos**

Está constituida por areniscas, conglomerados polimícticos y limolitas, que sobreyacen discordantemente sobre las rocas paleozoicas

#### **Formación Cupido**

La Formación Cupido es una unidad geológica común en el norte de México que, junto con la Formación Aurora, constituyen los núcleos de las principales sierras. Esta formación fue propuesta por Imlay en 1937 para describir afloramientos a lo largo del Cañón del Mimbres en la Sierra de Parras, Coahuila.

Posteriormente Humphrey en 1949 redefinió a la Formación Cupido incluyendo el miembro de caliza inferior. Presenta un espesor variable. Hacia la Cuenca de Sabinas se le han llegado a medir 1,000 m. El espesor es de alrededor de 200 m. En trabajos de Pemex, la describen como Formación Tamaulipas Inferior. Sobreyace de manera concordante y transicional a la Formación San Marcos.

Está constituida por estratos delgados a medianos de calizas grainstone y dolomías arenosas, con estratos medianos a gruesos de calizas mudstone y wackstone del Hauteriviano Superior al Aptiano Inferior (Humphrey y Díaz, 1956).

### **Formación La Peña**

Imlay (1936) denominó Formación La Peña a la unidad cuya base está constituida básicamente por calizas, ubicadas entre la Formación Parritas y la Formación Aurora, a las que cubría y subyacía respectivamente.

Su sección tipo correspondía al flanco norte de la Sierra de Taraises, Coah. Posteriormente, Humphrey (1950, p. 103) redefinió la Formación La Peña, eliminando el miembro calcáreo inferior. Esta formación tiene una amplia distribución en todo el noreste de México.

Consiste básicamente de lutita físil negra, que alterna con calizas de estratificación delgada y media de color gris oscuro a negro, que lateralmente cambian de facies hacia la Isla de Coahuila a la Formación Las Uvas (no cartografiable); constituida por una sucesión de areniscas y conglomerados que alternan con lutitas y calizas arcillosas (Humphrey, 1956). En algunas localidades presenta delgados horizontes limolíticos o arenosos, así como concreciones calcáreas de 10 a 30 cm, las cuales frecuentemente tienen amonitas en su núcleo.

La edad de la Formación La Peña corresponde al Aptiano Tardío, como lo demuestra la presencia de abundantes amonitas de los géneros *Dufrenoyia sp.* y *Parahoplites sp.* El medio sedimentario en el cual se llevó a cabo la depositación de esta formación, correspondió a un mar abierto en una zona relativamente profunda, cuando menos debajo de la zona de agitación producida por el oleaje o corrientes superficiales.

La coloración negra de las lutitas con abundante materia orgánica y en ocasiones la presencia de pirita, indica que la sedimentación se efectuó en condiciones reductoras y sin la influencia de procesos mecánicos.

Su contacto inferior con la Formación Tamaulipas Inferior o con la Formación Cupido es nítido y concordante; del mismo modo subyace a la Formación Tamaulipas Superior (Aurora), en donde la zona de contacto está definida por el cambio de una sedimentación calcáreo-arcillosa a una secuencia netamente carbonatada.

### **Formación Acatita (Aurora)**

Corresponde a una facies de la Formación Aurora que aflora en la porción centro-sur del estado de Coahuila y que fue denominada por Humphrey, 1956.

En esta facies, las típicas calizas de la Formación Aurora pasan a estratos de calizas, calizas dolomíticas, yesos y anhidritas, siendo los yesos lo que caracterizan a esta facies. Pertenecen al Albiano. Su distribución es amplia, ya que generalmente se encuentra formando las principales masas montañosas de las sierras de Alamitos, San Marcos y La Paila. Se le ha asignado una edad correspondiente al Albiano. En algunos trabajos, esta Formación se describe como Tamaulipas Superior.

Consiste básicamente de calizas con textura mudstone a wackstone de color gris, dispuestas en estratos gruesos y medios, aunque también presenta estratos delgados y masivos. Contiene, aunque no de forma abundante, pedernal, cristales de pirita y nódulos ferruginosos. Su fauna hacia la parte sur consiste principalmente de microorganismos plantónicos como globigerináceas y tintínidos; esporádicamente presenta equinodermos, pelecípodos y bioclastos. Hacia la parte norte, esta unidad cambia de facies con las Formaciones Del Carmen y Glen Rose.

Su posición estratigráfica sobre la Formación La Peña del Aptiano Tardío y bajo la Formación Kiamichi del Albiano Tardío, la sitúa en el Albiano Medio, que se confirma con la presencia de algunos microfósiles como *Colomiella recta* y *Colomiella mexicana*. Por su composición litológica y contenido faunístico, se considera que esta Formación se depositó en un ambiente de aguas marinas profundas y baja energía. Sobreyace discordantemente a la Formación San Marcos y concordantemente a la Formación Las Uvas.

### **Formación Kiamichi**

Esta unidad tiene una amplia distribución en todo el Noreste de México, aunque se le ha cartografiado con otros nombres tales como, Benevides, Sue Peaks o Sombrerete.

La litología predominante de este complejo en el área consiste en una intercalación de lutitas calcáreas de color gris oscuro, calizas mudstone y wackestone, dispuestas en estratos delgados y medios, con abundante fauna fosilífera (amontas, equinodermos, pelecípodos y gasterópodos) y concreciones de marcasita y fierro.

Los sedimentos de esta formación pertenecen a un ambiente de depósito marino de aguas profundas. Por estudios micropaleontológicos y posición estratigráfica, se le asigna edad Albiano Medio – Superior.

### **Grupo Washita**

Definido por Humphrey (1956), este grupo está integrado por formaciones constituidas por calizas y lutitas de edad Albiano Superior-Cenomaniano Inferior, que lateralmente cambian de facies al occidente de la Isla de Coahuila las calizas de miliólidos, peletoides, gasterópodos y biostromas, de estratificación gruesa a masiva de la Formación Treviño (Garza, 1972).

### **Formación Indidura**

Definida por Kelly (1936), sobreyace concordantemente a la Formación Treviño, constituida por una alternancia de lutitas y calizas arcillosas, con algunas laminillas de yeso y areniscas del Cenomaniano Superior al Turoniano. Hacia el Golfo de Sabinas estas rocas cambian de facies a la Formación Eagle Ford, de edad Cenomaniano-Turoniano (Vaughan, 1900).

## **CRETÁCICO SUPERIOR**

### **Formación del Río**

Fue originalmente descrita por Hill y Vaughan (1898). Su localidad tipo se encuentra en la Ciudad de Del Río, Texas. Consiste principalmente de lutitas gris oscuro a negro que intemperizan a colores rojizos, verdosos, violáceos y café amarillentos. Presenta algunas intercalaciones delgadas de arenisca calcárea de grano fino, con estratificación cruzada. Hacia su base y cima, presenta intercalaciones de calizas y calcarenitas de color gris.

Contiene foraminíferos, tintínidos, huellas de amonitas, equinodermos, pelecípodos y concreciones de marcasita. La edad de esta unidad corresponde al Cenomaniano Temprano. La Formación Del Río es una unidad importante del Noreste de México y sur de Texas, debido a su amplia distribución, estabilidad litológica y posición estratigráfica. Su presencia marca el límite Albiano-Cenomaniano. Se considera que esta unidad se depositó en una plataforma abierta durante una etapa regional transgresiva.

Debido a su carácter arcilloso, generalmente está cubierta con aluvión. Presenta espesor que varía de algunos metros hasta 200 m.

**Formación Buda.** Fue descrita por Hill (1900) en Shoal Creek, Austin Texas. Consiste en general de calizas de textura calcarenita color gris claro, de estratificación delgada a media, con capas delgadas intercaladas de lutita de color gris claro. Presenta foraminíferos plantónicos, huellas de amonitas y bioclastos. En menor proporción contiene minerales ferruginosos y nódulos de pedernal.

La edad de esta unidad ha sido determinada con base en varias especies de *Budaiceras sp.* y *mariella sp.*, entre otras, las que le asignan una edad Cenomaniano Temprano.

De acuerdo a su litología y contenido faunístico, se considera que esta unidad se depositó en una plataforma abierta relativamente profunda y de baja energía. Por su parte la presencia de sulfuros de fierro y nódulos de pedernal indican condiciones reductoras.

### **Formación Ojinaga**

Consiste de calizas arcillosas de estratificación delgada, con bioclastos, globigerínidos, radiolarios e *inoceramus labiatus*, intercaladas con lutitas calcáreo-carbonosas, fósiles a laminares, de color gris oscuro a pardo.

Por su posición estratigráfica y su contenido fósil, se le asigna una edad correspondiente al Turoniano. Su ambiente de depósito ocurrió en facies de prodelta, con influencia de mar abierto, representando el inicio de una secuencia tipo flysh.

## **Formación Parras**

Definida por Imlay en 1936 para referirse a una secuencia de 1200 m de lutitas carbonosas negras con escasas intercalaciones de areniscas. Está constituida por una litología muy homogénea de lutitas calcáreas y calizas arcillosas, estas últimas intercaladas en forma esporádica dentro de la secuencia arcillo-calcárea.

Las lutitas son calcáreas de color negro a gris oscuro, estratificadas en capas delgadas y medianas. Al intemperismo ofrecen un aspecto masivo debido a que la fractura astillosa o esquistosidad tipo lápiz, destruye los planos de estratificación.

Se considera que la potencia de la secuencia arcillo-calcárea varía de 400 a 800 m y cubre de manera concordante y transicional a la Formación Indidura, por lo que es difícil precisar la zona de contacto entre ambas unidades. Su contacto superior, dentro de los límites del acuífero, es con los sedimentos continentales del Reciente por medio de discordancia angular.

Esta formación junto con el Grupo Difunta, corresponden a los sedimentos terrígenos característicos de la Cuenca de Parras. Tiene una edad Santoniano-Coniaciano y se correlaciona con la Formación San Felipe de la Sierra Madre Oriental y de la Cuenca de Sabinas.

## **PALEÓGENO (PALEOCENO-EOCENO)**

### **Supergrupo Volcánico Inferior**

Es considerada de manera informal en el área de Tayoltita por Henshaw (1953), Randall y compañía Minas de San Luis (1975), posteriormente es estudiada sobre la carretera a Mezquital, Dgo. (Keizer, 1974) y sobre la carretera a Mazatlán por McDowell y Clabaugh (1976); los primeros autores la mencionan constituida por riolitas, toba andesítica y andesitas con un espesor de 800 m. La litología está constituida por andesitas y brechas andesíticas; megascópicamente las andesitas presentan una textura afanítica de color gris, gris claro, verde oscuro y rojiza; las brechas andesíticas están conformadas por fragmentos angulosos de andesitas y riolitas de pequeñas dimensiones de color variable con tonalidades de púrpura al gris claro. Generalmente esta secuencia tiene la característica especial de presentarse en forma pseudoestratos de 50 cm a 1.5 m y se encuentra aflorando en forma de ventanas estructurales debido a la tectónica y a la erosión.

## **PALEÓGENO (OLIGOCENO-MIOCENO)**

### **Supergrupo Volcánico Superior**

Una extensa secuencia de ignimbritas intercaladas con flujos de lavas y sedimentos epiclásticos tobáceos sobreyacen el Complejo Volcánico Inferior y forman la capa superior de la Sierra Madre Occidental. Esta gran acumulación de rocas volcánicas ha sido designada como el “Supergrupo Volcánico Superior” (McDowell y Keize, 1977) o “Complejo Volcánico Superior” (Mc Dowell y Clabaugh, 1976).

Es correlacionable con depósitos piroclásticos de flujo de cenizas y rocas asociadas de edad similar que cubren áreas amplias del occidente de los Estados Unidos. En el occidente de México tanto el Complejo Volcánico Inferior como el Complejo Volcánico Superior ocupan áreas similares y se pueden identificar a través de la mayor parte de la Sierra Madre Occidental, aproximadamente paralelos a la margen occidental del continente.

Está representada por diversas rocas de composición ácida: tobas riolíticas, riolitas, ignimbritas y tobas ácidas; ocasionalmente con intercalaciones de horizontes vulcanoclásticos, cuyos fragmentos varían de 5 a 10 mm de diámetro, sub angulosos, unidos por una matriz tobácea y cementante silíceo, en ocasiones los fragmentos son de riolita y vidrio volcánico.

Las rocas presentan fracturamiento vertical y subvertical, formando bloques de dimensiones variables. Sobreyace discordantemente a las calizas cretácicas y a las unidades del Complejo Volcánico Inferior e infrayace a basaltos, andesitas y conglomerados del Neógeno Superior.

## **NEÓGENO**

Corresponde a conglomerados, poco cementados, producto del transporte y sedimentación de detritos erosionados en las partes altas y generalmente depositados en los pies de monte de las sierras. Está representado por un conglomerado polimíctico continental, constituido principalmente por fragmentos de calizas y en menor proporción de rocas ígneas, mal clasificados, de 5 a 50 cm de diámetro; su grado de redondez varía de subangulosos a subredondeados dispuestos en forma caótica, unidos por una matriz arcillosa de color café y cementante calcáreo. Ocasionalmente presenta fracturas rellenas de calcita y en discordancia angular con conglomerados cuaternarios.

La unidad presenta diferentes tonos de coloración entre los que sobresalen el gris con tonos de beige o rojizos. Sobreyace a rocas sedimentarias cretácicas y a rocas volcánicas del Oligoceno-Mioceno; está cubierto en discordancia por basaltos del Neógeno Superior. Por sus relaciones estratigráficas, se le considera de edad Neógeno Superior. La unidad se encuentra rellenando fosas tectónicas, con expresión morfológica de lomas de pendiente suave medianamente disectadas.

### **Basaltos**

Generalmente forma derrames de gran magnitud, emitidos por extrusión fisural o de un cono central. La roca es masiva con vesículas rellenas de calcita y acusa disyunción columnar prismática, así como intercalación de horizontes de escorias y cenizas volcánicas. Al intemperismo desarrolla formas esferoidales. Sobreyace discordantemente a calizas del Cretácico Inferior y a rocas volcánicas del Oligoceno-Mioceno. Su morfología está representada por conos volcánicos, derrames con fase de malpaís y mesetas. Sus afloramientos se localizan en una amplia zona ubicada en la región oriental del acuífero.

### **Andesitas**

Rocas volcánicas efusivas de estructura masiva, ocasionalmente fluidal y con amígdalas alargadas rellenas de calcita. Sus afloramientos presentan fracturamiento en varias direcciones, formando bloques.

Sobreyace a las unidades ígneas del Oligoceno-Mioceno e infrayace en discordancia al conglomerado del Neógeno Superior. Morfológicamente forma cerros aislados y también aflora en los escarpes de las sierras.

Las unidades intrusivas son de poca extensión y se emplazaron en el Eoceno Medio y el Oligoceno Inferior; su composición varía de granito a gabro. Son de importancia desde el punto de vista metalogenético porque controlan la génesis de la mayoría de los yacimientos minerales.

## **CUATERNARIO**

### **Conglomerado**

Depósitos conglomeráticos polimícticos depositados en facies continentales derivados principalmente de rocas ígneas y en menor proporción rocas sedimentarias.

Llos clastos varían en tamaño desde arenas hasta guijarros y bloques (algunos mm hasta 60 cm de la base a la cima), embebidos en una matriz areno-arcillosa de color rojizo, con escaso cementante calcáreo. El grado de redondez de los fragmentos varía de anguloso y subanguloso mostrando escaso retrabajo. Presenta color gris claro que intemperiza a color café; poco compactados, generalmente deleznable.

Sobreyacen discordantemente a rocas sedimentarias cretácicas, a la secuencia volcánica del Oligoceno-Mioceno, así como a rocas basálticas y conglomerados del Neógeno Superior. Por posición stratigráfica, se le asigna una edad correspondiente al Cuaternario. Su morfología es de lomas de pendiente suave y ligeras ondulaciones situadas en las planicies.

### **Depósitos eólicos**

Unidad constituida por sedimentos eólicos recientes depositados por la acción del viento, que forman dunas. Sus fragmentos son arenas bien redondeadas y clasificadas, constituidos por cuarzo, feldespatos y fragmentos de rocas; presentan estratificación cruzada.

### **Depósitos lacustres**

Secuencia alternante de estratos de 5 a 10 cm de espesor de arenas de grano fino, limo y arcilla, se localizan en las depresiones que dan origen a las zonas de inundación de las lagunas. Presentan una cubierta de sales que forman costras.

### **Aluvión**

Depósitos de origen fluvial derivados de la erosión y denudación de las rocas pre-existentes, que rellenan las extensas planicies y fosas tectónicas. Consisten de aluviones depositados en piedemontes y en planicies de inundación. Los primeros son principalmente conglomerados y arenas y en las planicies de inundación están representados por limos, arcillas. Su permeabilidad es alta y su espesor es variable. Las extensas planicies sobre las cuales se depositaron en ocasiones están disectadas por arroyos que desembocan en lagunas endorreicas.

## **4.2 Geología Estructural**

Las estructuras distensivas, están representadas por fallas normales y fracturas; las primeras guardan una orientación NW-SE principalmente, con variaciones N-S.

Son las causantes de la separación de los bloques sedimentarios y la formación de fosas y pilares tectónicos característicos de las zonas central y oriental del estado de Chihuahua. Las fracturas forman dos familias una con orientación NE-SW y la otra NW-SE, que afectan a las unidades sedimentarias e ígneas.

Estructuras de origen ígneo extrusivo, se encuentran diseminadas en el área y se representan por derrames lávicos, conos y mesetas.

Las de origen intrusivo están presentes en forma de diques y lacolitos, estos últimos deformaron a las rocas sedimentarias en forma cómica como en Cerro Los Reyes y Sierra Naica.

Se reportan tres fases de deformación: una fase compresiva del Cretácico Superior-Terciario Inferior que plegó las secuencias sedimentarias, un posterior emplazamiento de cuerpos intrusivos, que modificaron localmente las estructuras existentes hacia formas cómicas.

Finalmente, una fase de ajuste isostático, que dio origen a pliegues de fondo y fracturas de orientación NNE-SSW, durante el Mioceno Superior (M. Tardy, 1977; D.A. Córdoba, 1980) que se observa en rocas ígneas, sedimentarias y vulcanosedimentarias continentales del Terciario (Eoceno Mioceno Inferior). Una fase distensiva ocurrida durante el Plioceno, está representada por fallas de extensión, que formaron la Provincia de Sierras y Cuencas.

Por último, se denota un fracturamiento que afecta a las estructuras anteriores, así como lineamientos interpretados en las imágenes de satélite y de acuerdo con M. Tardy estas se relacionan con el sistema de fallas de San Andrés y el proceso de oceanización que ocurre en la parte sur del Mar de Cortés.

### **4.3 Geología del Subsuelo**

De acuerdo con la información geológica y geofísica recabada en el acuífero tanto en este acuífero como en los vecinos, es posible definir que el acuífero se encuentra alojado, en su porción superior, en los sedimentos aluviales de granulometría variable y conglomerados, de permeabilidad media a baja, que constituyen las extensas planicies y los piedemontes.

Hacia la parte baja del acuífero, donde se localiza la Laguna de Palomas, predominan los depósitos lacustres y eólicos intercalados con depósitos evaporíticos.

La porción inferior está alojada en rocas volcánicas: basaltos, tobas y riolitas que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Las calizas de las formaciones Ojinaga, Buda y Aurora (Tamaulipas Superior), constituyen horizontes acuíferos profundos que no han sido explorados en la zona.

Las fronteras al flujo subterráneo y el basamento geohidrológico del acuífero están representados por las mismas rocas volcánicas, al desaparecer el fracturamiento. A mayor profundidad las barreras al flujo subterráneo y el basamento están representadas por las lutitas que constituyen las formaciones Parras e Indidura, y que forman parte de las secuencias de las formaciones Del Río y Kiamichi, estas últimas se presentan intercaladas con calizas. Dichos materiales han permitido la acumulación de agua en el subsuelo, formando un acuífero que se recarga por la infiltración del agua de lluvia desde las sierras constituidas por rocas calizas, basaltos y riolitas, principalmente, y que se almacena en el subsuelo. Salvo los escasos pozos y norias, no se conoce otro tipo de salida o descarga de agua del acuífero. En general se caracteriza por presentar alto contenido salino, lo que restringe su utilización.

## **5. HIDROGEOLOGÍA**

### **5.1 Tipo de Acuífero**

El subsuelo del valle se encuentra constituido por arcillas, gravas y arenas de permeabilidad variable, generalmente baja, que permiten la formación de un acuífero con nivel de saturación profundo que se recarga por infiltración del agua que se precipita principalmente en las sierras limítrofes constituidas por calizas rocas volcánicas, y en menor proporción sobre el valle. El agua subterránea es escasa y en general presenta alta salinidad, debido a la escasa precipitación pluvial y la elevada evaporación en las partes bajas de los valles. Las evidencias geológicas e hidrogeológicas permiten definir la presencia de un **acuífero tipo libre** heterogéneo y anisótropo, tanto en sentido vertical como horizontal, constituido en su porción superior, por sedimentos aluviales de granulometría variada y conglomerados, producto de la erosión de las rocas que constituyen las sierras que delimitan las planicies, cuyo espesor puede alcanzar varias centenas de metros en el centro de los valles.

Debido a la existencia de sedimentos arcillosos en la parte más baja donde se ubica la Laguna de Palomas, se presentan condiciones locales de semiconfinamiento. La porción inferior se aloja en una secuencia de rocas volcánicas entre las que destacan basaltos, tobas y riolitas, que presentan permeabilidad secundaria por fracturamiento. Las calizas de las formaciones Ojinaga, Buda, Cupido y Aurora, constituyen horizontes acuíferos profundos que no han sido explorados en la zona, que pueden presentar condiciones de semiconfinamiento debido a que se encuentran sobreyacidas por lutitas.

## **5.2 Parámetros hidráulicos**

En el territorio que cubre el acuífero no se han realizado pruebas de bombeo para la determinación de las propiedades hidráulicas del acuífero.

Los escasos aprovechamientos ubicados en la superficie que cubre el acuífero, de acuerdo con el estudio realizado en el año 2010, no tienen las características y equipo adecuados para la ejecución de dichas pruebas.

## **5.3 Piezometría**

Para el análisis del comportamiento de los niveles del agua subterránea, únicamente se cuenta con la información recabada durante el estudio realizado en el año 2010. De los 4 aprovechamientos ubicados durante el censo, únicamente en uno de ellos se pudo obtener la profundidad al nivel estático que fue de 35 m.

## **5.3 Comportamiento hidráulico**

No se cuenta con información piezométrica histórica que permita elaborar las configuraciones de profundidad, elevación y evolución del nivel estático. Las escasas mediciones piezométricas recabadas durante los recorridos de campo se encuentran dispersas en tiempo y espacio y no cubren en su totalidad la extensión superficial del acuífero. Debido al escaso número de aprovechamientos existentes en el área que cubre el acuífero y al incipiente volumen de extracción, se puede afirmar que las variaciones en el nivel del agua subterránea no han sufrido alteraciones importantes en el transcurso del tiempo, por lo que el cambio de almacenamiento tiende a ser nulo.

#### 5.4 Hidrogeoquímica y calidad del agua subterránea

Debido al escaso número de aprovechamientos, a las dificultades de acceso a ellos y al incipiente volumen de extracción del acuífero, a la fecha no se ha realizado muestreo de aguas subterránea para su análisis correspondiente.

Durante recorrido de campo realizado en el 2010, solo fue posible obtener en campo datos fisicoquímicos del agua de un pozo, con un valor de Sólidos Totales Disueltos (STD) de 1800 ppm.

#### 6. CENSO DE APROVECHAMIENTOS E HIDROMETRIA

De acuerdo con la información del censo de aprovechamientos realizado como parte del estudio llevado a cabo en el 2010, se registró la existencia de 4 aprovechamientos, todos ellos activos, de los cuales 2 son pozos y 2 norias.

El volumen de extracción conjunto se ha estimado en **0.01 hm<sup>3</sup>** anuales, destinados casi en su totalidad al uso pecuario.

#### 7. BALANCE DE AGUAS SUBTERRANEAS

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 por el almacenamiento del acuífero, en el periodo de tiempo establecido. La ecuación general de balance, de acuerdo a la ley de la conservación de la masa es la siguiente:

$$\text{Entradas (E)} - \text{Salidas (S)} = \text{Cambio de masa}$$

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 del acuífero:

$$\text{Recarga total} - \text{Descarga total} = \text{Cambio de almacenamiento}$$

##### 7.1. Entradas

Las entradas al acuífero Laguna El Rey están integradas básicamente por la recarga natural que se produce por la infiltración de la lluvia (Rv).

No existe información piezométrica actual ni histórica en la superficie que cubre el acuífero.

La escasa información disponible, procedente de recorridos de campo, es puntual e inconsistente de tal manera que no es posible extrapolarla para elaborar configuraciones del nivel estático que permitan el planteamiento de un balance de aguas subterráneas. Aunado a esto, existen pocos aprovechamientos del agua subterránea y se presentaron diferentes problemas para la medición de sus niveles.

Por todas estas razones, se optó por plantear el balance hidrometeorológico en la superficie de 362 km<sup>2</sup> del acuífero, para estimar de manera conservadora el volumen de agua susceptible de infiltrarse para recargar al acuífero.

### **7.1.1 Recarga vertical**

La recarga vertical total que recibe el acuífero (volumen susceptible de infiltrarse) se obtuvo mediante el planteamiento de un balance hidrometeorológico para toda la superficie del acuífero, mediante la siguiente expresión:

$$\mathbf{V_{LL} = V_{ETR} + V_{ESC} + V_{INF} \quad (1)}$$

**V<sub>LL</sub>**= Volumen de lluvia;

**V<sub>ETR</sub>**= Volumen evapotranspirado;

**V<sub>ESC</sub>**= Volumen escurrido;

**V<sub>INF</sub>**= Volumen infiltrado;

Por lo tanto despejando el volumen infiltrado, se obtiene lo siguiente:

$$\mathbf{V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC} \quad (2)}$$

El volumen de lluvia que se precipita en la superficie cubierta por el acuífero se obtiene al multiplicar su área 362 km<sup>2</sup> por la lámina de precipitación media anual (275.5 mm):

$$\mathbf{V_{LL} = 362 \text{ km}^2 (0.2753 \text{ m}) = 99.7 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

Para la estimación de la evapotranspiración real se utilizó la ecuación empíricas de Coutagne, considerando los valores promedio anual de precipitación de 275.3 mm y temperatura de 19.0° C. Coutagne propuso la ecuación siguiente para calcular la evapotranspiración real:

<b>COUTAGNE</b>	$ETR = P - \chi P^2$
Donde:	
ETR= Evapotranspiración m/año	
P = precipitación en m/año	
$\chi = 1/(0.8 + 0.14 t)$	
t = temperatura en °C	

La fórmula solo es aplicable para valores de la precipitación media anual (P) comprendidos entre  $1/8X$  y  $1/2X$ , estando ETR y P en metros, y T en °C. Si P es menor que  $1/8\lambda$  la ETR es igual a la precipitación, es decir, no existe escurrimiento; si la precipitación es mayor que  $1/2\lambda$  la ETR es prácticamente independiente de P y su valor está dado por  $ETR = 0.20 + 0.035 T$ .

Aplicando la fórmula de Coutagne se obtiene una lámina de evapotranspiración real de 253.4 mm anuales.

Si consideramos el valor de la ETR obtenida (253.4 mm anuales), el volumen de la ETR es:

$$V_{ETR} = 362 \text{ km}^2 (0.2534 \text{ m}) = \mathbf{91.7 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

Para determinar el volumen de escurrimiento debido a la lluvia se utilizó el método establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, publicada en el Diario Oficial de la Federación, de fecha 17 de abril de 2002, en la que se señala que para los casos en los que no se cuente con suficiente información para determinar el volumen anual de escurrimiento natural, se puede aplicar el método indirecto denominado precipitación-escurrimiento.

El volumen anual medio de escurrimiento natural es igual a la precipitación media anual por el área y por un coeficiente de escurrimiento.

Para determinar el valor de escurrimiento, la norma establece la siguiente relación:

$$\text{VOLUMEN ANUAL DE ESCURRIMIENTO NATURAL DE LA CUENCA} = \text{PRECIPITACION ANUAL DE LA CUENCA} * \text{AREA DE LA CUENCA} * \text{COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO}$$

El coeficiente de escurrimiento (Ce) se puede determinar, según la norma antes citada, en función del parámetro K que depende del tipo y uso de suelo, de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS).

Con apoyo de cartografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y de visitas de campo, se clasifican los suelos de la cuenca, de acuerdo con los tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables); y C (suelos casi impermeables), que se especifican en la tabla 2 y se determina el uso actual del suelo.

Tabla 2. Valores de k en función del tipo y uso del suelo (NOM-011-CONAGUA-2000)

USO DE SUELO	TIPO DE SUELO A	TIPO DE SUELO B	TIPO DE SUELO C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.3
Cultivos:			
En hilera:	0.24	0.27	0.3
Legumbres o rotación de pradera	0.24	0.27	0.3
Granos pequeños	0.24	0.27	0.3
Pastizal:			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% -poco-	0.14	0.2	0.28
Del 50 al 75% -regular-	0.2	0.24	0.3
Menos del 50% -excesivo-	0.24	0.28	0.3
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0.07	0.16	0.24
Cubierto del 50 al 75%	0.12	0.22	0.26
Cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.3
Zonas urbanas	0.26	0.29	0.32
Caminos	0.27	0.3	0.33
Pradera permanente	0.18	0.24	0.3
TIPO DE SUELO	CARACTERISTICAS		
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loes poco compactos		
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad; loes algo más compactos que los correspondientes a los suelos Tipo A; terrenos migajosos		
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loes muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas		

En el caso de que en la cuenca, existan diferentes tipos y usos de suelo, el valor de K se calcula como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas para obtener el promedio ponderado.

Dependiendo del valor obtenido para K, el coeficiente de escurrimiento ( $C_e$ ), se calcula mediante las fórmulas siguientes, en la que P es la precipitación media anual expresada en mm:

$$\text{Si } K \text{ resulta menor o igual que } 0.15, \quad C_e = K (P-250) / 2000;$$

$$\text{Si } K \text{ es mayor que } 0.15, \quad C_e = K (P-250) / 2000 + (K - 0.15) / 1.5;$$

Donde:

**P**= Precipitación anual;

**C<sub>e</sub>** = Coeficiente de escurrimiento anual;

**K** = Parámetro que depende del tipo, uso y cubierta del suelo;

De acuerdo con la cartografía del CONABIO escala 1:1,000,000 para el tipo y uso de suelo, predominan los tipos Regosol y Yermosol (figura 3). En cuanto al uso de suelo (figura 4) de acuerdo con la cartografía de INEGI escala 1:1,000,000, un 37 % de la superficie del acuífero está cubierta por pastizal, en los que el suelo es tipo B, cubierta del 50% al 75%, por lo que  $K=0.24$ ; 35% del acuífero está cubierto por matorral (pradera), suelo tipo B, por lo que  $K=0.24$ ; 25 % del acuífero está cubierto otro tipo de vegetación (vegetación de desiertos arenosos), suelo tipo B, por lo que  $K=0.28$  y un 3 % del acuífero está cubierto por área sin vegetación, suelo tipo C, por lo que  $K= 0.3$ .

$$\mathbf{K \text{ ponderado} = 0.24 (0.37) + 0.24 (0.35) + 0.28 (0.25) + 0.3 (0.03) = \mathbf{0.25}}$$

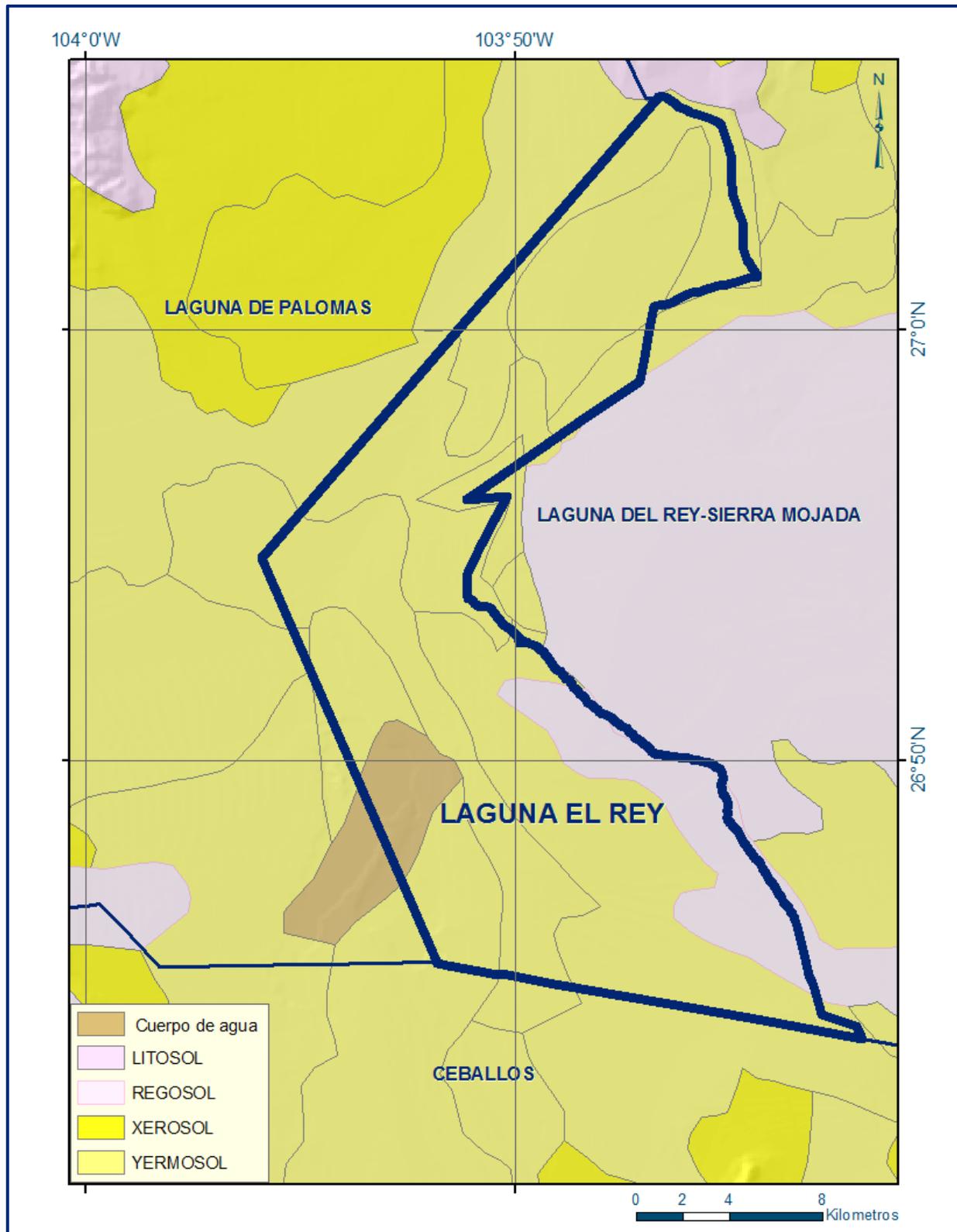


Figura 3. Tipo de suelo

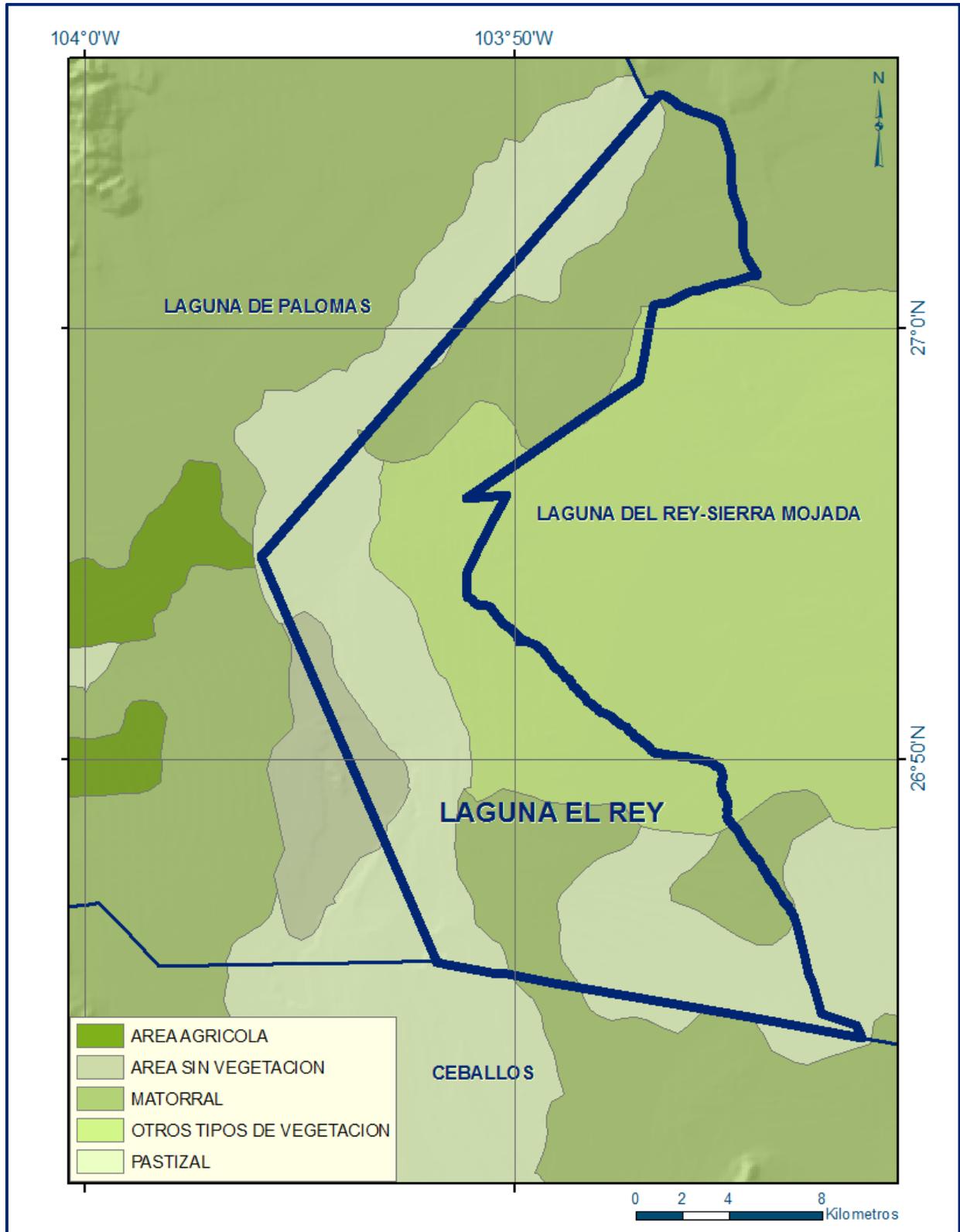


Figura 4. Uso de suelo

De esta manera, el valor de K es igual a **0.25**, valor que se aplicó en la siguiente ecuación para obtener el coeficiente de escurrimiento (Ce):

$$Ce = K (P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5 = 0.07$$

$$Ce = 0.07$$

Aplicando este coeficiente de escurrimiento al valor de la lluvia se obtiene el volumen del escurrimiento:

$$\mathbf{V_{ESC} = 0.07 (99.7 \text{ hm}^3) = 7.0 \text{ hm}^3 \text{ anuales}}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (2), se obtiene lo siguiente:

$$\mathbf{V_{INF} = V_{LL} - V_{ETR} - V_{ESC}}$$

$$\mathbf{V_{INF} = 99.7 - 91.7 - 7.0}$$

$$\mathbf{V_{INF} = 1.0 \text{ hm}^3/\text{año}}$$

Al dividir el volumen promedio anual infiltrado, entre el volumen anual promedio precipitado, que es de 99.7 hm<sup>3</sup>/año, se obtiene el coeficiente de infiltración de 0.01.

De acuerdo con lo anterior, el volumen susceptible de infiltrarse es de 1.0 hm<sup>3</sup>/año en los 362 km<sup>2</sup> de superficie del acuífero.

Por lo que la **Rv = 1.0 hm<sup>3</sup>/año**.

## **7.2. Salidas**

La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B) y posiblemente a través de salidas subterráneas y evapotranspiración pero no se cuenta información piezométrica para su estimación. No existen manantiales, ni flujo base en ríos.

### **7.2.1 Bombeo (B)**

Como se menciona en el apartado de censo e hidrometría, el valor de la extracción por bombeo calculado es de **0.01 hm<sup>3</sup>/año**.

## 8. DISPONIBILIDAD

Para el cálculo de la disponibilidad de aguas subterráneas, se aplica el procedimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales; en su fracción relativa a las aguas subterráneas, menciona que la disponibilidad se determina por medio de la expresión siguiente:

$$\begin{array}{r} \text{DISPONIBILIDAD MEDIA} \\ \text{ANUAL DE AGUA DEL} \\ \text{SUBSUELO EN UN} \\ \text{ACUÍFERO} \end{array} = \begin{array}{r} \text{RECARGA} \\ \text{TOTAL} \\ \text{MEDIA} \\ \text{ANUAL} \end{array} - \begin{array}{r} \text{DESCARGA} \\ \text{NATURAL} \\ \text{COMPROMETIDA} \end{array} - \begin{array}{r} \text{EXTRACCIÓN DE} \\ \text{AGUAS} \\ \text{SUBTERRÁNEAS} \end{array}$$

Donde:

DMA = Disponibilidad media anual de agua del subsuelo en un acuífero

R = Recarga total media anual

DNC = Descarga natural comprometida

VEAS = Volumen de extracción de aguas subterráneas

### 8.1. Recarga total media anual (R)

La recarga total media anual que recibe el acuífero (R), corresponde con la suma de todos los volúmenes que ingresan al acuífero, tanto en forma de recarga natural como inducida.

Para este caso su valor es **1.0 hm<sup>3</sup>/año**.

### 8.2. Descarga natural comprometida (DNC)

La descarga natural comprometida se determina sumando los volúmenes de agua concesionados de los manantiales y del caudal base de los ríos que están comprometidos como agua superficial, alimentados por el acuífero, más las descargas que se deben conservar para no afectar a los acuíferos adyacentes, sostener el gasto ecológico y prevenir la migración de agua de mala calidad hacia el acuífero. Para el caso del acuífero Laguna El Rey no existen descargas naturales comprometidas.

Por lo tanto, **DNC = 0.0**

### 8.3. Volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS)

La extracción de aguas subterráneas se determina sumando los volúmenes anuales de agua asignados o concesionados por la Comisión mediante títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), los volúmenes de agua que se encuentren en proceso de registro y titulación y, en su caso, los volúmenes de agua correspondientes a reservas, reglamentos y programación hídrica, todos ellos referidos a una fecha de corte específica.

En el caso de los acuíferos en zonas de libre alumbramiento, la extracción de aguas subterráneas será equivalente a la suma de los volúmenes de agua estimados con base en los estudios técnicos, que sean efectivamente extraídos, aunque no hayan sido titulados ni registrados, y en su caso, los volúmenes de agua concesionados de la parte vedada del mismo acuífero.

Para este acuífero el volumen de extracción de aguas subterráneas es de **436,472 m<sup>3</sup> anuales**, que reporta el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) de la Subdirección General de Administración del Agua, a la fecha de corte del **30 de diciembre de 2022**.

### 8.4. Disponibilidad media anual de agua subterránea (DMA)

La disponibilidad de aguas subterráneas, constituye el volumen medio anual de agua subterránea disponible en un acuífero, al que tendrán derecho de explotar, usar o aprovechar los usuarios, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro a los ecosistemas.

Conforme a la metodología indicada en la norma referida anteriormente, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida y el volumen de extracción de aguas subterráneas.

$$\begin{aligned} \text{DMA} &= R - \text{DNC} - \text{VEAS} \\ \text{DMA} &= 1.0 - 0.0 - 0.436472 \\ \text{DMA} &= 0.563528 \text{ hm}^3/\text{año} \end{aligned}$$

El resultado indica que existe un volumen disponible para otorgar nuevas concesiones de **563,528 m<sup>3</sup> anuales**.

Cabe hacer la aclaración de que el cálculo de la recarga media anual que recibe el acuífero, y por lo tanto de la disponibilidad, se realizó a través del planteamiento de un balance hidrometeorológico.

No se descarta la posibilidad de que su valor sea mayor; sin embargo, no es posible en este momento plantear el balance de aguas subterráneas para incluir los volúmenes de agua que circulan en la zona de explotación emplazada en los sedimentos aluviales y conglomerados, así como en las rocas fracturadas que los subyacen. Conforme se genere mayor y mejor información, especialmente la que se refiere a la piezometría y pruebas de bombeo, se podrá hacer una evaluación posterior.