



Aplicación de Interferometría Radar de Apertura Sintética (InSAR) en el estudio del hundimiento de la Ciudad de México y su relación con el abatimiento del nivel estático de agua subterránea.



F. J. Ramos Organillo, J. I. Morales Arredondo, N. L. Ramírez Serrato, G. Herrera Zamarrón

ramos.francisco_javier93@comunidad.unam.mx, ivanma@igeofisica.unam.mx, nellyrmz@igeofisica.unam.mx, ghz@igeofisica.unam.mx

RESUMEN

La Ciudad de México ha sufrido durante muchos años el fenómeno del hundimiento del suelo debido a que la ciudad se encuentra dentro de los límites del antiguo lago de Texcoco. Los materiales litológicos que constituyen el área lacustre son depósitos, mayoritariamente arcillosos, de baja consolidación, que componen el acuitardo superior de la ciudad, de los cuales se han extraído volúmenes de agua que han provocado el reordenamiento de los materiales arcillosos provocando el hundimiento del terreno, provocando afectaciones visibles en edificaciones y vías de comunicación. El hundimiento de la ciudad no se presenta de manera homogénea ya que hay regiones de la ciudad que presentan mayor asentamiento que otras.

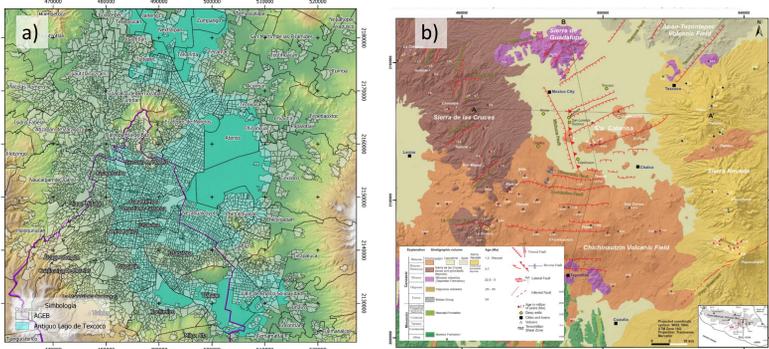
Este estudio tiene como objetivo identificar áreas dentro de la ciudad, con características similares que nos permitan comprender el comportamiento de la subsidencia del terreno y su relación con la reducción del nivel freático estático. Para ello se obtuvieron datos del desplazamiento vertical del terreno mediante la técnica InSAR y asociados a los valores de descenso del nivel estático para comprobar si existe una relación directa entre la extracción de aguas subterráneas y el descenso del terreno. Se consideró que en el antiguo lago de Texcoco había presencia de aguas saladas y dulces, que serían determinantes en la formación de diferentes minerales arcillosos en la planicie lacustre. Por esta razón, se decidió dividir la ciudad de acuerdo al ambiente que gobernaba el sitio cuando existía el lago de Texcoco. Se propusieron cuatro áreas de estudio: área del lago de Texcoco, que se ubica al noreste de la ciudad donde predominan las aguas salobres; la zona Noreste del pueblo, donde se ubicaba la antigua ciudad de Tenochtitlán y donde dominaban las aguas dulces; la Zona del Lago de Xochimilco, que tenía aguas dulces y una elevación mayor que la zona de Tenochtitlán; y la Zona del Lago Chalco, que presenta características similares a las del Lago Xochimilco.

Los resultados del estudio muestran que la zonificación de la planicie lacustre en 4 regiones permite relacionar linealmente las variables de desplazamiento vertical del terreno y deyección (disminución) del nivel estático de las aguas subterráneas, demostrando que existe una relación directa entre ambas variables, contrario a lo que mostraron estudios recientes ya que al estudiar el fenómeno a nivel regional, los resultados mostraron poca o ninguna relación lineal entre el asentamiento del suelo y la caída del nivel estático.

INTRODUCCIÓN

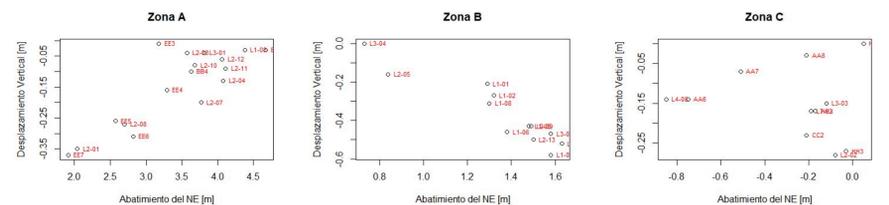
En México, la subsidencia del terreno ha afectado a diferentes ciudades como la Ciudad de México. Esta ciudad presenta una tasa de subsidencia del terreno de aproximadamente 15 cm/año, según datos de INEGI [2021].

La Ciudad de México se encuentra dentro de los antiguos límites del lago de Texcoco (figura a) y por ello el suelo de la ciudad presenta características como baja consolidación y alta compresibilidad, lo que la vuelve un escenario idóneo para el desarrollo de la subsidencia del terreno. La planicie lacustre está gobernada por materiales sedimentarios poco consolidados que en su mayoría son arcillas, mientras que en los alrededores, se encuentra rodeada por sierras volcánicas de diversas composiciones que aportan distintos sedimentos a la cuenca (figura b) (Arce et al. 2017), por lo que las arcillas tienen un comportamiento distinto según el área en el que se encuentren.



RESULTADOS

Luego de realizar la zonificación se verificó si por medio de un modelo de regresión lineal simple era posible relacionar el desplazamiento vertical del terreno con el abatimiento del nivel estático de agua subterránea, y también se verificó si al incluir más variables al modelo, por medio de modelo de regresión lineal múltiple, la relación lineal en los modelos mejoraba. Se realizaron modelos de regresión lineal simple y modelos de regresión múltiple para las 3 zonas con datos suficientes para el análisis. Las zonas utilizadas fueron: Zona A, Zona B y Zona C.



Modelo de regresión lineal simple
 $DV1417 \sim Abat1417$
 $R^2 = 0.713$

Modelo de regresión lineal múltiple 1
 $DV1417 \sim Abat1417 + EspArcilla + Gasto$
 $R^2 = 0.7926$

Modelo de regresión lineal múltiple 2
 $DV1417 \sim Abat1417 + EspArcilla$
 $R^2 = 0.7916$

Modelo de regresión lineal múltiple 3
 $DV1417 \sim Abat1417 * EspArcilla * Gasto$
 $R^2 = 0.902$

Modelo de regresión lineal múltiple 4
 $DV1417 \sim Abat1417 * EspArcilla$
 $R^2 = 0.802$

Modelo de regresión lineal simple
 $DV1417 \sim Abat1417$
 $R^2 = 0.861$

Modelo de regresión lineal múltiple 1
 $DV1417 \sim Abat1417 + EspArcilla + Gasto$
 $R^2 = 0.865$

Modelo de regresión lineal múltiple 2
 $DV1417 \sim Abat1417 + EspArcilla$
 $R^2 = 0.865$

Modelo de regresión lineal múltiple 3
 $DV1417 \sim Abat1417 * EspArcilla * Gasto$
 $R^2 = 0.894$

Modelo de regresión lineal múltiple 4
 $DV1417 \sim Abat1417 * EspArcilla$
 $R^2 = 0.869$

Modelo de regresión lineal simple
 $DV1417 \sim Abat1417$
 $R^2 = 0.018$

Modelo de regresión lineal múltiple 1
 $DV1417 \sim Abat1417 + EspArcilla + Gasto$
 $R^2 = 0.949$

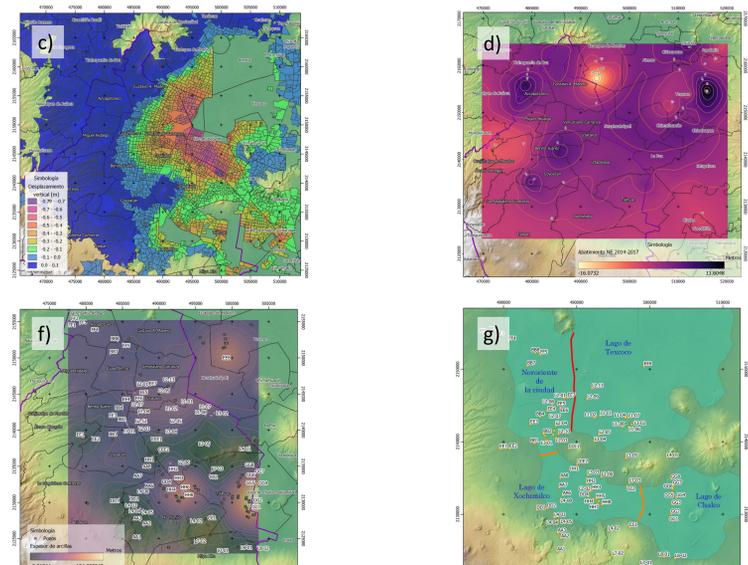
Modelo de regresión lineal múltiple 2
 $DV1417 \sim Abat1417 + EspArcilla$
 $R^2 = 0.305$

Modelo de regresión lineal múltiple 3
 $DV1417 \sim Abat1417 * EspArcilla * Gasto$
 $R^2 = 0.974$

Modelo de regresión lineal múltiple 4
 $DV1417 \sim Abat1417 * EspArcilla$
 $R^2 = 0.609$

METODOLOGÍA

Se hizo un análisis estadístico del fenómeno de subsidencia del terreno, en el período de 2014-2017, con variables que se considera que afectan el comportamiento del fenómeno. Estas variables son: Abatimiento del nivel estático de agua subterránea (Abat1417) (figura d), el espesor de arcilla a profundidad (EspArcilla) (figura e) y el Gasto; y para representar el fenómeno de subsidencia del terreno se calculó el desplazamiento vertical del terreno por medio de la técnica InSAR (DV1417) (figura c). Luego, se zonificó la Ciudad de México considerando los lagos que componían el antiguo Lago de Texcoco, así la Ciudad de México quedó dividida en 4 zonas (figura c): Zona A (Nororiente de la Ciudad de México), Zona B (Lago de Texcoco) y Zona C (Lago de Xochimilco).



CONCLUSIONES

- La información disponible permitió generar 4 zonas de estudio: Zona A, Nororiente de la Ciudad de México; Zona B, Lago de Texcoco; Zona C, Lago de Xochimilco; y Zona D, Lago de Chalco.
- Zona A y Zona B: se observa un comportamiento casi lineal. En ambos casos, hubo mejoría del modelo de regresión lineal simple cuando se exploraron propuestas de modelos de regresión lineal múltiple, siendo la Zona A la que mayor mejoría mostró. La Zona B, mostró menos mejoría y es probable que no sea necesario incluir más variables al modelo de regresión lineal.
- Zona C: muestra la mayor dispersión de los datos de todas las zonas y por ello, da poca información sobre el comportamiento de la subsidencia y su relación con el abatimiento del nivel estático. El uso de las variables de espesor de arcillas y gasto ayudó bastante para mejorar la correlación de los datos, ya que brindan mayor significancia estadística al modelo en comparación con la variable de abatimiento, por lo que para esta zona es muy importante considerarlas.
- El uso de modelos de regresión lineal múltiple para verificar si incluir más variables permite mejores resultados de regresión lineal arrojó mejores resultados en el caso de la zona C, pero no en la zona A y B, sobre todo en la zona B, donde ya existía una muy marcada relación lineal.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). El primer autor es becario CONACYT en el programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra en el Instituto de Geofísica de la UNAM.

Este trabajo fue realizado por el programa UNAM-PAPIIT TA 100523.

REFERENCIAS

- Arce, José Luis, Paul W Layer, José Luis Macías, Eric Morales-Casique, Armando García-Palomo, Fernando J Jiménez-Domínguez, Jeff Benowitz, and Alberto Vásquez-Serrano. 2019. "Geology and Stratigraphy of the Mexico Basin (Mexico City), Central Trans-Mexican Volcanic Belt." Journal of Maps 15 (2): 320–32.
- INEGI. 2021. Detección de Zonas de Subsidencia En México Con técnicas Satelitales Volumen 2. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

