COMEII

CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE 2017

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

Análisis, Observaciones y Actualización del Modelo Conceptual del Acuífero 1313 Actopan – Santiago de Anaya, Hidalgo

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Islas García Jazmín, Viveros Vargas Nidia

Humberto Iván Navarro Gómez, Bernardo Samuel Escobar Villagrán , Mauricio Guerrero Rodríguez , Emiliano Arrazola Hernández , Mauricio Carrillo García .

Fecha 27/11/2017

ÍNDICE

- Introducción
- Revisión de Literatura
- Marco Conceptual
- Situación Actual
- Materiales y Métodos
- Resultados
- Conclusiones

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

INTRODUCCIÓN

En México existen diversos problemas relativos a la disponibilidad del agua y la contaminación de corrientes y acuíferos, estos se agravan por los patrones de consumo actuales en los diversos usos, los cuales generan grandes pérdidas. Si se sigue con este patrón de referencia, se incrementaran las zonas de escasez y las fuentes de abastecimiento tendrán serias restricciones para poder atender a las nuevas generaciones de usuarios.

Para la administración del agua subterránea, el país se ha dividido en 653 acuíferos, cuyos nombres oficiales fueron publicados en el DOF el 5 de diciembre de 2001. De los 653 acuíferos, para el 2014, **106 se encontraban en condiciones de sobre-explotación** (es decir, su extracción sobrepasó al 10 % de la recarga del acuífero) y proporcionaron el 55.2 % del agua subterránea empleada (CONAGUA, 2015)

FIGURA 2 . *Localización de acuíferos en la Republica Mexicana (CONAGUA 2014)*

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es analizar la metodología utilizada por CONAGUA, para poder hacer las observaciones correspondientes del Modelo Conceptual que se presenta en la Disponibilidad de la anterior mencionada, realizando una actualización al Modelo Conceptual del Acuífero 1313 Actopan-Santiago de Anaya, así como evaluar si se ha provocado el aumento de los conos de abatimiento o de domos dentro del Acuífero, a través de un balance de aguas subterráneas para la determinación del grado de explotación del acuífero.

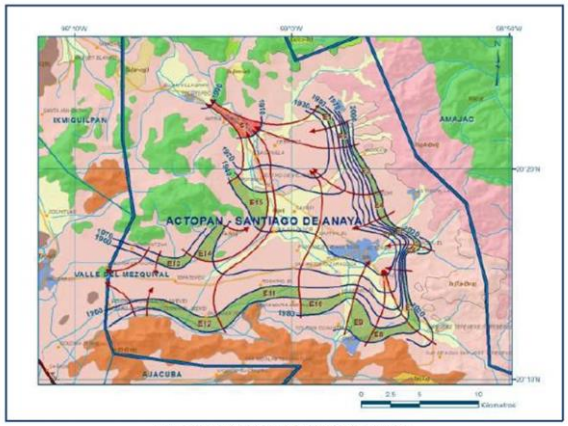


Figura 5. Elevación del nivel estático en msnm (2012)

FIGURA 3. *Disponibilidad del Acuífero 1313, Actopan-Santiago de Anaya. (CONAGUA 2 015)*

La hipótesis planteada consiste en desarrollar una metodología que permita evaluar el grado de explotación de un acuífero por medio de un balance de aguas subterráneas, analizando el balance del acuífero 1313 Actopan-Santiago de Anaya, para ello, se procesarán datos de niveles de pozos para configurar mapas potenciométricos de diferentes años, hidrometrías de bombeo, cálculo de parámetros hidráulicos, variables climatológicas, entre otros muchos.

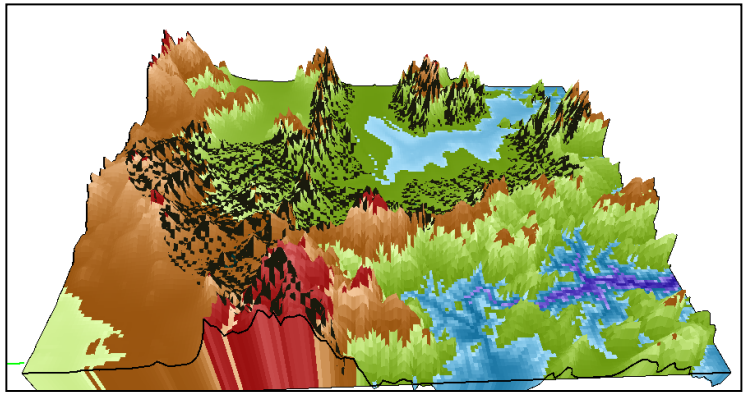


FIGURA 4. *Modelo del Acuífero 1313, Actopan-Santiago de Anaya, hecho con el software ModelMuse de Modflow (Creación del Autor)*

Además se determinará por medio de un balance de aguas subterráneas, el grado de explotación de este acuífero, explotación sostenible, explotación intensiva, o en equilibrio, con miras a diseñar adecuados escenarios de gestión hídrica.

REVISIÓN DE LITERATURA

- Según (CONAGUA, 2015), el Acuífero Actopan – Santiago de Anaya tiene registrado un total de 189 aprovechamientos, todos ellos activos. De los aprovechamientos 171 son pozos y 18 norias. Entre ellos, 99 se destinan al uso agrícola, 9 para uso público-urbano, 2 para uso industrial y 14 para uso múltiple y servicios.

- En total, el volumen de extracción del acuífero asciende a 45.9hm^3 anuales, con la siguiente distribución por usos: 18.9hm^3 (41.2%) para uso agrícola, 26.9hm^3 (58.6%) para uso público-urbano y 0.1hm^3 (2.0%) para uso doméstico. Adicionalmente, a través de pozos artesianos y brotantes se descarga un volumen aproximado de 10.6hm^3 sin uso dentro del acuífero y que salen de él por el canal Xotho (CONAGUA, 2015).

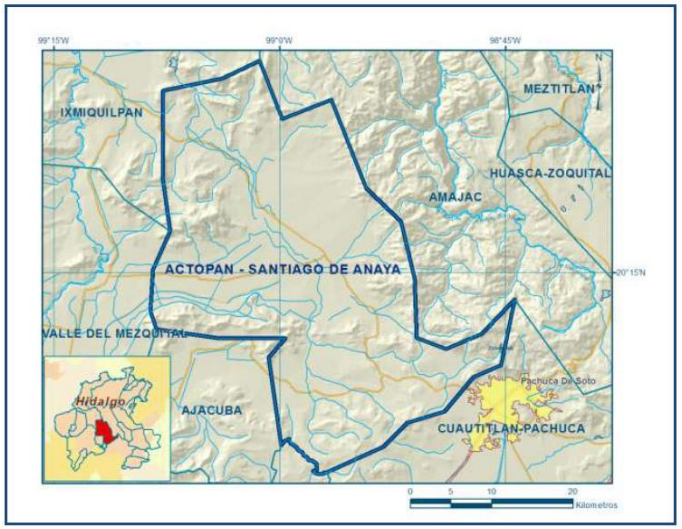


FIGURA 5. *Localización del Acuífero 1313, Actopan-Santiago de Anaya. (CONAGUA, 2 015)*

DCXLVI REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "AGUAS DEL VALLE DE MÉXICO"

CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
ESTADO DE HIDALGO							
1313	ACTOPAN-SANTIAGO DE ANAYA	208.1	90.0	30.831409	45.9	87.268591	0.000000

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

REVISIÓN DE LITERATURA

HIDROGRAFÍA

El acuífero se encuentra dentro de la Región Hidrológica No. 26, Pánuco, dentro de la Cuenca del Río Moctezuma y la Subcuenca del Río San Juan-Tula. El mayor escurrimiento es el Río Actopan, que se une al Río Tula, cerca de Ixmiquilpan, la unión de ambos Ríos da origen al Río Moctezuma (CONAGUA, 2015).

Sobre la superficie, en la sección suroeste, en los límites con el acuífero Cuautitlán-Pachuca, se ubica una pequeña presa, llamada Estanzuela, y una red de canales hidroagrícolas pertenecientes al Distrito de Riego 003 Tula (CONAGUA, 2015).

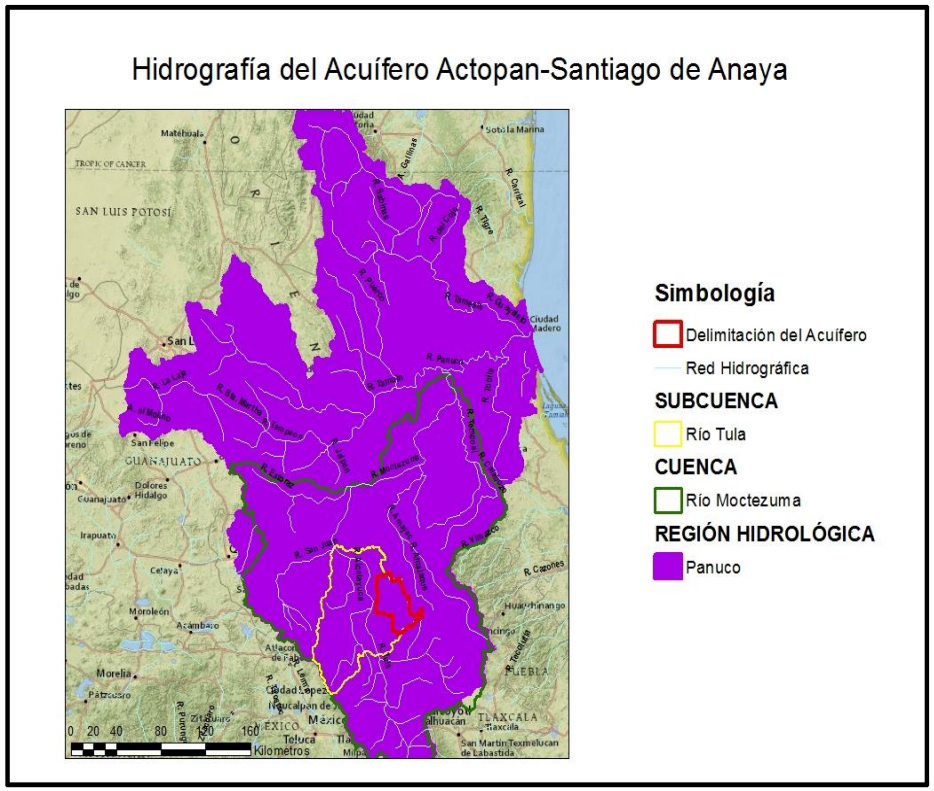


FIGURA 6. *Hidrografía del Acuífero 1313, Actopan-Santiago de Anaya. (Creación del Autor)*

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

REVISIÓN DE LITERATURA

GEOLOGÍA

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

La geología superficial de la zona está compuesta por rocas volcánicas en su mayoría y en menor cantidad por rocas sedimentarias marinas del Cretácico.

La actividad volcánica se manifiesta durante casi todo el Terciario, formando extensos y gruesos derrames atestiguados por numerosos conos cineríticos, mesetas de flujos piroclásticos y sin faltar los derrames de basalto. (CONAGUA, 2 015)

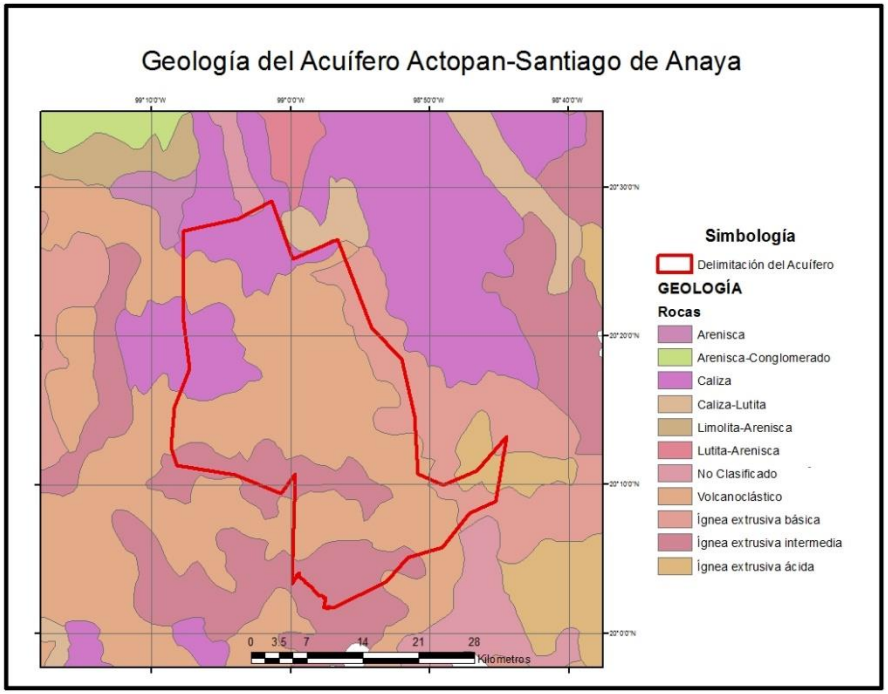


FIGURA 7. *Geología del Acuífero 1313, Actopan-Santiago de Anaya. (Creación del Autor)*

REVISIÓN DE LITERATURA

PARAMETROS HIDRÁULICOS

CONAGUA (2 015) realizo en 2012 se ejecutaron 15 pruebas de bombeo de corta duración, tanto en etapa de abatimiento como de recuperación. De los resultados de su interpretación por métodos analíticos convencionales se establece que los valores de transmisividad varían de 1.0 x10-3 a 20.0 x 10-3 m2/s. En tanto que la conductividad hidráulica oscila entre 5.0 x10-6 y 1.0 x10-4 m/s (0.4 a 8.6 m/d). En la zona norte, este y sur del acuífero, la transmisividad es de 1.0 x10-3 m2/s, en la zona central del acuífero varía de 5.0 a 20 x10-3 m2/s.

A nivel regional, 12 pruebas de bombeo contaron con pozo de observación para poder estimar el coeficiente de almacenamiento, el cual varía de 0.0002 a 0.2. De manera general, los valores más altos de los parámetros hidráulicos corresponden a las rocas basálticas fracturadas y los menores a los sedimentos aluviales y piroclásticos de grano fino. (CONAGUA, 2 015).

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

MARCO CONCEPTUAL

PRINCIPIOS HIDRÁULICOS

- PRINCIPIO DE CONTINUIDAD

La velocidad media V en una sección de un escurrimiento es aquella que al multiplicarse por el área hidráulica A da por resultado el gasto Q que pasa en ese instante por la sección, es decir:

$$VA=Q$$

- TEOREMA DE BERNOULLI. ECUACIÓN DE LA ENERGÍA

Es un teorema que se basa en la conservación de la energía, específicamente la energía por cualquier medio observable en un fluido, como la presión, velocidad, la elevación del fluido y las pérdidas por fricción según la Ecuación 1.1 (White, 2008)

$$h + \frac{p}{pg} + \frac{v^2}{2g} = constante$$

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

MARCO CONCEPTUAL

- LEY DE DARCY-WEISBACH
- La ley de Darcy es una de las bases más importantes en el análisis de comportamiento y movimiento del agua en el subsuelo. De acuerdo a esta ley, el flujo de un fluido a través de un medio poroso de área A, es directamente proporcional a la pérdida de carga hidráulica y a un coeficiente K, e inversamente proporcional al trayecto recorrido (Ecuación No. 1.1 y figura 1.1) de tal forma que la ley de Darcy se expresa como:
- $Q = KiA$
- o bien
- ${}^{Q}/_{A} = V_d = Ki$
- Dónde:
- Q =Gasto (m3/día)
- K =Constante de proporcionalidad, conductividad hidráulica (m/día)
- i = Gradiente hidráulico (adimensional)
- A = Área transversal perpendicular al flujo (m^2)
- Vd = Velocidad aparente de flujo (m/día), también conocida como "Velocidad de Darcy".

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

MARCO CONCEPTUAL

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

- ACUÍFERO

Es un estrato o formación geológica suficientemente permeable que almacena y permite la circulación del agua por sus poros y/o grietas proporcionando caudales, aprovechables en cantidades económicas apreciables. Dentro de estas formaciones podemos encontrarnos con materiales no consolidados muy variados como gravas de río, calizas muy agrietadas, areniscas porosas poco sementadas, arenas de playa, algunas formaciones de origen volcánico, depósitos de dunas, depósitos glaciares, etc.

- TIPOS DE ACUIFEROS

La clasificación de los acuíferos varía según el factor que se tome para hacerla.

De acuerdo al grado de confinamiento, es decir, a la presión hidrostática del agua contenida en los mismos, se originan los siguientes tipos:

- *Acuífero libre, freático o no confinado*
- *Acuífero confinado, cautivo o a presión*
- *Acuífero semiconfinado*

MARCO CONCEPTUAL

- BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico no es más que la aplicación del principio de la conservación de masa (Ecuación de la Continuidad) a una cierta región definida por unas determinadas condiciones de contorno.

Se pueden establecer balances generales, que incluyan las aguas superficiales y subterráneas, y balances parciales; de solo aguas superficiales, de un acuífero, del agua del suelo, de una porción del sistema, etc. En cualquier caso debe considerarse que si las entradas superan las salidas existe una acumulación (aumento de almacenamiento) y lo contrario si las salidas superan a las entradas.

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

MARCO CONCEPTUAL

El balance general de un acuífero se puede escribir con los diferentes términos expresados en las mismas unidades, como:

Infiltración en el terreno procedente de la precipitación (IP o Rv)+
+Infiltración procedente de aguas superficiales (ríos y lagos) (IR)+
+Entradas subterráneas por límites (Eh)+
+Entradas subterráneas de otros acuíferos (Qe)+
+Recarga artificial (Ra) –
–Descarga de agua subterránea a los cauces (DR) –
–Evapotranspiración de agua del terreno (ET) –
–Salida de agua subterránea por los límites (Sh) –
–Salida de agua subterránea a otros acuíferos (Qs) –
–Salida de agua subterránea en manantiales (Dm) –
–Extracción de agua subterránea (bombeo) (B) =
Variación en el almacenamiento (final-inicial) (Δh)

Que puede escribirse como:

$$\sum_{i=1}^{n} E - \sum_{i=1}^{n} S = \pm \Delta V$$

Ecuación General de un Balance de Masas

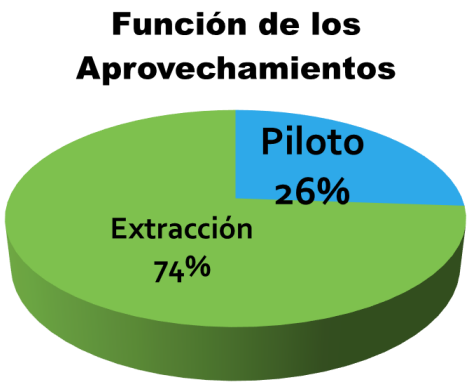
Entradas- Salidas =± (Variación en el Almacenamiento

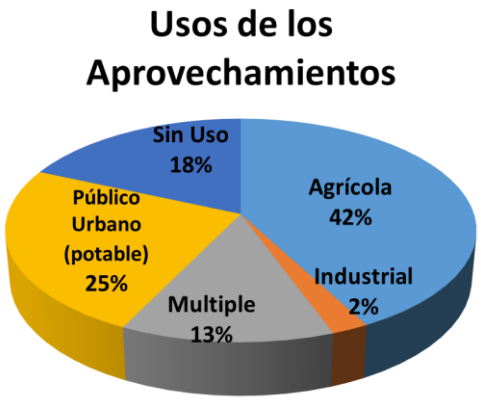
$$\frac{(\mathrm{IP} + \mathrm{IR} + \mathrm{Eh} + \mathrm{Qe} + \mathrm{Ra})}{ENTRADAS} - \frac{(\mathrm{DR} + \mathrm{ET} + \mathrm{Sh} + \mathrm{Qs} + \mathrm{Dm} + \mathrm{B})}{SALIDAS} = \pm \Delta h$$

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

SITUACIÓN ACTUAL

- El acuífero Actopan-Santiago de Anaya se encuentra localizado en la porción sur del Estado de Hidalgo.
- (CONAGUA, 2 015) explica la presencia de un acuífero libre a semiconfinado; heterogéneo y anisótropo constituido por una alternancia de materiales granulares aluviales, rocas volcánicas y sedimentos piroclásticos; formando un espesor promedio de 400 m.
- De acuerdo con la información de (CONAGUA, 2 015), el Acuífero tiene registrado un total de 189 aprovechamientos, 171 pozos y 18 norias.





VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

MATERIALES Y MÉTODOS

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

- **Localización y características del área de estudio**

Ubicación: Porción sur del Estado de Hidalgo, entre los paralelos 20°02’ y 20°29’ de latitud norte y los meridianos 98°44’ y 99°09’ de longitud oeste.

Superficie: 1, 065 km2.

Limites: al norte con el acuífero Ixmiquilpan, al norte y este con Amajac; al sureste con Cuautitlán-Pachuca; al suroeste con Ajacuba y al oeste con el acuífero Valle del Mezquital.

Geomorfología: alternancia de materiales granulares aluviales, rocas volcánicas y sedimentos piroclásticos.

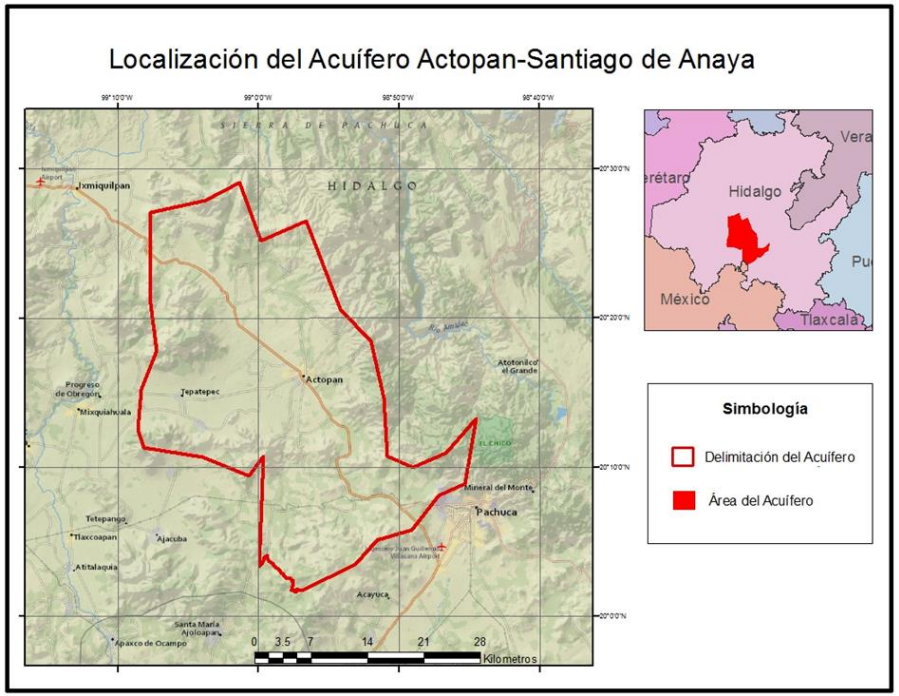


FIGURA 8. *Localización del Acuífero 1313, Actopan-Santiago de Anaya. (Creación del Autor)*

MATERIALES Y MÉTODOS

- **Metodología**
- Para llevar a cabo la presente investigación inicialmente se hizo un acopio de información proveniente de los organismos operadores del agua en el estado de Hidalgo, CONAGUA,
- Distrito de Riego 003 y Registro Público de Derechos del Agua, con respecto a los parámetros de condiciones geohidrológicas del acuífero, las tendencias de abatimiento y explotación de los pozos y las características geofísicas del agua subterránea.
- Posteriormente se hace el análisis de la información para obtener puntos de inicio, se realiza el reconocimiento y la ubicación de los aprovechamientos de agua subterránea y brotantes dentro del acuífero, con el uso del inventario de pozos 2013, proporcionado por CONAGUA.
- Con lo anterior se obtuvo la ubicación y los niveles piezométricos de los 189 pozos existentes en el Registro Público de Derechos del Agua y CONAGUA.
- Con el uso de las cartas geológico-mineras F14C79 Ixmiquilpan, F14C89 Mixquiahuala, F14D71 Actopan, F14D81 Pachuca, del Servicio Geológico Mexicano, y la Carta Hidrogeológica del Área de Actopan-Ixmiquilpan se realizó la caracterización de la permeabilidad del suelo.
- Se ingresa la información al software de información geográfica ArcMap 10 para realizar el modelo conceptual. Con las cartas topográficas F14C79 Ixmiquilpan, F14C89 Mixquiahuala, F14D71 Actopan, F14D81 Pachuca, de INEGI, se determinó la elevación del terreno natural de cada aprovechamiento y con los datos de profundidad del nivel estático extraídos del inventario de pozos se obtuvo la elevación del nivel estático de cada uno.

MATERIALES Y MÉTODOS

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

El **balance hídrico** es la aplicación del principio de la conservación de masa (Ecuación de la Continuidad) a una cierta región definida por unas determinadas condiciones de contorno.

$$\sum_{i=1}^{n} E - \sum_{i=1}^{n} S = \pm \Delta V$$ *(Ecuación General de un Balance de masas)*

$$\underbrace{(IP + IR + Eh + Qe + Ra)}_{Entradas} - \underbrace{(DR + ET + Sh + Qs + Dm + B)}_{Salidas} = \pm \Delta h$$

MATERIALES Y MÉTODOS

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

Entradas	Salidas
1. Entrada subterránea (Eh)	1. Salida subterránea (Sh)
2. Recarga vertical (Rv)	2. Bombeo y extracciones de agua subterránea (B)
3. Recarga artificial (Ra)	3. Descarga natural de agua subterránea a manantiales (Dm)
4. Retorno de agua por riego (Rr)	

Tabla 1. *Términos que intervienen en el balance (Creación del autor).*

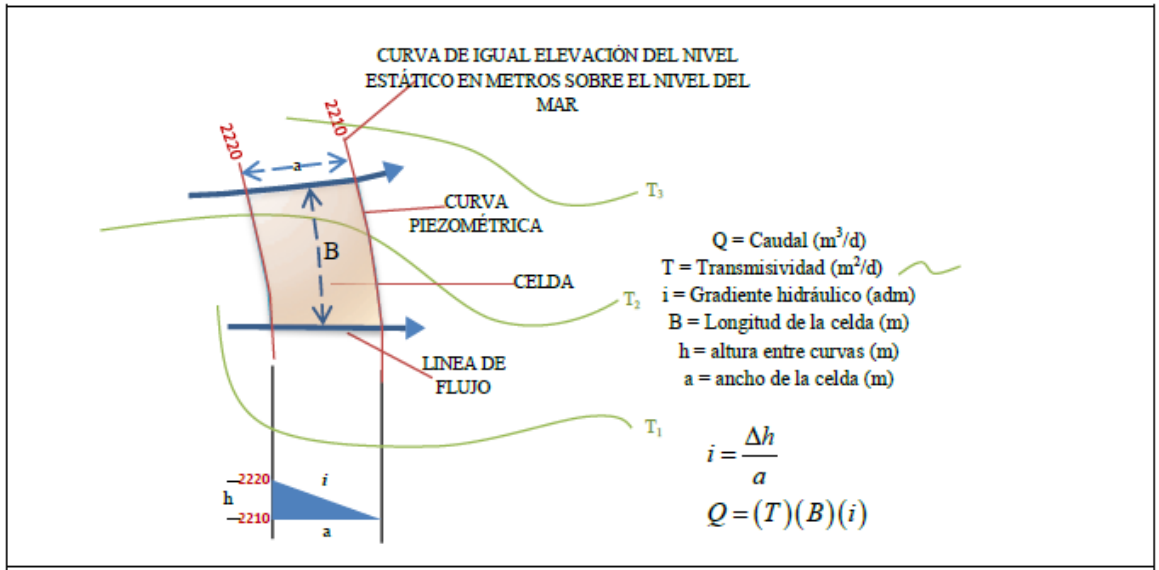


Figura 3.3 Parámetros de la ecuación

Figura 9. *Cálculo de Entradas (EH) y Salidas (SH) por flujo subterráneo. (Creación del autor).*

RESULTADOS

- **Recopilación y análisis de información**

La mayor extracción de los aprovechamientos esta designada al uso Público Urbano (potable), los pozos para fines agrícolas se encuentran al centro del acuífero y fuera del Distrito de Riego 003, los pozos proveedores al sector industrial son minoría.

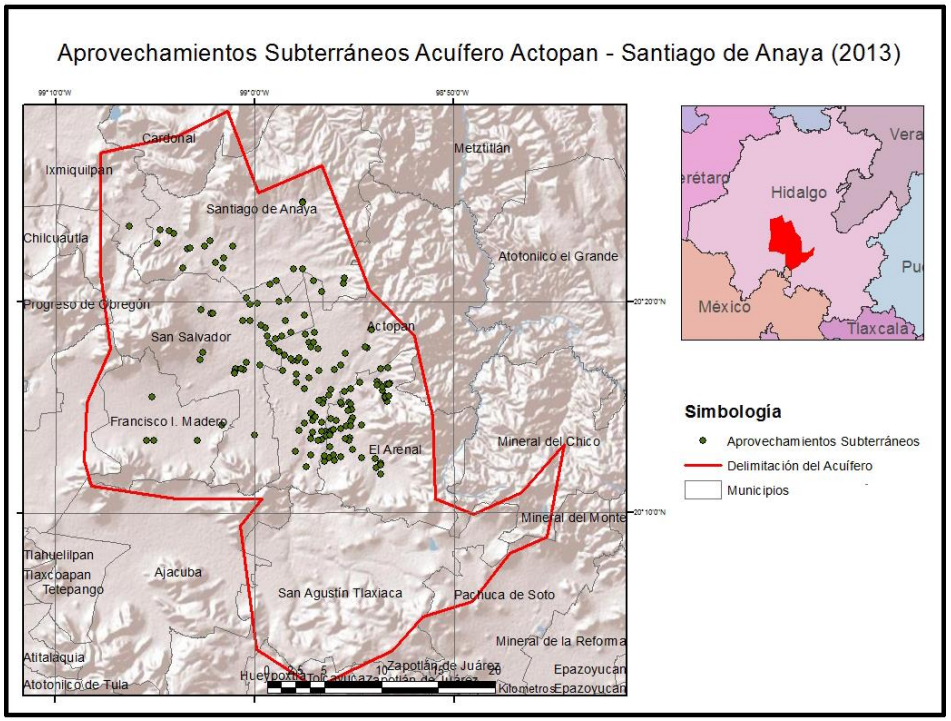


Figura 10. *Aprovechamientos Subterráneos Acuífero Actopan – Santiago de Anaya (2 013). (Creación del autor).*

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

RESULTADOS

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

- **Caracterización hidrogeológica**

Rodolfo del Arenal (1978) indica que la delimitación del acuífero contiene suelos:

SIMBOLOGÍA	LITOLOGÍA	PERMEABILIDAD
Qal	Aluvión, lavas, cenizas volcánicas, brechas, calizas lacustres, yeso, travertino.	Elevada
Tpt/Tpb	Formación Tarango.- Material clástico. Lentes de caliza lacustre y cenizas volcánicas. Derrames de lava, brechas y cenizas asociadas.	Mediana
Tomp/Tomv	Grupo Pachuca.- Rocas volcánicas, riolitas, basalto y andesitas.	Nula
Ksm	Formación Mexcala.- Capas interestratificadas de lutita, limolita, areniscas y calizas de origen marino.	Mediana
Kid	Formación El Doctor.- Caliza de origen marino. Lentes y nódulos de pedernal y capas dolomíticas.	Mediana

Tabla 2. *Caracterización hidrogeológica, Acuífero Actopan – Santiago de Anaya (1 978). (Creación del autor).*

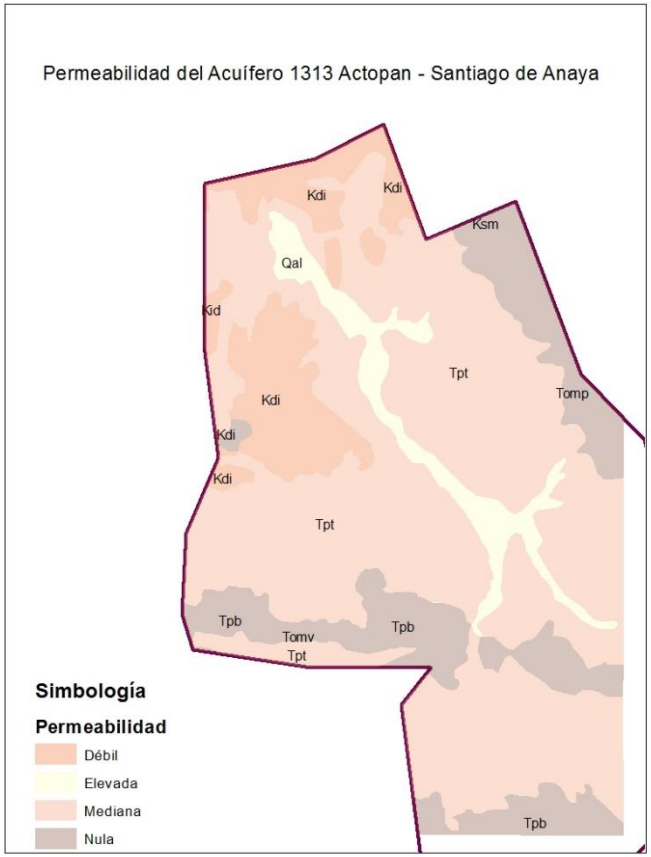


Figura 11. *Permeabilidad del Acuífero Actopan – Santiago de Anaya. (Creación del autor).*

Resultados

- **Curvas de elevación del nivel estático**

Las Curvas de Elevación del Nivel Estático muestran la existencia de una recarga no considerada anteriormente, en el municipio de Actopan, se encuentra en un área altamente permeable formada por aluvión, lo que muestra que el acuífero se encuentra parcialmente explotado y que hay un área de recarga adicional a los canales del Distrito de Riego 003

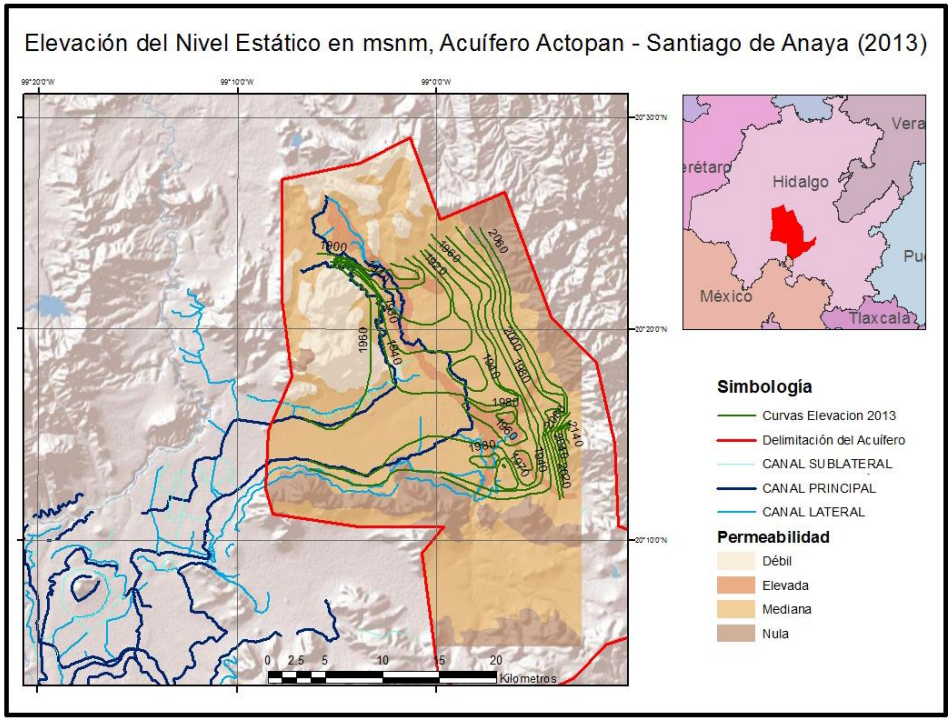


Figura 12. *Elevación del Nivel Estático en msnm y permeabilidad del Acuífero Actopan – Santiago de Anaya (2 013). (Creación del autor).*

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

RESULTADOS

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

- **Líneas de flujo**

El flujo subterráneo sigue una trayectoria de suroeste a noreste, descendiendo de una elevación de 2 100 msnm a menos de 1 900 msnm.

La descarga del acuífero ocurre por bombeo de aprovechamientos subterráneos y norias, pozos brotantes en la zona de San Salvador, las salidas de flujo subterráneo se direccionan hacia el acuífero de Ixmiquilpan, ubicado al norte.

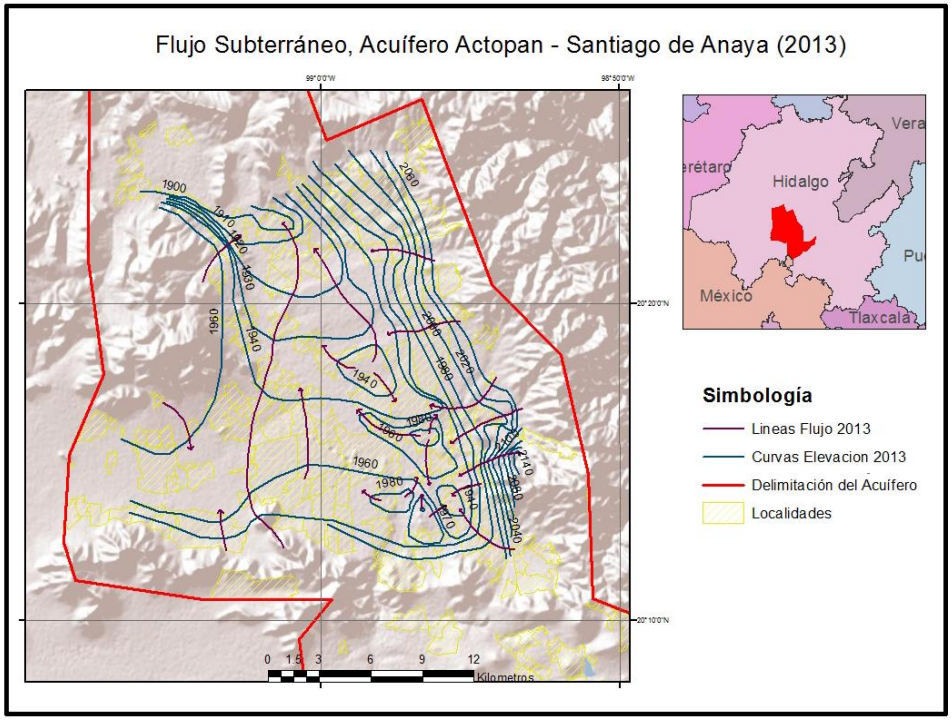


Figura 13. *Flujo Subterráneo, Acuífero Actopan – Santiago de Anaya (2 013). (Creación del autor).*

RESULTADOS

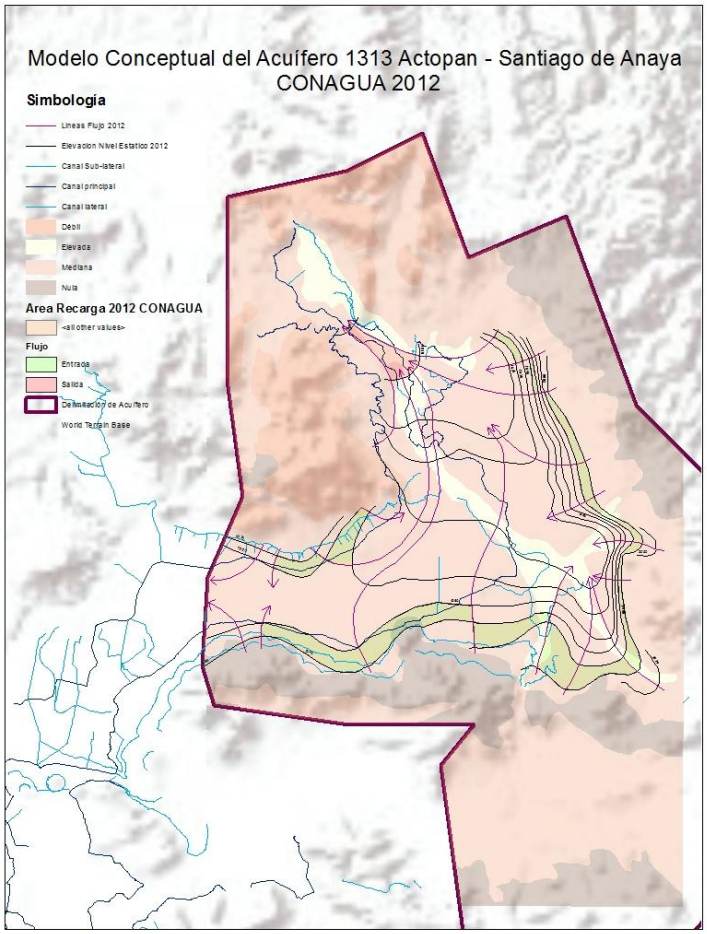


Figura 14. *Modelo Conceptual CONAGUA, Acuífero Actopan – Santiago de Anaya (2 012). (Creación del autor).*

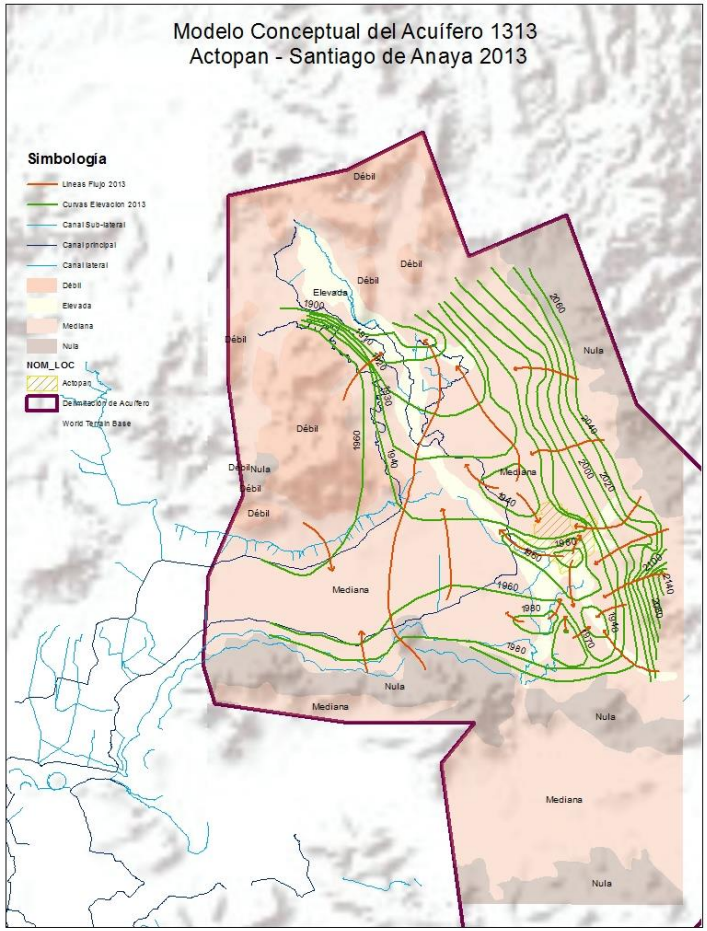


Figura 15. *Modelo Conceptual, Acuífero Actopan – Santiago de Anaya (2 013). (Creación del autor).*

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

CONCLUSIONES

- El acuífero debe estar sujeto a una extracción, explotación, uso y aprovechamiento controlados para lograr la sustentabilidad ambiental y prevenir la sobreexplotación, con la actualización del modelo conceptual se observó que existen recargas no consideradas anteriormente, así como la presencia de un cono de abatimiento.

- El acuífero (1313) Actopan-Santiago de Anaya, no se encuentra en un estado de sobreexplotación debido a que en los modelos realizados se encontraron domos de recarga que no estaban considerados por CONAGUA (2 015), por lo que es recomendable no aumentar los volúmenes de extracción sin la previa realización de un balance hidrológico para evaluar el grado de explotación del acuífero para un equilibrio general de las aguas subterráneas.

VINCULANDO LA INFORMACIÓN CON ACCIONES POR EL AGUA Y LA ALIMENTACIÓN

Gracias

Islas García Jazmín
Viveros Vargas Nidia

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

jaz19942009@hotmail.com
viverosnidia@gmail.com

PUEBLA XXXI CONVENCIÓN ANUAL Y EXPO ANEAS 2017 27 NOV - 1 DIC

COMEII III CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE 2017

www.comeii.com/comeii2017

@CongresoCOMEII

info@comeii.com

SEMARNAT · CONAGUA · IMTA · SAGARPA · inifap · PUEBLA Sigue · BUAP · Colegio de Postgraduados