

# Efecto de las fluctuaciones del nivel de Aguas Freáticas en las Cimentaciones de las obras de Ingeniería Civil



## Colaboración

Laura Inés Mendoza González; Sergio Aurelio Zamora Castro; Rolando Salgado Estrada, Universidad Veracruzana

**RESUMEN:** Los sistemas de cimentación es el soporte de las obras de Ingeniería Civil, base primordial del desarrollo de las ciudades. Si la cimentación falla se pone en riesgo vidas humanas y la infraestructura en general. El objetivo del presente trabajo es presentar los resultados del monitoreo de las fluctuaciones del Nivel de Aguas Freáticas (NAF) en los periodos de los meses de octubre del 2014 a diciembre del 2017 y como estas fluctuaciones afectan la cimentación. Se realiza un análisis estadístico y grafico de los cambios del NAF así como correlaciones. Con los resultados obtenidos nos muestra que el NAF es un sistema heterogéneo, dinámico e impredecible y se pueden recomendar sistemas de cimentación adecuados a la presencia del nivel de aguas freáticas sin que la estabilidad de la estructura este en riesgo.

**PALABRAS CLAVE:** Fluctuaciones, cimentaciones, correlaciones, Nivel de aguas freáticas (NAF).

**ABSTRACT:** The objective of this paper is to present the results of the monitoring of the fluctuations of the NAF and the periods of the months from October 2014 to May 2015, in order to acquire more knowledge about the changes. In this way, reach the proposal of depths of optimal conditions in the area of the Port of Veracruz.

**KEYWORDS:** Fluctuations, foundations, correlations, groundwater level.

## INTRODUCCIÓN

En la zona metropolitana del Puerto de Veracruz proliferan los suelos eólicos producto de las corrientes de aire llamados "nortes" (condición meteorológica de escala temporal corta de 2 a 3 días) que se registran en la zona. Estos suelos son depositados y se forman dunas de arena [1]. Actualmente la zona urbana del puerto, en su mayor parte está cimentada en esos suelos [2]. El desarrollo turístico del puerto hacia la zona de Boca del Río se observan hoteles y edificios residenciales de más de 20 niveles, donde el sistema de cimentación que se

implanta son pilotes y pilas hasta profundidades de 20 m, hasta llegar a estratos firmes, en este caso arenas densas o la capa de roca sedimentaria orgánica tipo coral. La ciudad en los últimos años ha registrado un crecimiento fuerte, por lo que se han construido las viviendas sobre los depósitos eólicos, de compacidad suelta. Estas viviendas constantemente en riesgos por los eventos sísmicos registrados últimamente, propensos a los fenómenos de licuefacciones o sifonamientos [3]. De ahí viene la importancia, de crear conciencia a los estudiantes de Ingeniería Civil sobre los métodos y técnicas para trabajar los materiales productos de los depósitos del viento [4, 5]. En este trabajo se presenta paso a paso como se realiza el monitoreo del nivel de aguas freáticas (NAF), en un pozo de control efectuado en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Veracruzana, campus Veracruz (FIUV). Esta nos da una idea, de que cuando se tiene la limitación económica de aparatos sofisticados se puede utilizar el ingenio y creatividad de los estudiantes para realizar actividades de investigación y en este caso monitorear el NAF. La importancia de este monitoreo data en que en épocas de lluvia el NAF se encuentra a escasos 1.0 m y en época de estiaje hasta 2.50 m, estas fluctuaciones tan contrastantes nos viene a recomendar sistemas de cimentación superficiales, salvo que las cargas estructurales son de poca magnitud.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la zona metropolitana del Puerto de Veracruz no se tiene una base de datos de las medidas del NAF tanto en época de lluvia como de estiaje. En consecuencia, no se tiene una correcta selección de cimentación para las condiciones de presencia del NAF donde se presentan fluctuaciones que pueden provocar asentamientos originando fallas estructurales. También es muy común observar los problemas en el suelo tales como agrietamientos, socavaciones y sifonamientos. Por eso, la información obtenida de los cambios del NAF nos permitirá ampliar los criterios y propuestas de cimentación a los Ingenieros Civiles, y servirá de apoyo al diseño de cimentaciones. Para el Ingeniero Civil es difícil conocer los niveles de NAF que se encuentra bajo el suelo. El agua es un elemento que influye mucho en las características del suelo y para ello se requiere realizar de un estudio constante de sus niveles en todo el año. Teniendo en cuenta esto, contaremos con datos estadísticos que nos permitirá saber los niveles de NAF en cada época del año y así nos facilitará el trabajo de poder lograr los objetivos planteados.

El sitio experimental se ubicó en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería, Universidad Veracruzana, campus Veracruz (Figura 1), en el Municipio de Boca del río Veracruz, Ver. Donde se observa la zona urbana alrededor del sitio experimental.



Figura 1. Ubicación del sitio Experimental, en la zona conurbana de del Puerto de Veracruz en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Universidad Veracruzana.

### 3.1 Preparación del sitio Experimental

Se excavo un pozo de monitoreo hasta una profundidad de 3.5 m, donde se tenía visible el espejo de agua freática (Foto 1). Posteriormente, se instrumentó el sitio para realizar las mediciones (Foto 2). Se monitoreo todos los días a las 12:00 pm partiendo del 1 de octubre del 2014 al 31 de diciembre del 2017.



Foto 1. Excavación del pozo de monitoreo del NAF.



Foto 2. Instrumentación al pozo de monitoreo.

## RESULTADOS

Las mediciones obtenidas a lo largo el monitoreo (desde octubre 2014 a diciembre del 2017) se esta-



blecieron mediante una serie de datos donde se realizaron tablas con sus debidas fechas y niveles a donde se encuentra el NAF. De la información obtenida se llevaron a cabo gráficas con diferentes modelos matemáticos, usando el software de Microsoft Excel donde se plasmaron los comportamientos de los niveles de las fluctuaciones en forma gráfica obteniendo líneas de correlación en distintos modelos matemáticos (Lineal, Exponencial, Logarítmico y Polinomial). A manera de ejemplo, en la Figura 2 se muestra las fluctuaciones que se tuvieron en el mes de enero del 2015, donde se observa un incremento del NAF en el tiempo, los datos se correlacionaron en un modelo de tipo exponencial obteniendo una R2 de 0.86.

de suelos eólicos (zona metropolitana del Puerto de Veracruz).



Figura 2. Fluctuación del mes de enero del 2015.

De todos los datos medidos, se tiene una medición mínima de 1.10 m y una máxima de 2.30 m, teniendo como promedio general de 1.90 metros. En este caso los datos tienen un modelo lineal una R2 de 0.86, para una correlación exponencial de R2 0.82. En el caso del comportamiento logarítmico de 0.86 y finalmente una R2 de 0.9605 en un modelo polinomial. Los datos de ajuste nos relacionan lo complejo del comportamiento de los niveles del NAF.

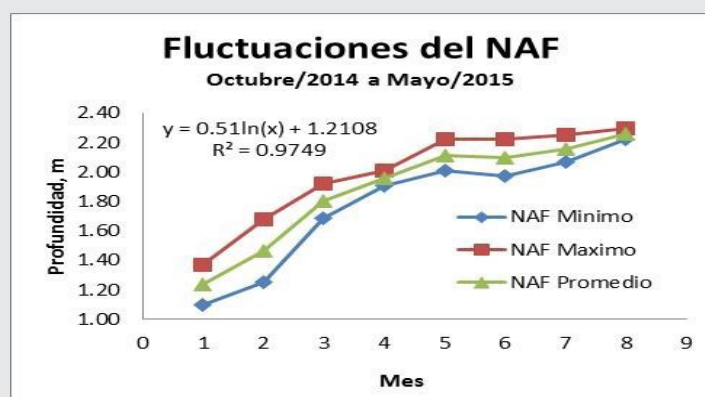


Figura 3. Fluctuaciones del NAF del mes de octubre del 2014 a mayo del 2015.

Los meses de octubre, noviembre y diciembre están muy cercanos a la época de lluvia, teniendo el NAF más superficial de 1.24 m, conforme el paso del tiempo se incrementó la profundidad del NAF hasta 2.26 m en el mes de Mayo (Tabla 1). Las fluctuaciones promedio, máximas y mínimas se observan en la Figura 3. La línea promedio del NAF se ajusta a un modelo logarítmico con una R2 de 0.97. En la Figura 4 se observan las fluctuaciones de los días monitoreados, donde se tiene incrementos conformen se acercan a la época de lluvia.

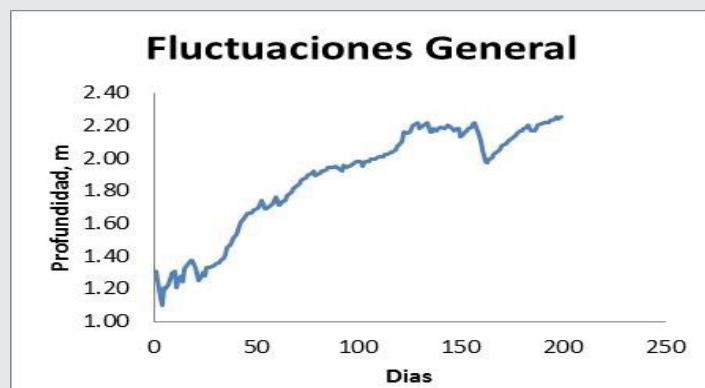


Figura 4. Fluctuación general de los días monitoreados.

Tabla 1. Niveles del NAF en los meses de octubre del 2014 a mayo del 2015.

Mes	Niveles (m)		Promedio
	Mínimo	Máximo	
Octubre	1.10	1.37	1.24
Noviembre	1.25	1.68	1.47
Diciembre	1.69	1.92	1.81
Enero	1.91	2.01	1.96
Febrero	2.01	2.22	2.12
Marzo	1.97	2.22	2.10
Abril	2.07	2.25	2.16
Mayo	2.22	2.30	2.26

Con la información obtenida, se tiene un promedio del NAF de los meses monitoreados de octubre del 2014 a mayo del 2015 de 1.90 m, por lo que conlleva, a recomendaciones constructivas de profundidad de desplante para cimentación en la zona de formación

Deben contener una información precisa de los datos obtenidos, los resultados principales del estudio o análisis. Los cuadros, diagramas, gráficos son auto explicativos, éstos deben estar referidos en el texto, numerados en arábigos y en orden correlativo.

**Análisis todos los datos obtenidos 2014-2017.**  
En la Figura 5 se muestran los resultados obtenidos de las fluctuaciones del 2014 a 2017 donde se observa que es totalmente impredecible el NAF, como se

puede observar en la gráfica correspondiente y en las diversas correlaciones que se muestran: logarítmica  $R^2$  de 0.01, exponencial de  $R^2$  de 01, y polinomial de  $R^2$  de 0.07 siendo estos valores muy bajos de correlación. De los datos estadísticos se tiene un valor máximo de 3.33 m y mínimo de 1.11 m, un promedio de 2.20 m y una desviación estándar de 0.41.

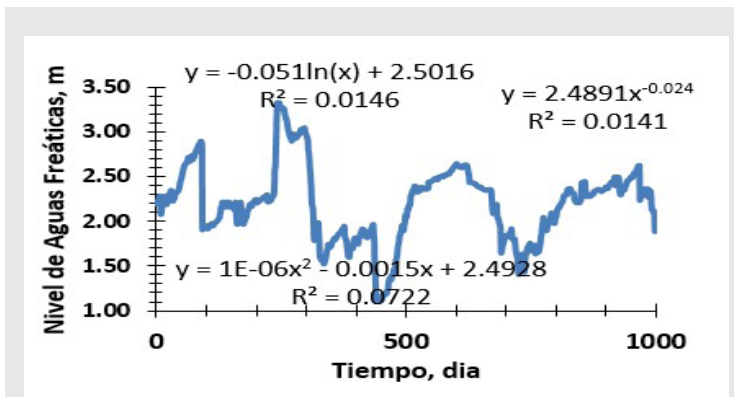


Figura 5. Fluctuación general del 2014-2017.

## CONCLUSIONES

Con la investigación realizada se presenta una base de datos de los meses de octubre del año 2014 a diciembre del 2017, gracias a ello tenemos una serie de datos que nos representará un valor promedio del nivel del NAF para esos meses, si en algún futuro se requiera información del análisis de las fluctuaciones. Debido al corto tiempo no se realizó el estudio para un año, pero la idea es que se establezca un monitoreo constante hasta aproximadamente 10 años.

En base a esto podemos establecer una base de datos que nos indicará como varía el nivel de NAF en diferentes meses y épocas del año. Podemos deducir con los resultados arrojados por este estudio, cuáles son los meses donde hay un ascenso y descenso del NAF, con el objetivo de establecer una profundidad de desplante recomendada para una cimentación, puesto que no se sabe de un estudio donde se tenga la información acerca de a que profundidad puede encontrarse las fluctuaciones y así evitar futuros problemas con asentamientos, hundimientos o sifonamientos.

Cabe recalcar que los datos obtenidos del todo el monitoreo son valores aproximados puesto que no siempre los niveles no se comportarán de la misma manera cada mes, siempre habrá algunas variedades debido al comportamiento climatológicas del sitio.

El objetivo a futuro es obtener una base de datos de 10 años y que muestre con más certeza los niveles de las fluctuaciones de la zona metropolitana Boca del Río-Veracruz, cierto es que el estudio se realizó en un punto fijo que servirá solo los mismos tipos de suelos que hay en toda la zona.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Arregin Cortes F. (2011). *El Agua Subterránea en México. Simposio. Las Ciencias de la Tierra en el estudio del Agua Subterránea. CONAGUA. SEMARMAT*
- [2] Berli M., F. Casini, W. Attinger, R. Schulin, S.M. Springman, and J.M. Kirby (2015). "Compressibility of Undisturbed Silt Loam Soil—Measurements and Simulations" *Vadose Zone Journal*, August 2015, v. 14, , doi:10.2136/vzj2014.10.0153.
- [3] Masís-Meléndez, F., Wollesen de Jonge, Chamindu Deepagoda, Tuller M, and Per Moldrup (2015). *Effects of Soil Bulk Density on Gas Transport Parameters and Pore-Network Properties across a Sandy Field Site. Vadose Zone Journal*, July 2015, v. 14, , doi:10.2136/vzj2014.09.0128
- [4] Roberts A. T.; Powrie, W. y Dyer, M., CIRIA, (2000). *Groundwater Control*, Edit. Preene.
- [5] Zhang, Z. Fred (2015), *Field Soil Water Retention of the Prototype Hanford Barrier and Its Variability with Space and Time. Vadose Zone Journal*, August 2015, v. 14, , doi:10.2136/vzj2015.01.0011