



## III CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2017

Puebla, Pue., del 28 al 30 de noviembre de 2017

### NIVELACIÓN DE PRECISIÓN PARA DETERMINAR HUNDIMIENTOS EN LA ZONA DEL DISTRITO DE RIEGO 014, RÍO COLORADO, BAJA CALIFORNIA

**Braulio David Robles Rubio<sup>1\*</sup>; Ewa Glowacka<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Coordinación de Riego y Drenaje. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos.

<sup>2</sup>Centro De Investigación Científica Y De Educación Superior De Ensenada, Baja California. Carretera Ensenada-Tijuana No. 3918 Zona Playitas, Ensenada, B.C. 01 (646) 175-05-00.

[brobles@tlaloc.imta.mx](mailto:brobles@tlaloc.imta.mx). - (01) 777 329 3600 ext. 155 (\*Autor de correspondencia)

#### Resumen

El Canal Nuevo Delta es uno de los canales principales de la red mayor del Distrito de Riego 014, Baja California, por la cual se distribuye el agua para riego. Actualmente se observa que el canal presenta hundimientos a lo largo del tramo que va del km. 6+700 al 22+100, siendo la zona más crítica en el tramo comprendido del km. 8+900 al km. 17+030. La Comisión Nacional del Agua encargó al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE) un estudio para determinar con precisión las tasas de subsidencia del terreno en la zona agrícola del Valle de Mexicali al sur de los Ejidos Delta y Oaxaca, aledaños al Canal Nuevo Delta de manera de resolver los problemas en la operación y distribución del agua para riego. Para esto fue necesario determinar las condiciones físicas del hundimiento con datos históricos y con mediciones nuevas a manera de revisar el modelo conceptual existente de la fuente del hundimiento. Para obtener datos actuales fue necesario realizar la nivelación geodésica de primer orden clase II en una red de circuitos de bancos de nivel con el objeto de actualizar el modelo de subsidencia dentro de la zona. El IMTA, llevó a cabo tres nivelaciones para medir el desplazamiento vertical, uno antes del sismo de abril de 2010, otro inmediatamente después que permitió ver el desplazamiento por efecto del telúrico y otro más para medir la subsidencia en la zona. Se configuró una red de bancos de nivel distribuidos en 10 circuitos que cubren la zona de estudio. Para cada circuito se obtuvieron sus tolerancias de acuerdo a la longitud y se compararon con los errores de cierre en la nivelación, teniendo que para las 3 nivelaciones estuvieron por debajo de las tolerancias. Con la información obtenida el CICESE elaboró el mapa de subsidencia de la zona.

**Palabras clave adicionales:** operación de canales, subsidencia, desplazamiento vertical.



## Introducción

El Distrito de Riego 014, Río Colorado, Baja California, se encuentra localizado en las coordenadas geográficas: 32° 19' de latitud norte y 115° 11' de longitud oeste del meridiano de Greenwich, en la parte norte del estado de Baja California. Tiene una superficie total de 207,141 hectáreas y está dividido en 23 Módulos de riego. Cuenta con una red total de 2,900 km. de canales de los cuales 350 km. son principales, la red de drenaje comprende un total de 1,700 km. El Canal Nuevo Delta es uno de los canales principales de la red mayor del Distrito por la cual se distribuye el agua para riego, el canal Inicia su trazo desde el centro geográfico del Distrito y se prolonga hacia el sur-oeste del mismo con una longitud total de 37.020 Km., tiene una capacidad máxima de proyecto original de 24.7 metros cúbicos por segundo, dominando una superficie de riego de 32,270.00 ha., pertenecientes a los módulos de riego 10, 11 y 12. En la zona ubicada en las cercanías a la planta geotérmica de Cerro Prieto, actualmente se presentan hundimientos de más de dos metros en su parte más crítica, que han ocasionado fuertes problemas en la distribución de los volúmenes de riego, como en el desalojo del drenaje agrícola de la misma. Actualmente se observa que el Canal Nuevo Delta presenta hundimientos a lo largo del tramo del km. 6+700 al 22+100, siendo la zona más crítica en el tramo comprendido del km. 8+900 al km. 17+030.

Entre otras acciones la Comisión Nacional del Agua ha encargado a el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE), a través de su División de Ciencias de la Tierra, un estudio para determinar con precisión las tasas de subsidencia del terreno en la zona agrícola del Valle de Mexicali al sur de los Ejidos Delta y Oaxaca, aledaños al Canal Nuevo Delta de manera de resolver los problemas en la operación y distribución del agua para riego. Para esto necesita determinar las condiciones físicas del hundimiento con datos históricos y con mediciones nuevas de manera de revisar el modelo existente, conceptual, de la fuente del hundimiento. Parte importante del estudio para la obtención de datos actuales es realizar dos veces, en 2 años, la nivelación geodésica de primer orden clase II en una red de circuitos establecidos y otros que se incorporen dentro de la zona de hundimientos con el objeto de actualizar el modelo y modelar la subsidencia dentro de la zona.

En el monitoreo de los hundimientos se utiliza nivelación de precisión de primer orden Clase II ya que es una técnica muy exacta para medir desplazamientos verticales con precisión milimétrica en circuitos largos, sin embargo este tipo de nivelación requiere equipo adecuado para las precisiones requeridas, así como personal capacitado en la metodología requerida en este tipo de nivelación. El desarrollo de los equipos GPS, a través de la disponibilidad de más frecuencias para la recepción satelital y el desarrollo de la tecnología para la corrección de la posición a través de la triangulación entre 2 o más equipos ha mejorado la precisión en la coordenada z, lo que permite el uso de estos equipos en los trabajos topográficos, facilitando los levantamientos en campo con una precisión adecuada para diferentes aplicaciones, sin embargo la precisión de la coordenada z en los

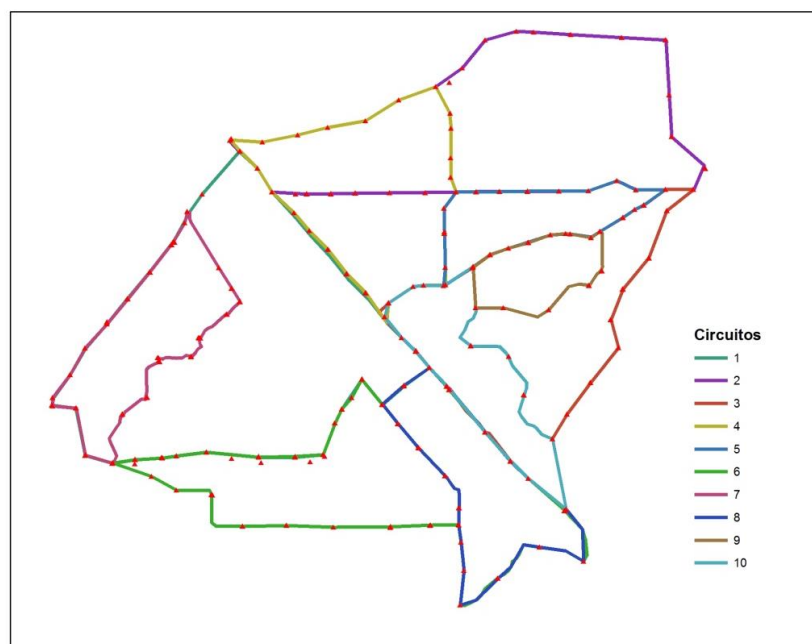
equipos GPS aún se encuentra a nivel de centímetros, por lo que hace poco viable su aplicación en nivelaciones de precisión milimétrica.

## Materiales y métodos

Para llevar a cabo la nivelación se definieron una serie de circuitos cerrados, ligados entre sí. Los circuitos se configuraron de acuerdo a registros de nivelaciones anteriores, tomando como referencia el plano con los bancos de nivel, los bancos existentes y sus relaciones espaciales para formar circuitos. Se definió un circuito principal y los siguientes se fueron ligando a través de bancos comunes, en resumen el procedimiento fue el siguiente:

1. Se definió el primer circuito a partir del banco de referencia LN00 definiendo su recorrido de manera que en la vuelta cerrara nuevamente en el banco de origen para la comprobación de la tolerancia en la precisión.
2. El siguiente circuito se define partiendo de un banco conocido del circuito anterior recorriendo los bancos del propio circuito hasta cerrar nuevamente en el banco inicial o en banco conocido del circuito anterior.
3. Lo anterior se repite para los siguientes circuitos siempre iniciando en un banco conocido del circuito anterior y cerrando en el banco inicial o en un banco conocido de manera de comprobar las tolerancias al cierre.

De esta manera se definieron diez circuitos de nivelación cerrados, en estos se corre la nivelación a partir del banco con cota conocida y se cierra en el mismo banco o de cota conocida para comprobar el cierre. Los circuitos definidos originalmente se muestran a continuación:



**Figura 1.** Circuitos de nivelación



Para determinar las tasas de hundimiento se llevó a cabo una nivelación con precisión de Primer Orden Clase II.

### *Nivelación de Primer Orden Clase II*

En el Diario Oficial de la Federación del 1 de abril de 1985 se publicaron las Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos, y sus reformas con fecha 27 de abril de 1998.

El capítulo XII sobre los Levantamientos Geodésicos Verticales define los procedimientos, operaciones y tolerancias para los levantamientos, así se transcribe de este documento:

XIII.2 Con propósitos de clasificación de los levantamientos geodésicos verticales, se establecen los siguientes órdenes y clases de exactitud, limitados a la nivelación diferencial y asociados con los valores de dicha exactitud que es posible obtener entre puntos ligados directamente, con un nivel de confianza de 95% y en tanto se observen las normas del caso; el indicador para cada orden y clase se da en función de la tolerancia para el error de cierre altimétrico de las nivelaciones desarrolladas en líneas o circuitos cerrados con secciones corridas ida y vuelta.

**Tabla 1.** Órdenes y clases de exactitud de levantamientos geodésicos.

Orden	Clase	Exactitud (mm)
Primero	I	$4\sqrt{K}$
Primero	II	$5\sqrt{K}$
Segundo	I	$6\sqrt{K}$
Segundo	II	$8\sqrt{K}$
Tercero	Unica	$12\sqrt{K}$

En estas expresiones K es la distancia de desarrollo de la nivelación en un solo sentido, entre puntos de elevación conocida, expresada en kilómetros.

XIII.8 Las líneas de nivelación estarán representadas físicamente por una serie de bancos de nivel establecidos a lo largo de vías de comunicación, en sitios en que el riesgo de pérdida o destrucción sean mínimos, con un espaciamiento variable entre uno y tres kilómetros y procurando, en el caso de primero y segundo orden, clase I, que el promedio sea de 1.5 km y que el espaciamiento no sea mayor a 2 kilómetros.



## Equipo utilizado

El equipo utilizado para la nivelación es el nivel digital Leica DNA 03, el cual es un nivel digital adecuado para este tipo de mediciones. La medición digital evita cualquier posibilidad de error de lectura en mira, además por su memoria interna, se evitan los errores de escritura y otros posibles errores de naturaleza humana. Consecuentemente, las medidas digitales son siempre más precisas y fiables que las medidas realizadas de forma óptica convencional. Junto a su nivel circular, este instrumento posee un compensador magnético el cual trae la línea de visión a una posición horizontal. La plataforma del equipo se encuentra cercana a los lentes, lo que le provee de protección debido a los cambios de temperatura. También posee una extremidad horizontal, la cual se encuentra en la parte inferior del instrumento. La graduación de la extremidad esta en intervalos de 1°. Los sensores CCD son altamente sensibles a la luz visible. El haz de luz que captan está dividido en dos partes: la parte visible y la parte de la medición electrónica, la cual utiliza un rango del espectro parcialmente ubicado en el rango visible. Las luces de halógeno permiten las lecturas en condiciones de poca luz.

El nivel DNA-03 presenta las siguientes características:

**Tabla 2.** Las características del nivel DNA-03.

Precisión	Desviación estándar en la altura por km.
<b>Mediciones electrónica</b>	
Con barras invar	0.3 mm
Con barras estándar	1.0 mm
Mediciones ópticas	2.0 mm
<b>Rango</b>	
Mediciones electrónicas	1.8 m – 110 m
Mediciones ópticas	Desde 0.6 m
<b>Medición electrónica</b>	
Resolución de la altura	0.01 mm
Tiempos para mediciones simples	3 segundos normalmente
Aumento del telescopio	24x
<b>Compensador</b>	
Tipo	De péndulo
Rango de pendientes	+/- 10'
Precisión del compensador	0.3"
<b>Condiciones ambientales</b>	
Temperatura de trabajo	-20° C a + 50° C
Temperatura de almacenaje	-40° a +70° C
Humedad	95% sin condensar



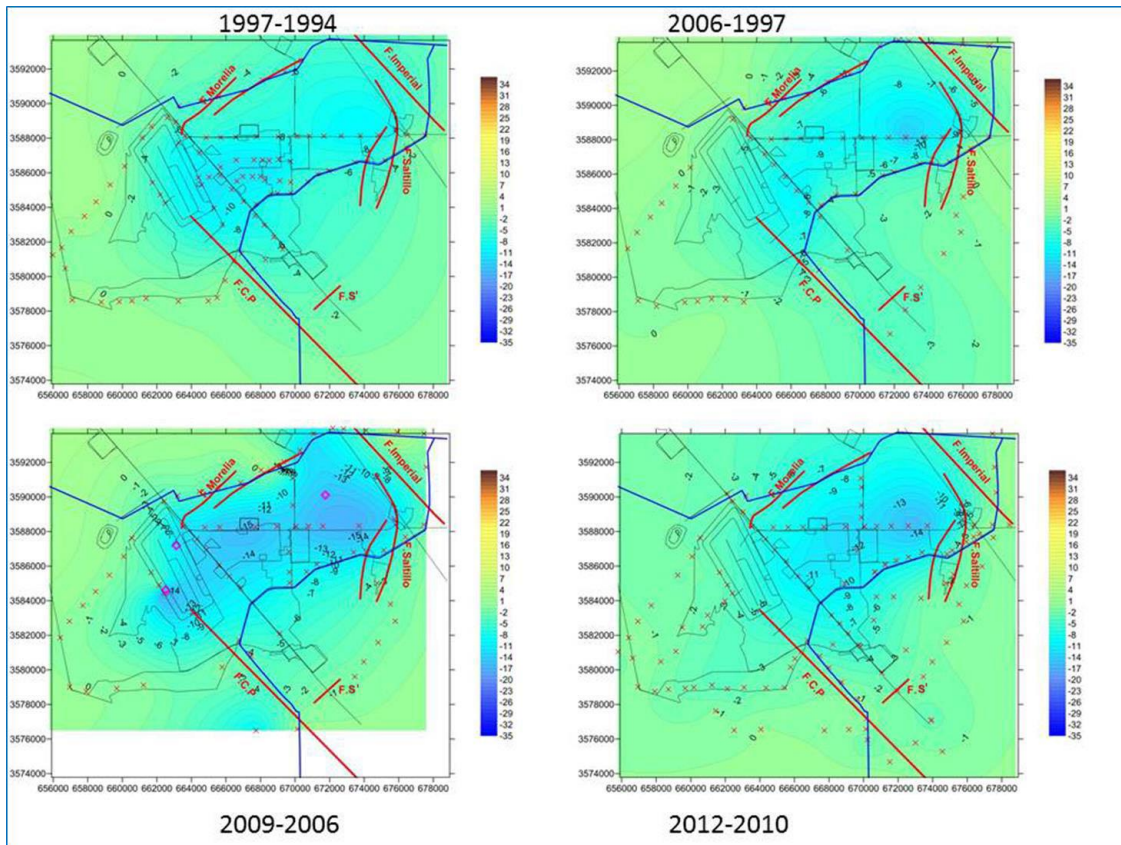
**Figura 2.** Nivel DNA-03

### **Análisis y discusión de resultados**

Se llevaron a cabo tres nivelación de primer orden clase II para medir el desplazamiento vertical, uno antes del sismo de abril de 2010, otro inmediatamente después que permitió ver el desplazamiento por efecto del sismo y otro más para medir la subsidencia en la zona.

Las nivelaciones se iniciaron a partir de una red de bancos de nivel construidas por diferentes dependencias como CFE, CICESE, CONAGUA, DETENAL que se habían venido monitoreando para medir la subsidencia y las deformaciones del terreno, sin embargo al arrancar se encontró con varios bancos perdidos que no pudieron ser agregados a los trabajos de nivelación, con lo que se perdió la continuidad de los trabajos anteriores. De lo anterior se configuró una red de bancos de nivel distribuidos en diez circuitos que cubren la zona de estudio, tomando en cuenta las recomendaciones de longitud de circuitos y separación entre bancos para este tipo de nivelaciones. El error de cierre para este tipo de nivelación es de  $5\sqrt{K}$ , siendo K la longitud del circuito en kilómetros. Para cada circuito se obtuvieron sus tolerancias y se compararon con los errores de cierre en la nivelación, teniendo que en todos los casos para las tres nivelaciones estuvieron muy debajo de las tolerancias.





**Figura 3.** Nivelaciones realizadas en la zona de estudio.

Los resultados de las nivelaciones se pueden ver en la figura anterior, observándose que la subsidencia se ha ido incrementando hacia la parte noreste de la zona de medición.

El sismo de 2010 dañó gran cantidad de bancos que se perdieron y no pudieron medirse en la segunda nivelación, sin embargo, con el objeto de conservar la configuración en los circuitos se reemplazaron los bancos perdidos o dañados construyendo bancos nuevos en las inmediaciones de la localización de los bancos. La segunda nivelación se llevó a cabo inmediatamente después del sismo en el periodo de mayo a julio de 2010, en este periodo y aun después de concluida la nivelación, había trabajos de reconstrucción de la infraestructura, tanto la hidroagrícola, como de caminos y carreteras, lo que hizo que después de la 2ª nivelación se perdieran varios bancos por los movimientos de construcción en canales, drenes y carreteras. Para la 3ª nivelación los bancos perdidos ya no se reconstruyeron porque esta parte no estaba considerada dentro de proyecto lo que afectó las mediciones ya que se perdió la continuidad en la comparación de las nivelaciones quedando zonas con huecos donde el hundimiento puede ser subestimado porque no se tienen datos.



## Conclusiones

En resumen, durante las tres nivelaciones se construyeron un total de 77 bancos de nivel, 46 en la primera nivelación y 31 en la segunda. Para la tercera nivelación se perdieron 25 bancos que ya no pudieron medirse, lo que afecta el monitoreo de la subsidencia, dejando huecos en algunas zonas y perdiéndose la continuidad del trabajo. Aun cuando la nivelación cumpla con los requisitos de precisión, el no contar con una red de bancos de nivel de manera continua y con las especificaciones adecuadas para este tipo de nivelación, genera incertidumbre en los resultados.

Por lo anterior se recomienda trabajar en la conformación de una red de nivelación confiable de manera continua, para lo cual es necesario revisar y re diseñar los circuitos, seleccionar sitios de construcción de los bancos donde no les afecte los trabajos de mantenimiento de las diferentes dependencias que tienen infraestructura en la zona, de preferencia bancos construidos en el suelo, que no sean afectados por el vandalismo. En la zona existen diferentes dependencias como la CFE, CONAGUA, UABC, CICESE entre otras que realizan el monitoreo continuo de la elevación del terreno con diferentes fines, se recomienda una coordinación entre todas las dependencias para compartir información de los bancos y los resultados de sus monitoreos, de esta manera se sumarán esfuerzos que redundarán en el beneficio de comprender mejor el comportamiento del terreno en la zona y planear mejor las actividades inherentes a la operación cotidiana de las dependencias.

## Referencias Bibliográficas

- Glowacka, E., O. Sarychikhina, F. Suárez, R. Mendoza, and F. A. Nava, 2006, Estudio geológico para definir la zona de hundimiento con el fin de relocalización del canal Nuevo Delta en el Valle de Mexicali. Reporte Técnico. CICESE. México, 505 pp.
- Glowacka, E., O. Sarychikhina, B. Robles, F. Suarez Vidal, J. Ramírez Hernández, and F. A. Nava, 2012, Estudio geológico para definir la línea de hundimiento cero y monitorear la subsidencia de los módulos 10, 11 y 12 en el Valle de Mexicali, en el distrito de riego 014, Reporte Final, Rio Colorado, B.C.