



Patologías estructurales asociadas al ascenso de la napa freática en el sureste de la provincia de Córdoba

J. A. Capdevila

jcdevila@unc.edu.ar

Dpto. Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba (UNC), Ciudad Universitaria. Av. Vélez Sarsfield 1611. (5016) Córdoba, Argentina

F. M. Francisca

franco.francisca@unc.edu.ar

Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT), Universidad Nacional de Córdoba (UNC) y CONICET, Ciudad Universitaria. Av. Vélez Sarsfield 1611. (5016) Córdoba, Argentina

E. S. Zanni

eszanni@yahoo.com

Dpto. Tecnología, Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Av. Vélez Sarsfield 264. (5000) Córdoba, Argentina

RESUMEN: El uso del suelo en la Región Pampeana, en el centro de Argentina, ha sufrido importantes cambios en los últimos 40 años. En general se observa una disminución del bosque nativo y consecuente aumento en la superficie destinada a uso agrícola, con un importante desarrollo de las prácticas de siembra directa, lo que origina una disminución en las pérdidas de agua por evapotranspiración. Esta situación promueve una tendencia creciente en los valores de los excedentes hídricos. Los balances hidrológicos permiten comprobar que el almacenamiento de tales excedentes en estos sistemas de llanura produce un importante aumento de los niveles freáticos. Por ello, la napa freática ha registrado un ascenso de entre 10m y 12m en una vasta región de la zona sur y centro de la provincia de Córdoba, aflorando superficialmente en varias zonas dentro de esta área. Los suelos loésicos, que cubren gran parte de la Región Pampeana, presentan un comportamiento de tipo colapsable por humedecimiento y/o bajo incremento de carga. Este ascenso de la napa freática afecta a varias ciudades y pueblos, con edificios de valor patrimonial que han sufrido asentamientos y daños importantes. En este trabajo se realiza una descripción del problema, se discuten las posibles consecuencias de ascenso de la napa en las construcciones y se describen las patologías encontradas sobre algunos edificios de valor patrimonial. Finalmente se presentan casos históricos donde se analizan y discuten distintas alternativas de solución.

Palabras clave: LIMOS LOÉSICOS – NAPA FREÁTICA – SUELO COLAPSABLE

ABSTRACT: Land use in the Pampean region, at center of Argentina, has undergone significant changes over the past 40 years. In general, an increase in the area used for agricultural purposes is observed, with an important development of direct seeding practices. These practices cause a decrease in water losses by evapotranspiration. This situation promotes a growing trend in the values of water surpluses. Hydrological balances confirm that the storage of such surpluses in these flat systems, produce a significant increase in groundwater levels. Therefore, the water table has raised over 10m to 12m in a vast region of the south and center of Cordoba Province, emerging superficially in several zones within this area. Loessical soils cover a great part of this region and generally present a collapsible behavior associated to the increase of moisture content and dead loads. This raise of the groundwater table affects several towns and cities, damaging several heritage buildings under settlement processes. This paper presents a description of the problem and a discussion of the possible consequences on buildings of the raise of water table. Besides, there is a description of major pathologies found on some heritage buildings. Finally, historical cases showing different proposed solutions were analyzed and discussed.

KEY WORDS: LOESSIAN SILT – WATER TABLE – COLLAPSIBLE SOIL

1 INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas se produjo un ascenso en el nivel freático en una amplia región del centro del país. En particular, la región centro-sudeste de Córdoba está afectada por este fenómeno que ocupa una superficie de, aproximadamente, un millón y medio de hectáreas [1].

Esta región se caracteriza por una gran planicie de relieve normal con numerosas áreas relativamente pequeñas de relieve subnormal – cóncavo llamadas charcas o lagunas temporarias en un drenaje regional impedido, debido a la presencia de depresiones lineales de orientación sudoeste-noreste.

El esquema de la Fig. 1, simplifica y representa el funcionamiento hídrico de este tipo de configuración de drenaje. Los humedales (charcas) funcionan como receptores del escurrimiento superficial y cumplen una importante función en el ciclo hidrológico, que consiste en regular la escorrentía a nivel regional, al funcionar como retardadoras del mismo, capturar agua dulce para recarga local de la freática (importante para épocas de sequía y para desalinizar el perfil del suelo). De esta manera se logra además aumentar el área de evaporación de agua libre en caso de balances de agua con excedentes hídricos, favoreciendo la descarga de la napa freática. En otras palabras, estos humedales brindan un servicio de protección contra inundación en periodos húmedos y de provisión de agua en periodos secos. Por otra parte, en áreas de relieve subnormales la evapotranspiración real se iguala a la potencial por el aporte capilar de las napas manteniendo el conjunto un equilibrio sobre la profundidad del nivel freático y el escurrimiento a nivel regional [2]. Cuando estos humedales se colmatan con sedimentos por efecto de la erosión hídrica (y pierden capacidad de embalse) o bien se los interconecta con canales sin estructuras de control de caudales, desaparece la función reguladora, se desequilibran los flujos de carga y descarga y todo el sistema se vuelve más vulnerable ante precipitaciones extremas.

El análisis de las causas que dan origen al incremento del nivel de la napa freática debe considerar el balance hídrico de la cuenca como así también, el sistema de eliminación de efluentes cloacales, que puede resultar otra fuente de alimentación de las napas, sobre todo en áreas urbanas.

De acuerdo a registros pluviométricos de la zona afectada, no hubo en las lluvias una tendencia creciente constante, si bien hubo años con precipitaciones medias mayores a las habituales, es probable que el ascenso freático se deba al otro componente básico del balance de agua en la napa que es la evapotranspiración real.

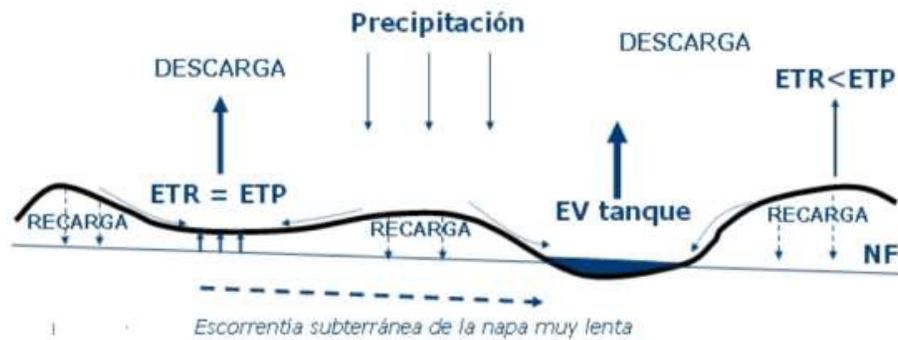


Figura 1. Esquema de funcionamiento hídrico en los sistemas de drenaje tipo araña

Otra posible causa que podría haber favorecido la recarga del sistema hídrico es la pérdida de la capacidad reguladora de las lagunas temporarias (por colmatación y/o canalizaciones) aumentando el escurrimiento superficial y subterráneo, concentrando más agua en menos superficie.

Cisneros et. al. [2] determinaron mediante modelos que por cada milímetro de lluvia que llega a la freática, la misma asciende entre 4 y 6 mm. La misma relación, pero de descenso, ocurre cuando el balance hídrico es negativo. Estos autores consideran que durante los últimos 30 años las freáticas en la región ascendieron entre 8m y 10 m, llegando en algunas zonas a los 12 m de ascenso, lo significa que las napas recibieron en el orden de 2000 a 2500 mm de infiltración neta en el período, con un promedio de entre 60mm y 80 mm por año de recarga neta, y en años muy húmedos esa recarga pudo haber sido mayor. Algunas mediciones, de la profundidad del nivel freático, realizadas en la zona validan esta conclusión. Tal es el caso de la localidad de Laborde, con una profundidad de la napa freática de 9.50m en el año 1975 y de 1.50m en el año 2016, situaciones análogas se presentan en las localidades de Pozo del Molle, Las Perdices, Etruria, Monte Maíz, Wenceslao Escalante, Corral de Bustos, Morrison, etc.

La mayor recarga de las napas está asociada a los cambios en el uso del suelo operados a partir de la década del 70 y las prácticas de manejo de suelo. En este sentido, el cambio de uso de suelo debido a la mayor superficie utilizada para agricultura y las prácticas de siembra directa, ahorran pérdidas de agua por evaporación, contribuyendo a balances hídricos positivos aún con iguales valores en los registros pluviométricos [3].

Al respecto, diversos autores analizan registros pluviométricos en la región y concluyen que hay una tendencia creciente en los valores de excedentes hídricos en los balances, incrementándose a partir de los '70 la frecuencia de años con excesos, mientras que los balances hidrológicos permiten comprobar que el almacenamiento de tales excedentes en estos sistemas de llanura se traducen en un importante aumento de los niveles freáticos [4].

El fenómeno de inundación-anegamiento debido a la elevación de los niveles freáticos en la región se debe explicar por un aumento de los excedentes hídricos con un balance hidrológico positivo, estableciendo como causa probable el cambio de uso del suelo y prácticas de manejo, que determinaron una menor evapotranspiración anual y el aumento de presión de recarga local debido a menores tiempos de concentración del escurrimiento superficial por pérdida de la capacidad reguladora de los humedales, potenciado por el exceso de precipitaciones en determinados períodos [1].

Esta región está ocupada, en su estratigrafía, por suelos de tipo limos loésicos potencialmente colapsables por humedecimiento bajo carga. Al mismo tiempo el aumento de humedad no solo produce el colapso del suelo sino también una disminución de la rigidez del mismo. En este sentido, un aumento en el contenido de humedad en estos suelos resulta nocivo cuando sirven de soporte a estructuras y edificaciones. La influencia del ascenso y descenso del nivel freático en los asentamientos inducidos en este tipo de suelos fue estudiado por Blundo et al. [5] para la localidad de Marcos Juárez, provincia de Córdoba, en el año 1997.

Este trabajo tiene como objetivo el estudio de la influencia del ascenso de la napa freática en las patologías estructurales observadas en edificios con fundaciones superficiales apoyadas en limos loésicos. Para ello se describen dos casos testigos, en donde se vieron afectados edificios de valor patrimonial, analizando las alternativas de solución.

2 EL LOESS Y LAS POSIBLES CONSECUENCIAS DEL COLAPSO

Los limos loésicos del centro de la Argentina presentan características granulométricas particulares, estando formados por una fracción del tamaño de las arenas y una fracción importante del tamaño de limos, arcillas y carbonatos de calcio. En general estos suelos presentan una baja plasticidad y potencias o espesores de estrato que varían regionalmente. En el sector en estudio es muy común que a profundidades variables entre los 8 y 12 metros aparezcan estratos de limos con presencia de nódulos aislados, con menor conductividad hidráulica que los limos superiores, por lo que el agua que se infiltra en el terreno tiende a acumularse por encima de este estrato. Regionalmente se observa una escasa pendiente en el terreno, característica de los depósitos eólicos, que da origen a la presencia de depresiones y humedales como los mostrados en la Fig. 1. Sobre estos sedimentos, y condicionado por la presencia de los humedales, se desarrolla la red de drenaje superficial con una pendiente general este-oeste y noroeste-sureste. En el caso del flujo subterráneo, la dirección de escurrimiento predominante es noroeste-sureste.

Los suelos limosos de origen loésico presentan una estructura macroporosa y sufren grandes variaciones de volumen, denominadas colapso, cuando se incrementa el contenido de humedad o el estado tensional. Diversos autores han recopilado las principales características físicas, químicas y mecánicas de estos suelos en estudios realizados en las últimas 4 décadas [6 a 8]. En general, se puede aseverar que el comportamiento tenso-deformacional del loess argentino es altamente dependiente del contenido de humedad del suelo, observándose una importante caída del módulo elástico cuando se produce la saturación completa del mismo [9]. Este comportamiento puede atribuirse a que al aumentar el contenido de humedad del suelo la hidratación de los puentes de arcilla y las sales precipitadas en los contactos entre partículas de mayor tamaño producen el colapso de la estructura y ablandamiento del esqueleto del suelo. Como consecuencia, esta debilitación de los contactos entre partículas se manifiesta, a macro escala, con un incremento en las deformaciones verticales del suelo (aún bajo carga constante) [9].

Frente a este panorama, las construcciones civiles y obras de arquitectura apoyadas o cimentadas sobre estos suelos sufren importantes daños. La magnitud de los daños aumenta con el nivel de las cargas transmitidas al terreno y con la tipología estructural de la construcción. En este aspecto, los mayores daños suelen observarse en construcciones de grandes luces, con importantes cargas concentradas, y en edificaciones históricas, muchas de ellas de valor patrimonial por la edad y el tipo de construcción.

3 PRINCIPALES MANIFESTACIONES DE DAÑOS PATOLÓGICOS EN EDIFICIOS

El ascenso de napas freáticas y la consecuente saturación de suelos de características colapsables, determinan la ocurrencia de asentamientos diferenciales o totales (uniformes), originados ambos por la disminución brusca de la capacidad soporte del suelo de apoyo.

Los síntomas más habituales a través de los cuales se manifiestan este tipo de fenómenos, son los siguientes:

- Aparición de grietas parabólicas cuyo centro de radio tiende a coincidir con el foco de asentamiento. Son causadas por esfuerzos de tracción diagonal en las mamposterías de ladrillos comunes, que suelen desprender en primer lugar la interfaz ladrillo-mortero (punto más débil del conjunto), y luego fracturar el propio ladrillo y el mortero de asiento.

- Deformación de solados, que en sus hiladas de borde, habitualmente acompañan el descenso de los muros adyacentes.
- Desescuadramiento de vanos, lo que dificulta y/o impide el correcto accionamiento (apertura y cierre) de puertas y ventanas. En casos extremos, las solicitaciones inducen pandeo en paños vidriados, determinando su rotura.
- El descenso diferencial de muros, produce tracciones sobre las losas o planos superiores, que tienden a desprenderse de su apoyo más lejano, dando lugar a lo que en la jerga se denomina “grietas de tironeo”. Éstas suelen ser horizontales, en la unión de techos y muros, o en la junta horizontal más próxima al techo, ya que generalmente la tensión de adherencia en la interfaz mortero-ladrillo, es menor que en la interfaz ladrillo hormigón de losa.
- La fragmentación de muros puede ir también acompañada de desplazamientos transversales al eje axial del paramento, por corrimiento relativo de los distintos paños entre sí.

4 CASOS HISTÓRICOS

A continuación se describen brevemente las lesiones encontradas en dos edificios de valor patrimonial, que sufrieron daños por asentamientos originados en el ascenso de la napa freática, como así también la propuesta de recalce para cada uno de ellos. En primera instancia se detallan algunos condicionantes que se deben considerar al momento de proponer un proyecto de recalce en un edificio con valor patrimonial.

4.1 *Condicionantes de diseño de recalce*

Los edificios de valor patrimonial presentan en general, algunas particularidades que condicionan el proyecto de intervención, acotando el campo de alternativas disponibles para su recalce estructural.

En primer lugar, necesariamente deben minimizarse las roturas, de modo de conservar los solados existentes, cuando se trata de pisos originales del edificio, y por ende, de valor patrimonial. De igual modo, tratándose de edificios en general muy pesados, (e.g. cada pilar esquinero de una torre de campanario puede fácilmente transmitir a su apoyo una carga del orden de 30 tn). Esto hace que sea inadmisibles realizar excavaciones manuales para efectuar recalces por ensanche superficiales, ya que para una tensión admisible de un limo loésico saturado, estimada en 200 gr/cm^2 , sería necesaria una superficie de contacto no inferior a los 15m^2 , para garantizar la transferencia de la carga al suelo de apoyo.

Atento a la altura que han alcanzado las napas (superficiales en algunos pueblos, al punto de aflorar por las juntas del pavimento), resulta asimismo imposible recalzar las estructuras mediante pilotes excavados manualmente, lo que restringe el universo de opciones a los pilotes hincados o a la utilización de lodos bentoníticos para viabilizar la excavación. El problema consiste en que este último sistema implica disponer de lugar para recoger el residuo de dichos lodos cuando son desalojados durante el proceso de hormigonado, como así también de piletones para su sedimentación y posterior reutilización. Finalmente, la excavación mecánica en interiores, tiene el limitante de la altura para montar y sacar alternativamente los helicoides (gusanos) de excavación.

Respecto de la hinca de pilotes, tratándose de áreas urbanas, sólo la técnica de micropilotaje permite su utilización, ya que garantiza la inexistencia de vibraciones que pudieran afectar tanto el propio edificio a intervenir, como otras edificaciones vecinas.

4.2 *Caso 1 – Parroquia Inmaculada Concepción de María (Pozo del Molle, Córdoba)*

4.2.1 *Descripción general del edificio*

El edificio en estudio es un templo de tres naves, con un hall de ingreso de mampostería y coro en el sector delantero. La superficie cubierta total, incluyendo el coro, es de 560 m², sin incluir la casa parroquial anexa (ver Fig. 2).

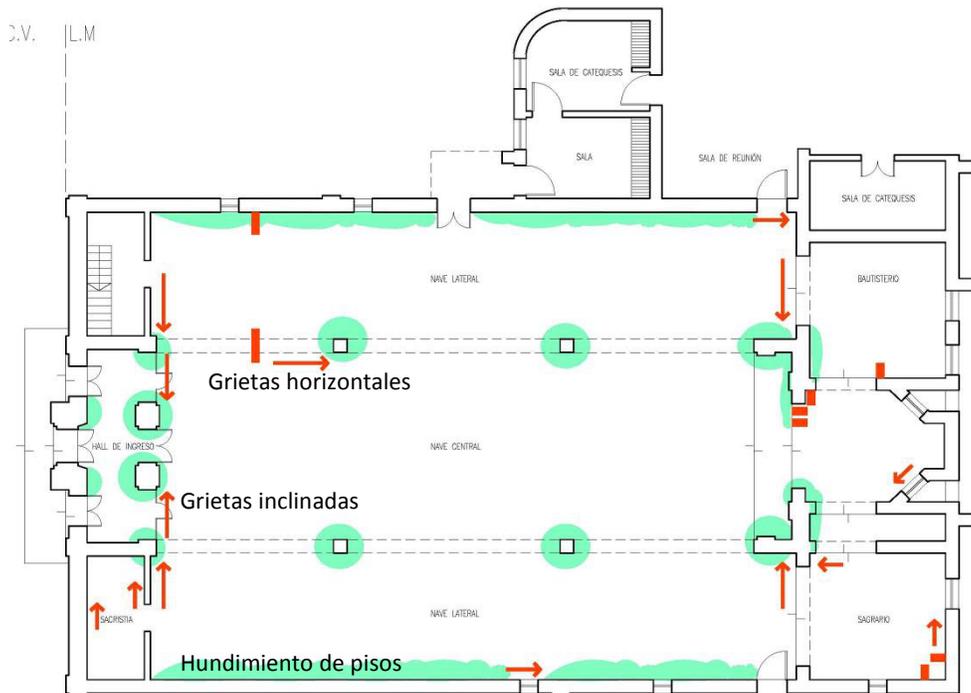


Figura 2. Planta de la parroquia Inmaculada Concepción de María (Pozo del Molle) en donde se destacan las partes del templo y las patologías encontradas

El edificio analizado posee una estructura mixta conformada por:

- Muros portantes de ladrillo macizo cerámico sobre los dos laterales, fachada y contrafachada. Las cargas actuantes en muros varían entre 3.5 y 7.5 tn/m, mientras que los pilares del campanario reciben cargas de 27 tn aproximadamente.
- Estructura independiente compuesta por 4 columnas centrales de 45 x 45 cm, que dividen la nave principal de las laterales. Las columnas centrales reciben carga de los arcos de 7 m de luz libre, que soportan el peso de los techos de madera con cubierta de chapa que cubren tanto la nave principal (8.20 m de luz), como las laterales (4.20 m de luz). La carga actuante sobre cada columna se estima en 22 tn.

El sistema de sustentación del edificio consiste en empatamientos con ensanches sucesivos de la propia mampostería de fundación, para los muros de mampostería, con un ancho de apoyo probable de 60 cm. La tensión solicitante al suelo de fundación se estima en 0.770 kg/cm², valor muy elevado en comparación con la capacidad soporte del suelo saturado (en condición de saturación parcial con baja humedad, la construcción no sufrió daños durante varias décadas).

Las columnas centrales, están apoyadas en bases aisladas de hormigón armado de 1.20m de lado, sobre el mismo estrato de fundación que los muros perimetrales. La presión de contacto de las bases con el suelo de apoyo es de 1 a 1.5 kg/cm². La cota de fundación en ambos elementos soporte es de 1.00m de profundidad y el nivel freático en la actualidad se encuentra a una profundidad de 0.80m

4.2.2 Descripción de las patologías encontradas

La principal consecuencia de la saturación del suelo de apoyo del edificio en estudio, por ascenso de napa freática, resulta en los asentamientos de los elementos que están en contacto con el mismo. Estos descensos puntuales inducen en las mamposterías deformaciones y esfuerzos de tracción que éstas, por su propia naturaleza, no pueden soportar. Eso determina la aparición de grietas parabólicas y diagonales, cuyo centro de radio apunta al foco de asiento (ver Fig. 3 y 4). Asimismo, se ha producido el quiebre del intradós de los arcos del intercolumnio entre naves (Fig. 5), como también en el sector del altar.



Figura 3. Fachada de la parroquia Inmaculada Concepción de María (Pozo del Molle) en donde se observan las grietas parabólicas.



Figura 4. Interior del hall de ingreso de la parroquia Inmaculada Concepción de María (Pozo del Molle) en donde se observan las grietas parabólicas.

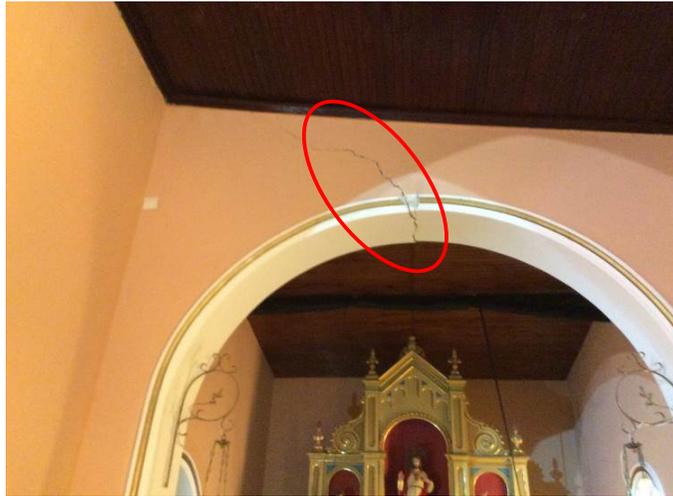


Figura 5. Interior de una de las naves de la parroquia Inmaculada Concepción de María (Pozo del Molle) en donde se observa la grieta del intradós de uno de los arcos.

Finalmente, se observa un importante punzonamiento del piso, con deformación y rotura del solado, producido por el asentamiento tanto de los muros, como especialmente de las columnas centrales, según se muestra en la Fig. 6. Las patologías relevadas en el edificio en estudio se muestran en la Fig. 2.



Figura 6. Interior de una de las naves de la parroquia Inmaculada Concepción de María (Pozo del Molle) en donde se observa el punzonamiento de una de las columnas centrales.

4.2.3 Propuesta de recalce

La propuesta de recalce, cualquier sea, debe proponer la transferencia de las cargas a manto resistente, no colapsable. Según estudios geotécnicos en la zona, existe un manto de limos fuertemente cementados y estables (tosca) a una profundidad estimada entre 12 y 14 metros.

De acuerdo a los condicionantes planteados para diseñar la propuesta de recalce, se descarta como opción, la ejecución de pilotes excavados mecánicamente y hormigonados in situ, debido a la

imposibilidad de realizar la excavación mecánica dentro del templo, al tener que trabajar con lodos bentoníticos. Por otro lado no resulta viable la excavación manual, dadas las condiciones de saturación del suelo.

En este sentido, la solución llevada a cabo resultó en la ejecución de 92 micropilotes hincados tipo Manesmann, con una capacidad de carga no inferior a 20 tn por unidad. La ubicación de los mismos se detalla en la planta de la Fig. 7. Los micropilotes hincados constituyen una alternativa a los tradicionales hormigonados in situ, especialmente indicada cuando deben recalzarse fundaciones atravesando estratos saturados y con napas freáticas a poca profundidad. Los mismos están formados por caños sin costura de 73 mm de diámetro externo, acoplados por soldadura cada 3 metros, e hincados hasta llegar al estrato de tosca, en el cual alcanza el rechazo a la hinca.

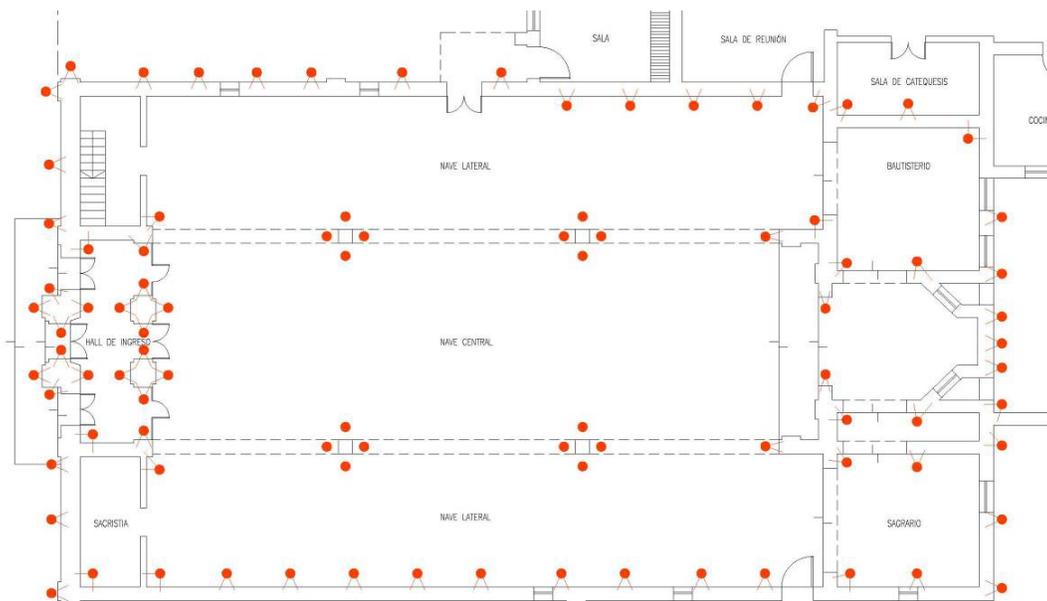


Figura 7. Planta de la parroquia Inmaculada Concepción de María (Pozo del Molle) en donde se presenta la ubicación de los micropilotes ejecutados para el recalce completa del edificio

La ejecución de los micropilotes difirió ligeramente, según se trató del recalce de los muros de mampostería o las bases de las columnas centrales. En el caso de los muros con cimientos corridos, resultó necesario plantear una estructura auxiliar consistente en un cabezal de perfiles laminados soldados al caño del micropilote, con doble ménsula en V, tal como se observa en la Fig. 8.

En el caso del recalce de las bases aisladas, los micropilotes reciben la carga a partir de la fricción producida entre el hormigón de la base y el material que rellena el espacio entre la pared de hormigón perforada y el fuste de acero del micropilote (ver Fig. 9). En este tramo de unos 20 cm, el micropilote lleva soldado un helicoides de hierro de 6 mm, con un paso de 5 cm. El relleno del anular de esa perforación se realiza con una lechada cementicia (inyección primaria). La cantidad de micropilotes realizados se indica en la Fig. 7. La perforación de las bases se realizó mediante el uso de corona de diamantes de manera de minimizar las vibraciones a inducir sobre la estructura y no generar esfuerzos no deseados sobre el suelo que converjan en asentamientos adicionales. En las Fig. 10 y 11 se muestra el equipo con el cual se ejecutaron los micropilotes.

A fin de restituir el monolitismo de los muros dañados, se procedió a la costura de grietas, mediante grafas fabricadas con planchuelas de $1\frac{1}{2} \times 1/8''$ (38,1 x 3,2 mm) en forma de zeta y con largos variables

(30, 40 y 50 cm). Las escuadras de los extremos se soldaron a 90°. En la mampostería se replantearon las grafas a colocar, para luego calar con amoladora, incisiones en forma de zeta, e introducir las grafas a presión mediante golpes de maza. La cantidad de costuras realizadas no resultó inferior a 4 grafas por metro lineal de grieta.

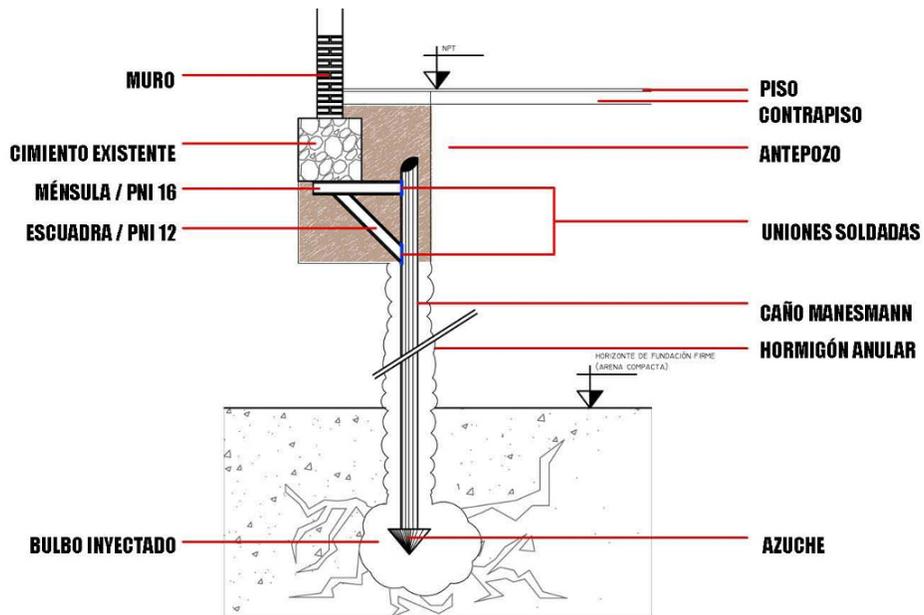


Figura 8. Esquema de apoyo del cimiento corrido en el micropilote de acero para asegurar la transferencia de carga

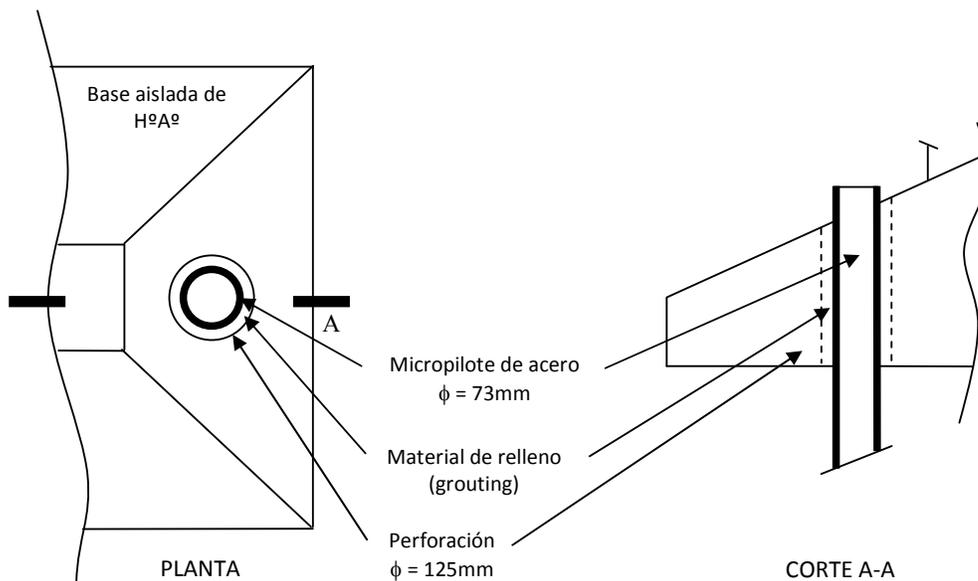


Figura 9. Planta y corte de la forma de vinculación entre el micropilote y la base aislada



Figura 10. Equipo para la hinca de los micropilotes



Figura 11. Micropilotes formados por caños sin costura

4.3 Caso 2 - Vivienda antigua en Wenceslao Escalante, Córdoba

4.3.1 Descripción general del edificio

El segundo caso testigo es una vivienda unifamiliar ubicada en la localidad de Wenceslao Escalante, al sur de la provincia de Córdoba, de casi 90 años de antigüedad, siendo una de las edificaciones más antiguas del pueblo (en los últimos años sufrió modificaciones importantes en su fachada e interior). El estudio se origina a partir de la detección de asentamientos en el muro de fachada, acompañados de grietas en algunos muros internos, perpendiculares a la misma (Fig. 12 y 13).



Figura 12. Vista del muro fachada. Se aprecia la deformación del solado, arrastrado por el descenso del mismo



Figura 13. Revestimiento de yeso con fracturas en muro interior

Los muros afectados conforman el dormitorio principal de la casa, tal como se observa en la Fig. 14. En la misma figura se presenta el sótano de la vivienda (líneas de proyección), cuyos muros no coinciden con los del dormitorio y en consecuencia, además de la presión lateral del suelo, reciben la sobrecarga proveniente del bulbo de presiones de las fundaciones de aquellos.

En relación con la antigüedad de la vivienda, los muros Sur y Este (fachada) del dormitorio, están contruidos con ladrillos macizos en espesores de 30cm y 45cm, respectivamente, asentados en barro. Los otros dos muros son de construcción más reciente. En este caso los mampuestos se encuentran asentados con mortero, alcanzando espesores de 30cm el muro Norte y 15cm el Oeste.

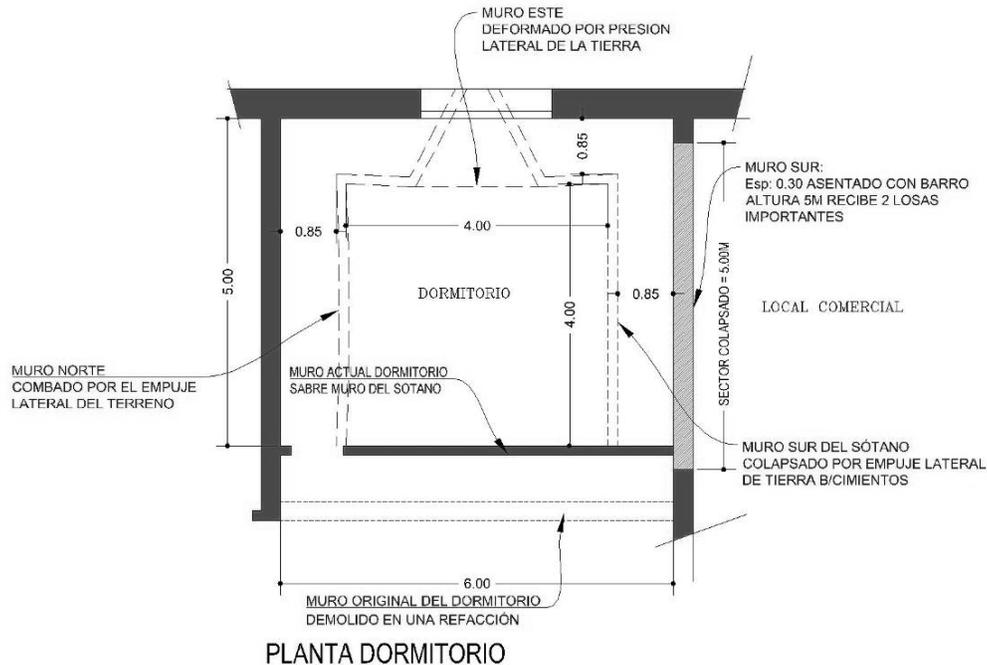
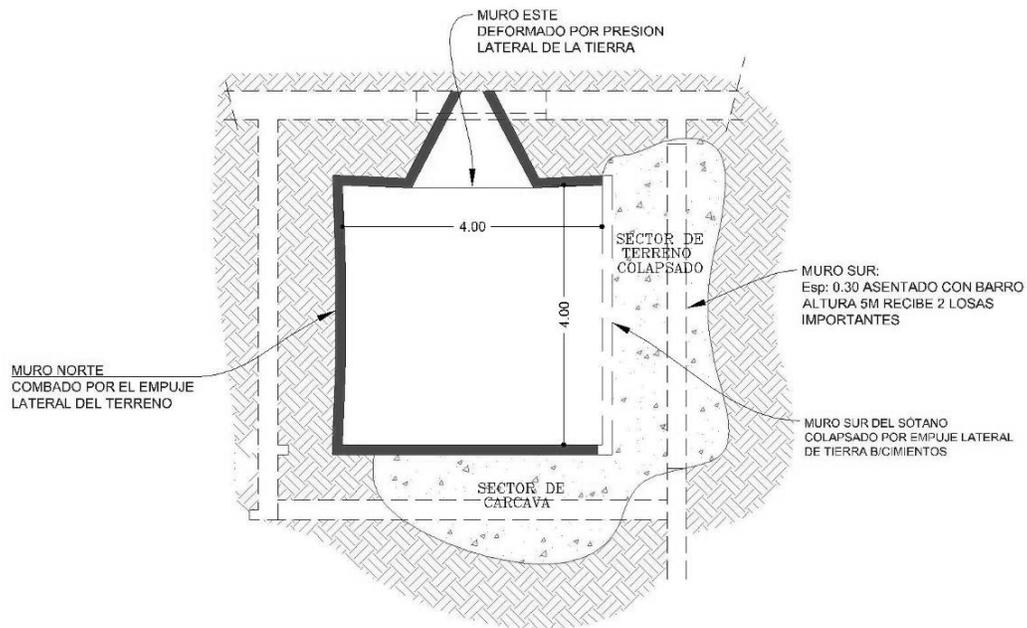


Figura 14. Planta dormitorio y proyección sótano

El ascenso del nivel freático provocó en la vivienda lesiones de consideración, a continuación se enumeran aquellas que involucran al sótano:

- El nivel freático estaba a -2,50 m (aproximadamente 60cm por encima del nivel de piso del sótano). El interior de este local tenía 60cm de barro en toda su superficie.
- Los muros Norte y Este (paralelo a fachada) del sótano se encontraban deformados, con flecha hacia el interior del mismo, debido a la presión lateral del suelo contenido (Fig. 14).
- El muro Sur se encontraba derrumbado al no resistir el empuje lateral del terreno. El colapso de este muro del sótano, provocó un desplazamiento del suelo que contenía, descalzando el cimiento del muro Sur del dormitorio y provocando su rotura. Por esta situación, el muro de 30cm de espesor, asentado en barro, se mantuvo trabajando en arco con una luz aproximada de 5 m. (Ver Fig. 16).
- El muro Oeste, se conservaba en buen estado, debido a su continuidad con el muro de planta baja. Sin embargo, detrás de éste, hacia la habitación contigua (comedor), se detectó una cárcava de 1m de altura a lo largo del muro (4m) con 1m de profundidad, que dejó al piso del comedor sin ningún soporte, tal como se observa en la Fig. 15.



PLANTA SOTANO

Figura 15. Planta sótano indicando sectores con desplazamiento de suelo



Figura 16. Vista interior del sótano. A la derecha se observa el muro Sur colapsado. Al fondo, el muro fachada (Este).

4.3.2 Estrategia de intervención

El muro Sur de planta baja divide al dormitorio del local comercial contiguo y recibe la carga de 2 losas de 6m de luz, aproximadamente. Esta situación generó riesgo de colapso global de la estructura. Debido

a la necesidad urgente de recalce del muro, se procedió a quitar, sin golpes (escarbando las juntas) ladrillos cada 50cm para atravesar el muro con perfiles IPN 180, apoyándolos, de manera provisoria, 1m sobre el piso calcáreo del local comercial y en 4 tirantes soporte del piso de madera que ocupa el dormitorio, tal como puede observarse en el esquema de la Fig. 17 y en la fotografía de la Fig. 18.

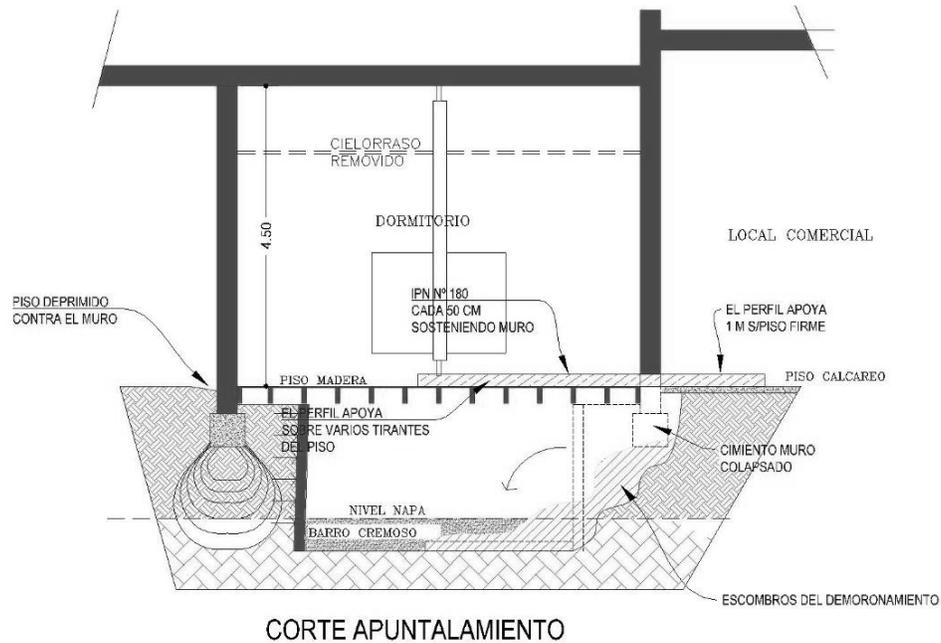


Figura 17. Corte del dormitorio y sótano indicando el apuntalamiento temporal realizado

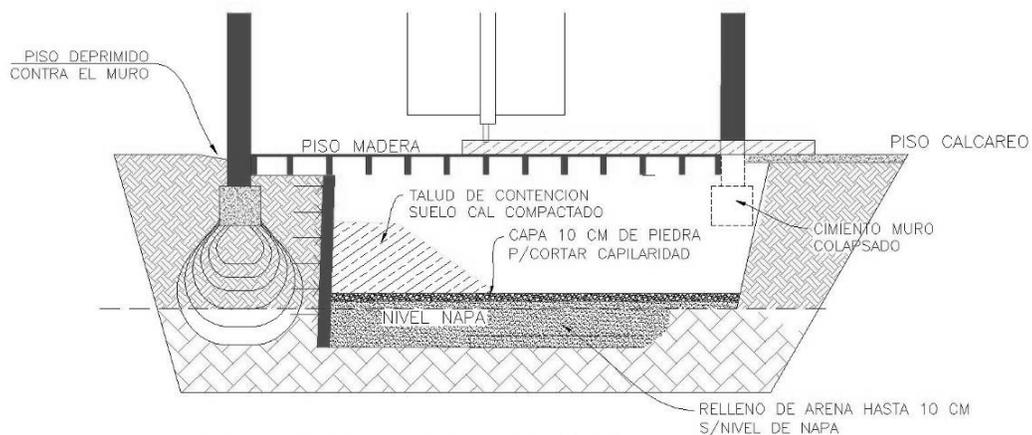


Figura 18. Vista del apuntalamiento desde el interior del dormitorio

Luego de apuntalado el muro, se desmontaron las tablas del piso de madera del dormitorio, de manera de acceder al sótano y sostener los muros deformados por empuje lateral. Para ello, se relleno el sótano con arena hasta superar el nivel de la napa freática, luego se dispuso un manto de 10cm de piedra a los fines de evitar el ascenso capilar y se realizó un talud de suelo-cal (8:1) contra los muros Norte y Este, compactado manualmente en capas de 15cm de espesor (ver Fig. 19 y 20).



Figura 19. Vista del talud de contención interior en muros Norte y Este



RELLENO CONTENCIÓN

Figura 20. Esquema del relleno de contención

Luego se continuó con el recalce definitivo del muro Sur del dormitorio. En este sentido, se hincaron 3 micropilotes bajo el muro, a los que se soldaron ménsulas metálicas para apoyo de 2 perfiles IPN 200 que conformaron la viga portamuros, tal observa en las fotografías de las Figs. 21 a 23.

Para finalizar la tarea de recalce, se inyectaron los micropilotes con lechinada cementicia hasta alcanzar presiones que oscilaron entre 3 y 4 kg/cm², para luego armar columnas, envolviendo los micropilotes, que se hormigonaron incluyendo la viga de submuración de manera de proteger todos los elementos metálicos (no se utilizaron presiones mayores para evitar daños a la construcción). A los fines de asegurar el pleno contacto de la estructura recalce con el muro existente se rellenó el espacio entre viga y muro con cemento grouter (ver Fig. 24). La Fig. 25 presenta un esquema del recalce terminado. A los fines de la rehabilitación del dormitorio se rellenó el sótano con suelo-cal compactado, se realizó un contrapiso de hormigón y se colocó piso cerámico.



Figura 21. Vista de un micropilote hincado bajo el muro comprometido



Figura 22. Vista general en donde se aprecian los 3 micropilotes y el armado de las ménsulas para sostener la viga portamuros



Figura 23. Vista de las ménsulas de apoyo de la viga portamuros. Se observa la armadura de las falsas columnas para hormigonar los pilotes



Figura 24. Viga y pilares ya hormigonados, conformando un pórtico de dos tramos

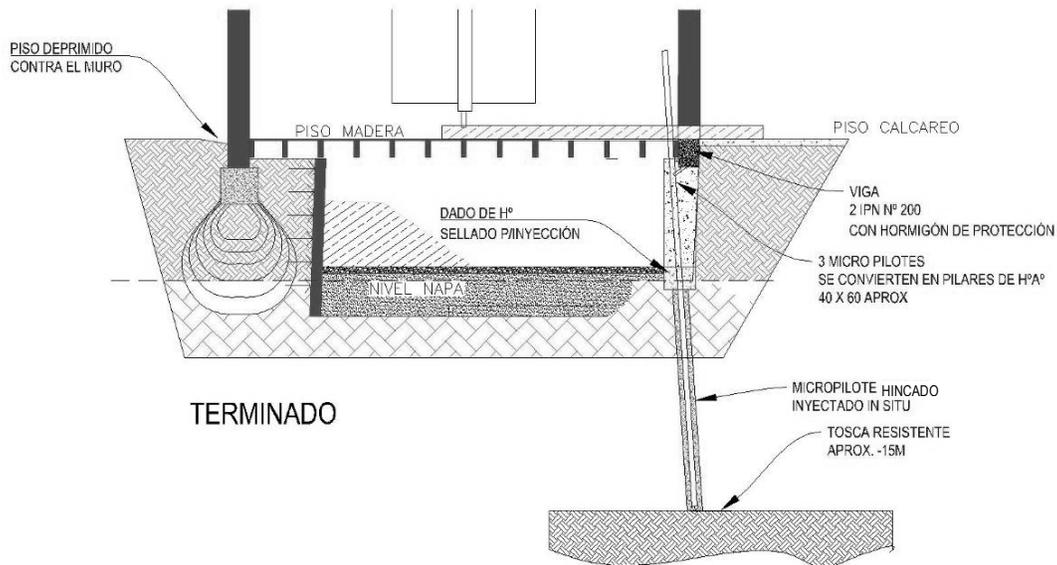


Figura 25. Corte de la intervención realizada, con el hormigonado de la estructura metálica de sostén

5 CONCLUSIONES

A partir de los resultados y análisis presentados en este trabajo resulta factible detallar las siguientes conclusiones:

1. El ascenso del nivel freático en el sudeste de la provincia de Córdoba es un fenómeno de gran magnitud cuya remediación involucra diversos actores lo que torna compleja su implementación
2. El ascenso de las napas freáticas afecta completamente el comportamiento del suelo que ocupa el área afectada, provocando el colapso de su microestructura, generando cambios importantes de volumen y produciendo el debilitamiento general y pérdida de rigidez del suelo.
3. El colapso del suelo por humedecimiento afecta de manera notable las estructuras que soporta, generando daños importantes y costosas obras de recalce.
4. Las alternativas de solución para los edificios afectados por asentamientos se reducen cuando la obra tiene valor patrimonial, resultando poco invasivos y más costosos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Arq. Sergio Linares (responsable de la obra de Wenceslao Escalante) que generosamente facilitó documentación sobre la intervención realizada. Los autores agradecen a SECYT-UNC por el financiamiento de investigaciones.

REFERENCIAS

- [1] Videla Mensague H. R., Degioanni A. J. y Cisneros J. M., *Estimating shallow water table contribution to soybean water use in Argentina*, European Scientific Journal, Vol. 11 (14), 2015, pp: 23-40.

- [2] Cisneros J. M.; Gil H. A., de Prada J. D., Degioanni A. J., Cantero G. A., Giayetto O., Ioele J., Madoery O. A., Masino A. y Rosa J., *Estado actual, pronósticos y propuestas de control de inundaciones en el centro-este de la provincia de Córdoba*, Servicio de Conservación y Ordenamiento de Tierras (SECYOT), Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, 2014. www.proin-unrc.com.ar/pdf/pdf/Informe%20Inundacion%20SeCyOT%202014.pdf
- [3] Noretto M. D., Jobbágy E. G., Brizuela A. B. y Jackson R. B., *The hydrologic consequences of land cover change in central Argentina*, Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol. 154, 2012, pp: 2-11.
- [4] Gómez M. L., Blarasin M., Cabrera A. y Matteoda E., *Variaciones de nivel freático y contaminación del acuífero en la zona de Coronel Moldes, Córdoba*, 1º Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua, Córdoba, Argentina, 2006.
- [5] Blundo M., Redolfi E. R. y Zeballos M. E., *Estimación de asentamientos inducidos por variación del nivel freático*, Encuentro de Geotécnicos Argentinos GT'97, 1997.
- [6] Rocca R. J., Redolfi E. R. y Terzariol R. E., *Características geotécnicas de los loess de Argentina*, Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil, Vol. 6(2), 2006, pp: 149-166.
- [7] Terzariol R. E. y Abbona P.V., *Determinación del potencial de colapso mediante ensayos in-situ*, XI Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Iguazú, Vol. I, 1999, pp: 201-207.
- [8] Rinaldi V. A., Rocca R. J. y Zeballos M. E., *Geotechnical characterization and behaviour of argentinean collapsible loess*, Characterization and Engineering Properties of Natural Soils, Tan, Phoon, Hight and Lerouiel (Eds), Taylor and Francis Group, London, Vol. 4, 2007, pp: 2259-2286.
- [9] Francisca F. M., *Evaluating the constrained modulus and collapsibility of loess from standard penetration test*, ASCE International Journal of Geomechanics, ISSN 1532-3641, Vol 7, Nº 4, 2007, pp: 7-10.