

# **LA AUTOCOLAPSIBILIDAD DE LOS LOESS DE CORDOBA**

## **LOESS SELF-COLLAPSIBILITY OF CORDOBA**

Rocca RJ<sup>(1)</sup>, Terzariol R.E.<sup>(1)</sup> y Zeballos M.E.<sup>(1)</sup>

*rjrocca@efn.uncor.edu, reterzariol@gmail.com, marcelozeballos@yahoo.com.ar*

<sup>(1)</sup>*Universidad Nacional de Córdoba. F.C.E.F.N*

## **Resumen**

Los suelos loessicos son suelos inestables frente a variaciones de humedad. Su comportamiento no es uniforme y desde hace más de setenta años se conoce que la inestabilidad, denominada colapsabilidad, varía de acuerdo con las características internas de los suelos.

Por ello, se han desarrollado métodos en Argentina para su correcta identificación cuando hay variaciones de humedad, separando los potencialmente colapsables, que dependen de cargas externas, de los auto-colapsables que se asientan bajo su propio peso. Estos métodos son comparables con los desarrollados en otras regiones donde el fenómeno es importante, como Estados Unidos, China, Rusia y países adyacentes.

La ciudad de Córdoba es uno de los sitios donde mejor se ha estudiado el comportamiento metaestable que genera la auto-colapsabilidad. Esto comprende estudios de laboratorio y de campo, con desarrollo de ensayos sobre los suelos y las estructuras de fundación que se apoyan sobre ellos.

Se presentan casos registrados de incidentes de auto-colapsabilidad y la información disponible con la cuantificación de la incertidumbre de la distribución areal mapeada, en la ciudad de Córdoba. Esto incluye tanto al norte como al sur de la zona influenciada por el río Suquía.

Para la determinación de la distribución areal de las características de la colapsabilidad se han empleado distintos métodos de estimación geoestadística y de simulación.

Palabras claves: loess, colapsabilidad, autocolapso, Córdoba

## **Abstract**

The loess soils are unstable soils upon wetting although their behavior is not uniform. For more than seventy years, it is known that instability, called collapsibility varies according to the internal characteristics of the soils.

Therefore, methods have been developed in Argentina for proper identification when moisture variations, separating potentially collapsible, which depend on external loads, from self-collapsible that settles under its own weight. These methods are comparable with those developed in other regions where the phenomenon is important, such as the United States, China, Russia and neighboring countries.

The city of Córdoba is one of the best places where it has been studied the metastable behavior that creates self-collapsibility. This includes laboratory studies and field tests with development of soils and foundation structures that are founded on them.

Recorded incidents of self-collapsibility cases and information available to the quantification of the uncertainty of the areal distribution mapped in the city of Córdoba. They include both north and south of the area that is influenced by the Suquía river.

For the determination of the areal distribution of the collapsibility characteristics have been employed various methods of geostatistical estimation and simulation.

Keywords: loess, collapsibility, self-subsidence, Córdoba

## 1. INTRODUCCION

Los suelos colapsables son suelos metaestables que pueden sufrir importantes cambios volumétricos cuando se destruye su estructura interna. Estos cambios se reflejan en asentamientos de los terrenos y de las estructuras apoyadas directamente sobre ellos. Las causas del colapso son el ingreso de agua, incrementos de tensiones o ambos.

Dentro de los suelos colapsables, el grupo más importante es el de los loess, que son suelos limosos con estructura interna formada por depositación eólica. Aproximadamente 13.000.000 de km<sup>2</sup> de la superficie terrestre están ocupados por esos suelos.

Los suelos loessicos se pueden diferenciar en su comportamiento en dos grandes grupos cuando ingresa agua al terreno. Los potencialmente colapsables son los que requieren de carga externa para generar grandes asentamientos, mientras que los autocolapsables son los que se asientan sin carga externa, por la destrucción de su estructura interna.

En la literatura internacional el resultado del fenómeno tiene definiciones que dependen del método de evaluación. En la TABLA 1 se puede observar como el fenómeno es tratado en los principales países donde se ha estudiado el tema.

**Tabla1:** Denominación del colapso cuando ingresa agua al suelo

| PAIS      | Autocolapso bajo propio peso. Sin carga externa | Sin colapso bajo propio peso. Asentamiento con carga externa | Referencia            |
|-----------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Argentina | Verdaderamente colapsable                       | Potencialmente colapsable                                    | Reginatto (1970)      |
| China     | Tipo 1                                          | Tipo 2                                                       | Lin & Liang (1982)    |
| EUA       | Colapsable                                      | Subconsolidado no colapsable                                 | Handy et al (1982)    |
| Rusia     | Tipo II                                         | Tipo I                                                       | Mustafaev et al(1982) |

Las causas intrínsecas del fenómeno han sido relacionadas a varios procesos, como disminución de succión, defloculación de puentes internos, hidratación, etc. Se ha podido comprobar que la magnitud del proceso está influenciada con el tipo de agua que interacciona con el suelo, en particular el pH del agua.

## 2. IDENTIFICACION DEL COLAPSO

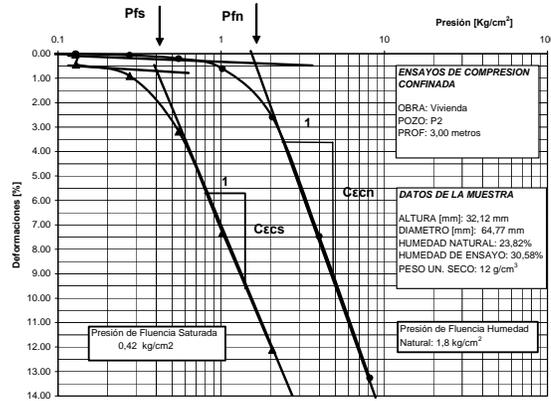
La identificación del fenómeno se puede realizar mediante índices basados en propiedades volumétricas (esencialmente peso unitario), correlaciones y ensayos mecánicos (Reginatto 1970). Existen variantes de campo y laboratorio (Rocca et al 2002).

El ensayo geomecánico clásico de laboratorio es el doble edométrico, donde se somete a dos muestras gemelas a ensayos edométricos, uno con humedad natural y otro con humedad de saturación.

Cuando se los grafica, aparecen dos curvas, cuya diferencia, a igualdad de presión, implica la deformación por colapso (*i*). Es posible distinguir las presiones de fluencia a humedad natural  $P_{fn}$  y la presión de fluencia saturada  $P_{fs}$  (figura1).

Como a veces es difícil obtener muestras gemelas idénticas se han desarrollado ensayos basados en una sola muestra. El más empleado implica la saturación a una determinada tensión, por ej. 2 o 3 kg/cm<sup>2</sup>. En algunos países, como Sudáfrica, se emplea la magnitud del colapso a un determinado nivel, como por ej. 2 kg/cm<sup>2</sup>, para cuantificar el tipo de comportamiento. Si ese valor excede un determinado porcentaje de *i*, como 1.5 a 2%, se considera que se ha producido colapso.

Este tipo de análisis se denomina cuantificación del colapso basado en deformaciones.



**Figura 1:** Ensayo doble edométrico. La diferencia entre curvas a igual presión es magnitud del colapso (*i*)

En Argentina se ha generalizado el uso de la interpretación de los ensayos basados únicamente en tensiones (Reginatto et al 1992). A tal fin se debe relacionar las tensiones correspondientes al peso propio del suelo,  $P_o$ , con las presiones de fluencia.

Una forma de cuantificación es la relación de colapsabilidad RC.

$$RC = P_{fs}/P_o$$

En Argentina, se usa ese índice para definir el tipo de comportamiento de los loess. Así se distinguen:

- Autocolapsables:  $RC < 1$ .
- Potencialmente Colapsables:  $RC > 1$ .

Las equivalencias entre ambos métodos se reflejan en estudios de casos de la TABLA 2 donde casos definidos por el criterio deformacional han sido analizados con el criterio tensional (Rocca et al, 1990).

**Tabla 2:** Correspondencia entre métodos basados en tensiones y deformaciones.

| Casos estudio | CRITERIO DEFORMACIONAL (Rusia) | CRITERIO TENSIONAL (Argentina) |                |       |                           |
|---------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------|-------|---------------------------|
|               |                                | Casos                          | Autocolapsable | Casos | Potencialmente colapsable |
| 14            | Tipo II ( $i > 2\%$ )          | 13                             | 92.80%         | 1     | 7.20%                     |
| 40            | Tipo I ( $i < 2\%$ )           | 1                              | 2.50%          | 39    | 97.2%                     |

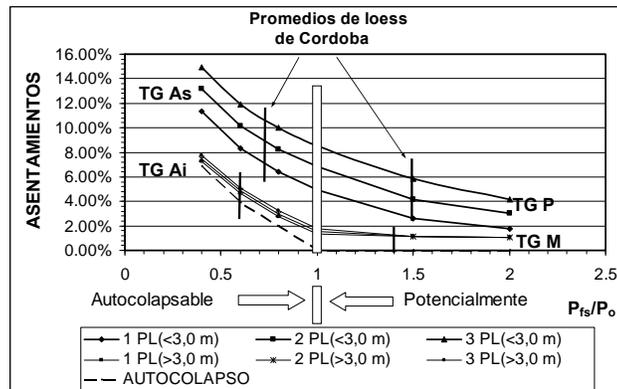
Una idea implícita en este criterio es considerar que se está tratando la susceptibilidad al colapso, y que cuando ingrese agua, el comportamiento será gravoso en el caso de los suelos autocolapsables, ya que las deformaciones serán muy grandes.

Cuando se trata el problema del colapso en forma zonal es necesario para un estudio de tipo tridimensional, donde interviene además de la superficie, la profundidad,

Por lo tanto, es necesario usar criterios basados en deformaciones específicas de las capas que componen el perfil del suelo en una determinada ubicación.

En un estudio paramétrico realizado en la ciudad de Córdoba, se ha podido determinar cuál serían los asentamientos de los loess situados a distintas profundidades cuando se satura totalmente el perfil. En la figura 2 se han graficado los asentamientos que se producirían en los suelos

superficiales y profundos cuando se los carga con estructuras de 1 a 3 plantas con fundaciones directas. En estas curvas se han añadido los promedios medidos en Córdoba. Los tipos de suelos han sido definidos por Rocca, 2005, tal como se presentan en la TABLA 3.



**Figura 2:** Asentamientos por colapso de los suelos de Córdoba, de acuerdo con la Relación de Colapsabilidad medida en 830 muestras (según Rocca, 2002)

**Tabla 3:** Asentamientos Promedio por Colapso

| TIPO GEOTECNICO              | RC    | Profundidad   | 1 Planta % | 2 Plantas % | 3 Plantas % |
|------------------------------|-------|---------------|------------|-------------|-------------|
| Autocolapso superior (TG As) | < 1   | 0 a 3 metros  | 7,08       | 8,96        | 10,67       |
| Autocolapso inferior (TG Ai) | < 1   | 3 a 10 metros | 4,63       | 4,85        | 5,09        |
| Daño Potencial (TG P)        | 1 a 2 | 0 a 3 metros  | 2,66       | 4,23        | 5,93        |
| Daño Marginal (TG M)         | 1 a 2 | 3 a 10 metros | 1,12       | 1,12        | 1,12        |
| Libre de Daños (TG L)        | > 2   |               | 0,00       | 0,00        | 0,00        |
| Autocolapso Profundo(TG D)   | < 1   | mayor a 10 m. | 4,56       | 4,56        | 4,56        |
| Marginal Profundo (TG E)     | 1 a 2 | mayor a 10 m. | 0,00       | 0,00        | 0,00        |
| Inexistencia de daño (TG I)  |       |               | 0,00       | 0,00        | 0,00        |

RC: Relación de Colapsabilidad

Profundidad: entorno de validez del TG

1 Planta: construcción con zapatas cargadas con 7 T/m<sup>2</sup>

2 Plantas: construcción con zapatas cargadas con 12 T/m<sup>2</sup>

3 Plantas: construcción con zapatas cargadas con 18 T/m<sup>2</sup>

En los promedios observados en la Ciudad de Córdoba, el autocolapso implica asentamientos superiores al 4%, sin que actúen cargas externas.

### 3. CASOS DE AUTOCOLAPSO

La región central de Argentina presenta gran cantidad de depósitos loessicos, por lo cual es una de la más estudiada. Hay casos que merecen mención por ser buenos ejemplos del problema del autocolapso, con asentamientos sin carga externa.

#### 3.1. Observación de Cráteres en zonas inundables.

La figura 3a señala un cráter de unos 10 metros de diámetro formado a partir de la infiltración de agua en un sumidero. Este gran asentamiento se ha producido sin carga exterior en una zona rural.

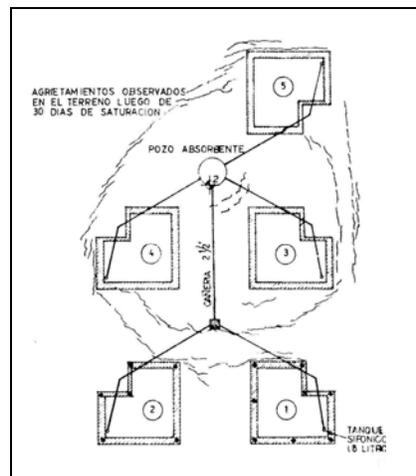
También en la figura 3b, se ha producido un cráter por infiltración desde un hidrante en zona urbanizada.



**Figura 3:** Formación de cráteres. a) zona rural por infiltración de agua de lluvia, b) zona urbana por pérdida de un hidrante.

### 3.2. Ensayos de Prototipos en Ciudad Universitaria

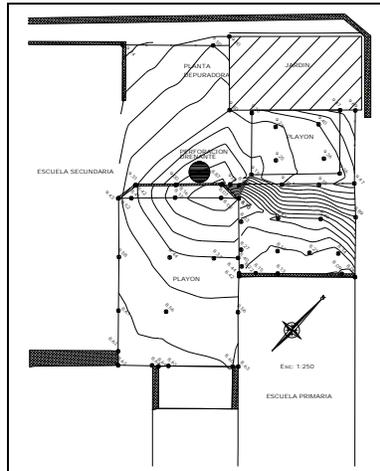
En la década de 1970 se realizaron ensayos de prototipos de vivienda en ciudad universitaria (Moll et al 1972). La Figura 4 presenta un esquema donde se nota la formación de grietas alrededor de un pozo absorbente que colectaba agua de cada prototipo. El lado mayor de cada Prototipo mide 3,40 m. Los Prototipos 1 y 2 tienen fundaciones sobre pilotines representados con círculos negros, mientras que 3, 4 y 5 están construidos sobre zapatas



**Figura 4:** Esquema de Ubicación de Prototipos de viviendas en el predio. El Norte está hacia la izquierda. (Moll et al.1972)

### 3.3. Observación de asentamientos por pérdidas en pozos absorbentes

Un caso similar al ensayo está descrito por Terzariol et al 2010 (figura 5). Los asentamientos se han generado a partir de la pérdida de un pozo absorbente, arrastrando las construcciones superficiales vecinas. Las curvas de nivel indican la deformación sufrida por el terreno, gran parte del cual es un patio sin edificaciones. Las construcciones han sido afectadas, especialmente en los pisos, donde no existen fundaciones profundas.



**Figura 5:** Asentamientos medidos en el terreno de Escuela de Villa Unión (Córdoba) por pérdida en pozo absorbente (Terzariol et al 2010).

#### 4. DISTRIBUCION DEL AUTOCOLAPSO EN LA CIUDAD DE CORDOBA

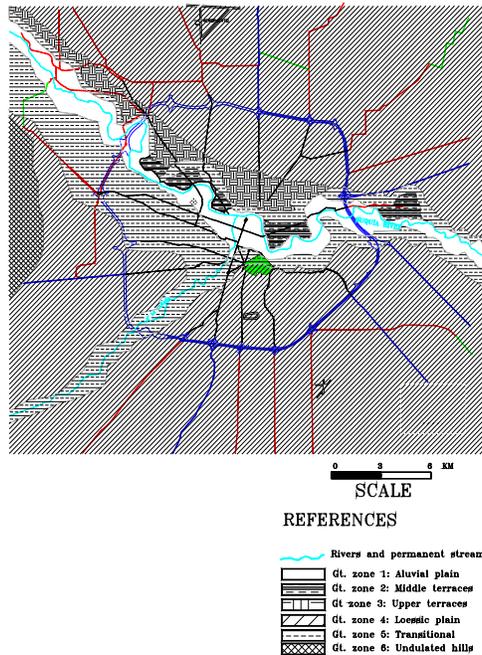
Como el fenómeno del colapso por ingreso de agua que genera la destrucción de la estructura del suelo no es reversible cuando se seca el suelo (Gao, 1988). En general se puede afirmar que los suelos potencialmente colapsables deberían ser los de mayor cobertura geográfica, ya que su presencia está implicando la impronta de los numerosos procesos climáticos desde la formación del suelo. Así, los suelos superficiales en contacto con el agua de lluvia son casi siempre potencialmente colapsables.

Asimismo, para que ocurra el autocolapso es necesaria una cobertura externa mínima que genere la presión suficiente en el interior de la masa del suelo, que en general implica de 4 a 6 metros de espesor.

En la ciudad de Córdoba, la distribución de los suelos loessicos ocurre al norte y sur del valle del río Suquia (figura 6). Esto es conocido desde los primeros mapas realizados por Bodenbender (1889)

La ciudad de Córdoba es un cuadrado de 24 x 24 km, lo cual equivale a 576 km<sup>2</sup>. Los suelos loessicos ocupan la Planicie Loessica (zona 4) con 330 km<sup>2</sup> (33000 hectáreas), mientras que la Zona de transición ocupa 60 km<sup>2</sup> (6000 hectáreas).

### GEOTECHNICAL MAP OF CÓRDOBA CITY

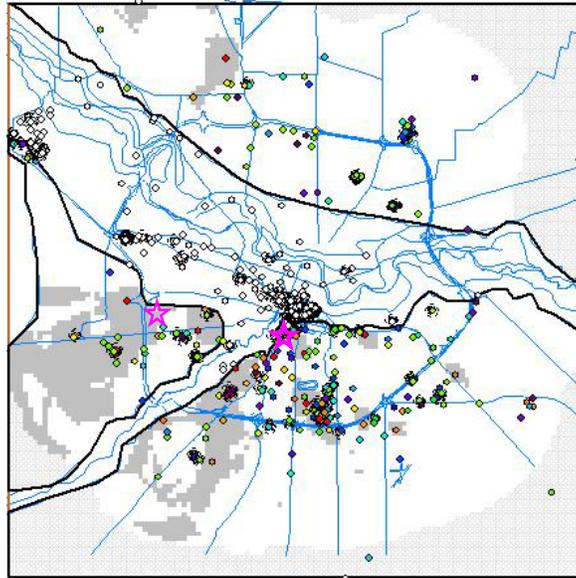


**Figura 6:** Distribución de los loess de la ciudad de Córdoba. Están marcados en zonas: 4 Planicies Loessicas y 5 Zona de Transición (Rocca, 2010).

Analizando la información de la base de Datos geotécnica de la Universidad Nacional de Córdoba se ha determinado la distribución de los suelos que son autolapsables de acuerdo con los niveles de asentamientos. La información proveniente de perforaciones ha sido computada mediante el criterio de la TABLA 3. Para interpolar las magnitudes de los asentamientos se han empleado métodos geoestadísticos, con verificación de puntos independientes (Rocca et al 2002)

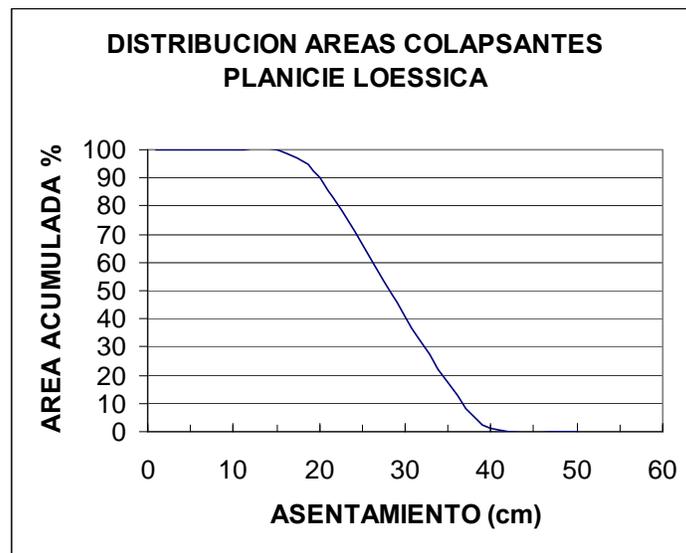
Para computar la superficie donde se ubican los suelos autocolapsables, se han tenido en cuenta los criterios del método chino (Lin & Liang, 1982), en donde se toman más de 35 cm como límite de colapso.

La figura 7 señala las zonas donde se producirá autocolapso en caso de que ingrese agua al suelo. En el mapa se puede observar que los casos señalados en el Apartado 3 entran dentro de esas zonas.



**Figura 7:** Las zonas grisadas corresponden al autocolapso de suelo, según el Criterio chino (Tipo III, mayor que 35 cm. de asentamiento). Las estrellas marcan la posición de los casos citados en 3.

Para determinar el porcentaje de suelos autocolapsables de acuerdo al criterio señalado, se ha realizado el gráfico de la figura 8. Si bien abarca solamente la zona 4 (Planicie Loessica) puede considerarse orientativo del porcentaje esperable de los suelos autocolapsables en la ciudad.



**Figura 8:** Distribución acumulada de asentamientos por colapso. El tipo III (mayor que 35 cm) corresponde al 17% de la superficie leída en el gráfico.

## 5. CONCLUSIONES

Los suelos loessicos autocolapsables están bien caracterizados desde el punto de vista conceptual, como aquellos que se deforman por ingreso de agua, bajo su propio peso, por destrucción de su estructura interna.

Se cuenta con ensayos para su determinación. Si bien existen ensayos de campo, son más empleados los de laboratorio basado en ensayos edométricos. Existen criterios tensionales y deformacionales para su caracterización, pudiéndose encontrar muy buena correspondencia entre ellos.

En el caso de la Ciudad de Córdoba, la distribución de los loess autocolapsables está limitada a zonas de la planicie loessica, al norte y sur del río Suquia.

Los porcentajes determinados por medio de métodos geoestadísticos indican que los loess autocolapsables ocupan alrededor del 17% de la planicie loessica.

El resto de los loess que ocupa la ciudad requiere la presencia de cargas externas como construcciones, para que el fenómeno de colapso se verifique por lo que son potencialmente colapsable.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado bajo el patrocinio de la Secretaria de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BODENBENDER G., 1890. La cuenca del valle del Río Primero en Córdoba. *Bol. Ac. Nac. Ciencias*. Córdoba. Vol. XII: 5-54.
- GAO G., 1988. Formation and development of the structure of collapsing loess in China. *Eng. Geol.* Vol.25 pp 235-245
- HANDY R.L., B. REMMES, S. MOLDT, A.LUTTENEGER, and G. TROTT. 1982. In situ stress determination by Iowa stepped blade. *J. Geotechnical Div. ASCE*. Vol 110:1405-1422.
- LIN Z. and W. LIANG, 1982. Engineering properties and zoning of loess and loess-like in China. *Can.Geot. J.* Vol. 19:76-91.
- MOLL L.L. y A. REGINATTO 1972. Investigación de Fundaciones en Suelos Colapsables. *III RAMSIF*. Vol I.: 25-35, Bahía Blanca.
- MUSTAFAEV A.A. and E.M. SADETOVA, 1983. Prediction of collapse with time in bases of structures. *Osnovanija, Fundamenty I Mekhanika Gruntov*, Vol.3 :14-17.
- REGINATTO, A., 1970. Propiedades mecánicas de algunos suelos de la ciudad de Córdoba. *Memorias 2 R.A.M.S.I.F.* Vol. 1. Córdoba.
- ROCCA, R. J., 2005. Método simplificado para el cálculo del asentamiento por colapso en suelos loessicos de Córdoba. *Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, tomo 57: 137-146.
- ROCCA R.J. 2010. Limitaciones de estimaciones y simulaciones de la colapsabilidad en suelos loessicos de Córdoba. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*. Vol.24: 63-72.
- ROCCA R.J., A. REGINATTO and E.R. REDOLFI, 1992. Determination of collapse potential of soils. *Proc. 7th Intl. Conf. on Expansive Soils*. Vol I: 73-78.
- ROCCA R.J. y M.G. Goio (2002) Predicción de la Colapsabilidad de los suelos de la Ciudad de Córdoba. *Revista de Geol. Apl.Ing. y al Ambiente*. Vol 18: 87-95
- ROCCA R.J., E.R. REDOLFI y R.E. TERZARIOL R.E. 2006. Características Geotécnicas de los Loess de Argentina. *Rev. Intl. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*. Vol. 6: 149-166.
- TERZARIOL R.E., M.E ZEBALLOS y R.J. ROCCA, 2010. Un caso de autocolapso de suelos loessicos inducido por infiltración de efluentes. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*. Vol.25: 89-97.

TERZARIOL R.E., M.E. ZEBALLOS y R.J. ROCCA, 2011. Self-weight collapse of loessic soils. Prediction by simple models. *XIV Pan American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engng.* Toronto. ISBN 978-0-920505-47-2 (CD-Rom).