



**GOBIERNO DE
MÉXICO**



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



TITULO DEL PROYECTO

ESTUDIOS HIDROGEOFÍSICOS EN EL ÁREA DE CONSERVACIÓN KEKÉN

Responsable Técnico Dr. Jorge Adrian Perera Burgos

Fecha Terminación noviembre 30 de 2022

Para caracterizar el área del ACK se utilizaron las configuraciones o arreglos dipolo-dipolo y Wenner.

En el arreglo dipolo-dipolo, tanto los electrodos de inyección de corriente (A y B) como de medición del potencial (M y N) están separados por la misma distancia a , mientras que la separación entre el par de electrodos de inyección de corriente y el par de electrodos de medición de voltaje es un n veces el valor de a . De tal forma que se presenta una configuración $ABMN$. Esta configuración es muy sensible para detectar variaciones laterales, por lo que se utiliza ampliamente para detectar estructuras verticales. Esta configuración puede observarse en la Fig. 1-(a).

Por otra parte, el arreglo Wenner consiste en una configuración de electrodos $AMNB$, donde todos los electrodos están separados por la misma distancia a . Esta distancia suele variarse con el objeto de obtener información a mayores profundidades del subsuelo. La configuración Wenner permite detectar variaciones en la vertical, por lo que se utiliza para detectar estructuras horizontales. Esta configuración puede observarse en la Fig. 1-(b).

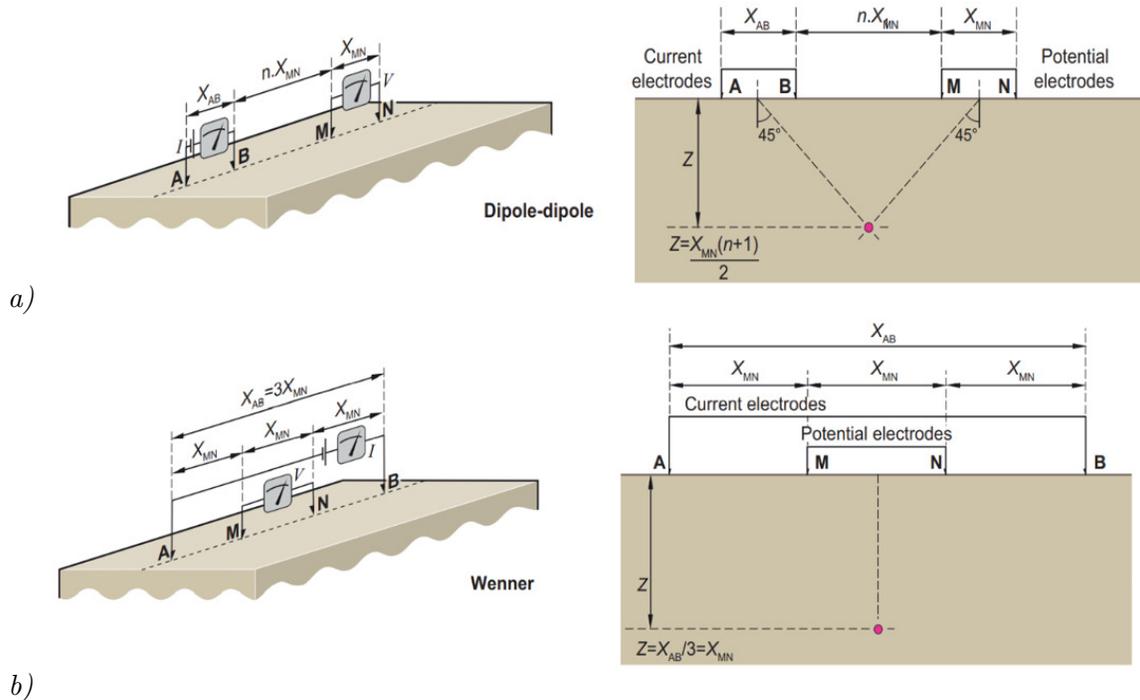
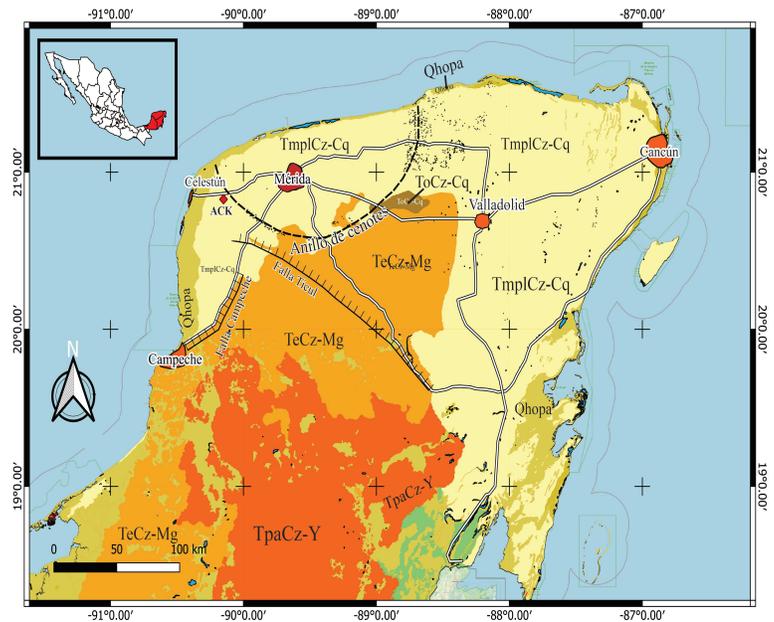
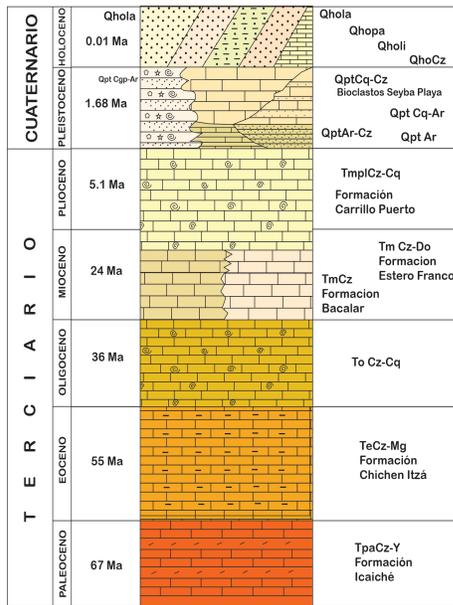


Figura 1: a) Arreglo dipolo-dipolo y b) arreglo Wenner.

En el método de Tomografías de Resistividad Eléctrica, se utiliza uno de los arreglos mencionados anteriormente, con el objeto de calcular el modelo de resistividades aparentes del subsuelo.

La composición geológica de la región donde se localiza el ACK consiste de calizas coquinoidales pertenecientes a la formación Carrillo Puerto (TmplCz-Cq), conformada por rocas del Mioceno Superior-Plioceno, como puede observarse en la Fig. 2.



a)

b)

Figura 2: a) Clasificación suelo PY y b) Geología superficial



Figura 3: Muestras de rocas calizas obtenidas en la superficie

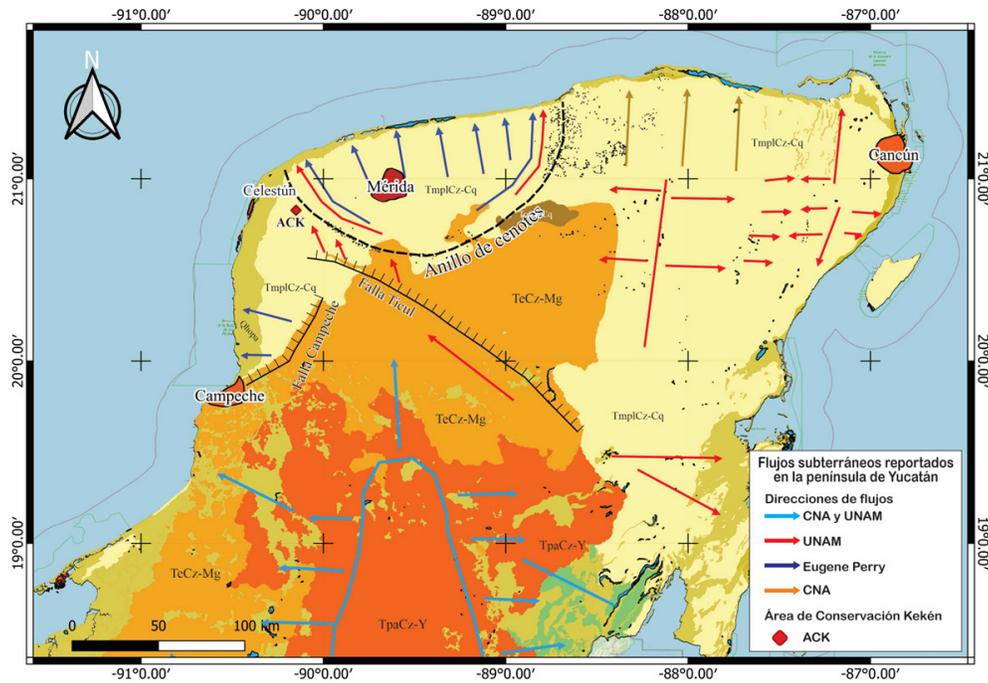


Figura 4: Compendio de flujos regionales en la península de Yucatán.

Tabla 1: Numero de iteraciones, porcentaje RMS y valor de norma L2 del proceso de inversión. No se generaron valores de L2 para los softwares ZondRes2D y Res2DInv.

Perfil	EarthImager2D			ZonRes2D			Res2DInv		
	Iteración	RMS	L2	Iteración	RMS	L2	Iteración	RMS	L2
P1 D-D	4	5.09%	0.66	3	4.15%	NA	5	3.3%	NA
P1 W	2	1.91%	0.41	2	1.48%	NA	6	1.2%	NA
P1 DD-W	3	5.10%	0.99	3	3.63%	NA	5	4.5%	NA
P2 D-D	8	5.23%	3.15	6	5.96%	NA	5	6.2%	NA
P2 W	3	2.17%	0.52	2	2.00%	NA	7	1.3%	NA
P2 DD-W	8	5.32%	3.15	4	5.69%	NA	3	6.7%	NA

Para poder realizar la interpretación de estructuras geológicas (cavernas y/o conductos de disolución), el espesor de la zona vadosa (zona no saturada del subsuelo), el espesor del lente de agua dulce, así como la profundidad a la cual se presenta el fenómeno de intrusión salina, es necesario determinar rangos de resistividades asociados a muestras de rocas calizas saturadas con agua dulce y/o salada. Con en este fin se tomaron los valores reportados en diversos estudios geofísicos del acuífero de la PY. En la Tabla 2 se presenta un resumen de los valores deresistividad de las rocas utilizados para la interpretación de cada una de las tomografías.

Tabla 2: Valores aproximados de resistividades eléctricas para rocas calizas

Tipo de roca	Valor de Resistividad (Ωm)
Calizas no saturadas	≥ 1000
Caliza fracturada saturada con agua dulce	300 – 1000
Caliza saturada con agua dulce	20 – 300
Caliza saturada con agua salobre	10 – 20
Caliza saturada con agua salada	≤ 10
Cavernas y/o conductos saturados con agua dulce	≥ 5
Cavernas y/o conductos saturados con agua salada	≤ 5

Secciones de resistividad real

En la Fig. 5 se presenta la sección de resistividad real para el Perfil 1 con orientación norte-sur. Las inversiones se realizaron con los softwares EarthImager, ZondRes2D y Res2DInv, con el fin de extraer la mayor cantidad de información posible de los datos obtenidos de la integración de las mediciones con los arreglos dipolo-dipolo y Wenner. Las imágenes se presentan utilizando valores de resistividad en escala logarítmica asociados a una paleta de 64 colores.

PERFIL 1

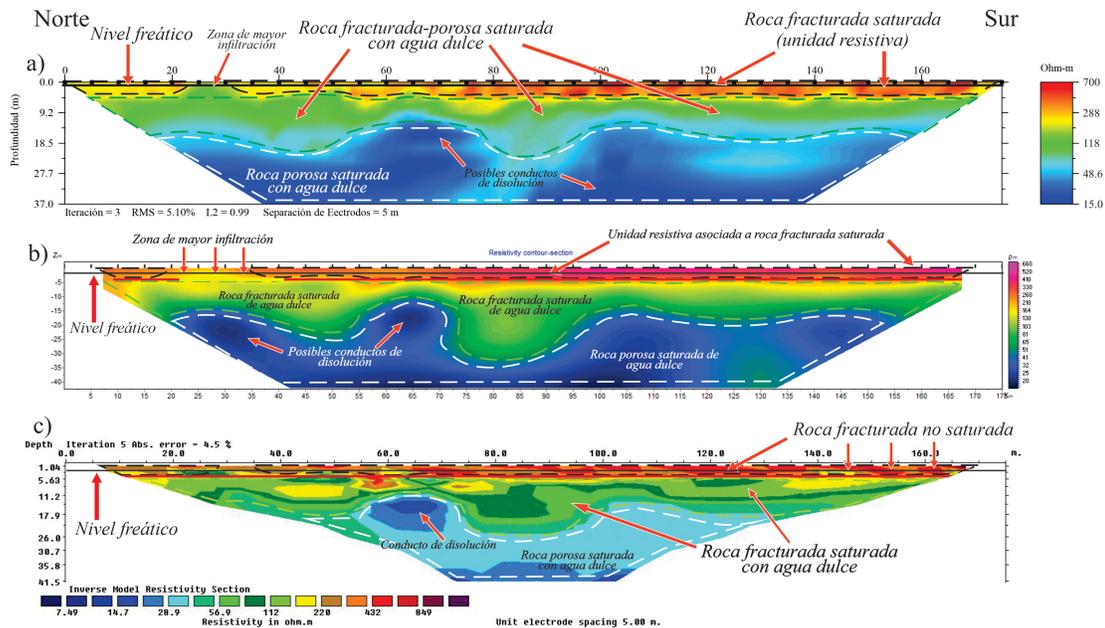


Figura 5: Interpretación del perfil de resistividad real en 2D del transecto con orientación norte-sur, utilizando el software: a) EarthImager, b) ZondRes2D y c) Res2DInv

PERFIL 2

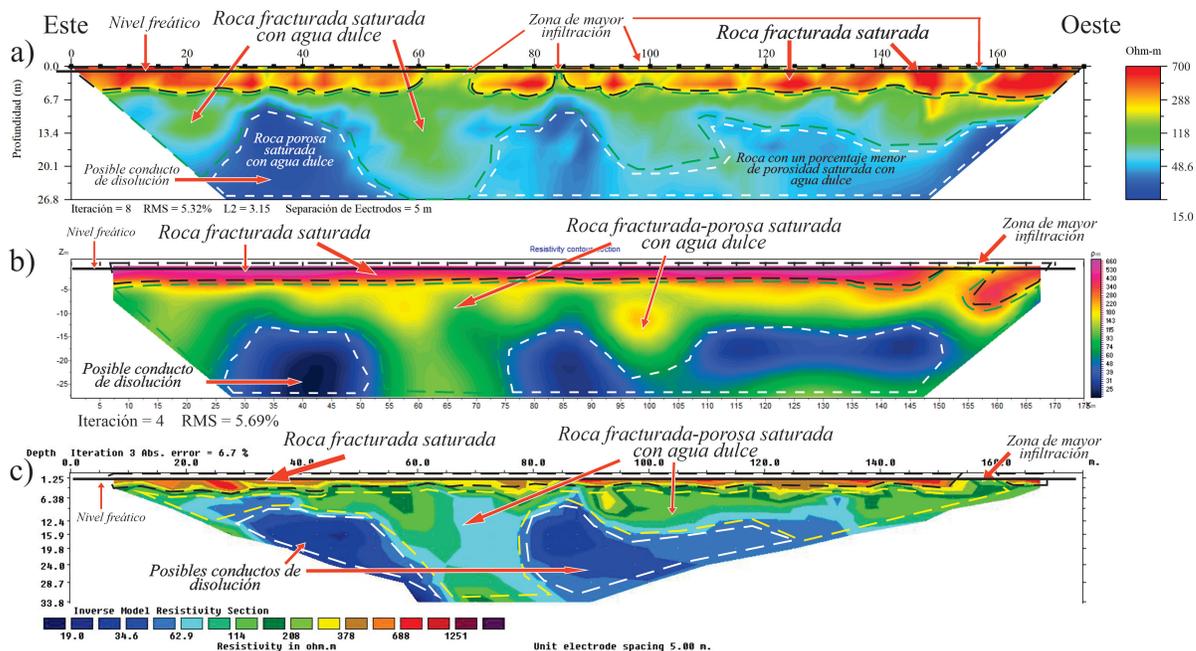


Figura 6: Interpretación del perfil de resistividad real en 2D del transecto con orientación este-oeste, utilizando el software: a) EarthImager, b) ZondRes2D y c) Res2DInv

Secciones de porosidad efectiva

Las secciones de porosidad efectiva para cada uno de los perfiles de resistividad 2D, obtenidos de la aplicación de la Ley de Archie con parámetros $m = 2$ y $a = 1.19$, se presentan en la

Fig. 7. De ambas imágenes se pueden apreciar valores de porosidades en un rango que va del 0.1(10%) al 0.65 (65%).

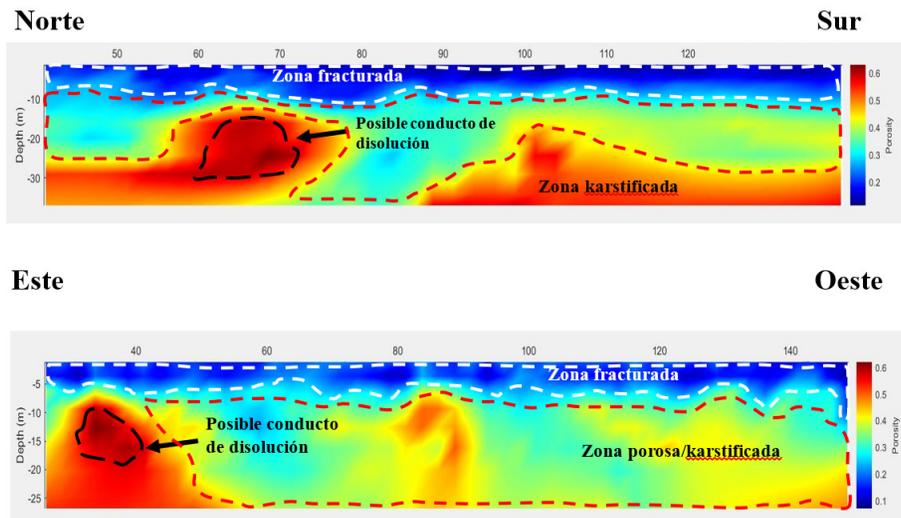


Figura 7: Secciones de porosidad efectiva para los perfiles 1 y 2

La sección correspondiente al Perfil 1, con orientación norte-sur, presenta claramente 3 zonas.

on de carbonatos.

Por otra parte, la sección correspondiente al Perfil 2, con orientación este-oeste, presenta valores de porosidad que van del 10% al 65%.

Acuífero de Chicsmilub

A partir de la información anterior, se generó un mapa con las direcciones de flujos subterráneos. El tamaño de cada vector de flujo esta en función de la magnitud del gradiente hidráulico, como puede observarse en la Fig. 8. Al sur del estado se observan variaciones mayores en la magnitud de los gradientes hidráulicos, por lo que se tiene una zona de partearguas al flujo subterráneo la cual está delimitada por las fallas regionales presentes en dicha zona.

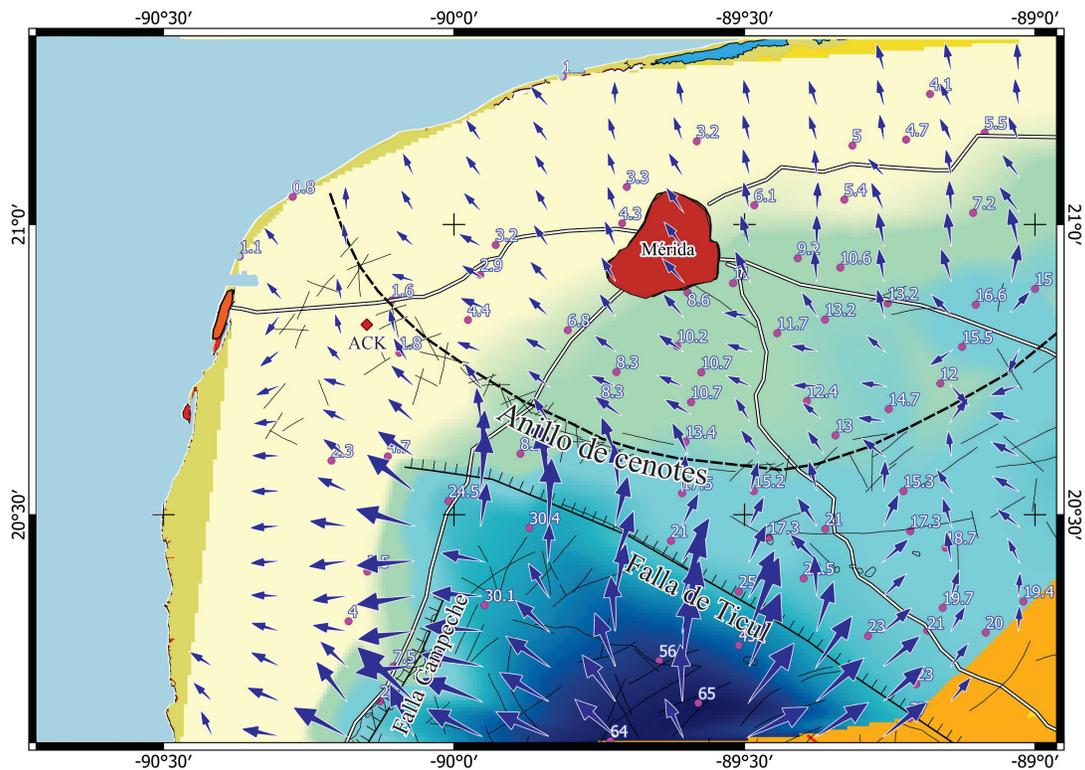


Figura 8: Direcciones de flujos subterráneos regionales en función de los gradientes hidráulicos, para el acuífero noroeste de la península de Yucatán

7.2 Modelo hidrogeológico conceptual del ACK

En la Fig. 9 se presenta el Modelo Hidrogeológico Conceptual del Área de Conservación Kekén, realizado a partir de la evaluación hidrogeológica, es decir, con los resultados obtenidos de la caracterización hidrogeológica.

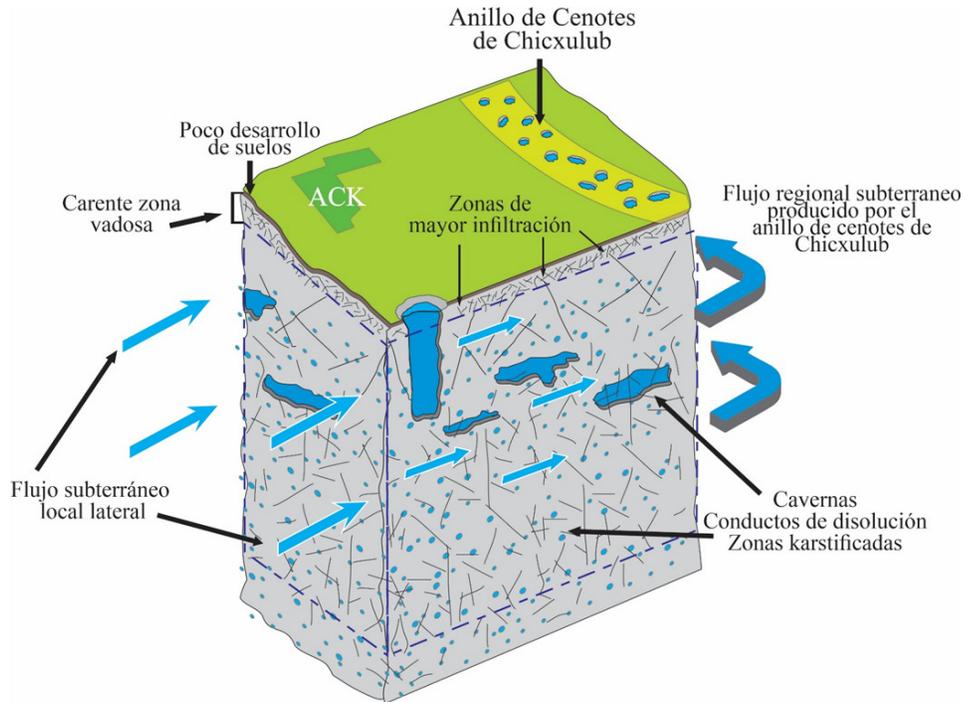


Figura 9: Descripción conceptual del comportamiento hidrogeológico del acuífero en el Área de Conservación Kekén