

AREA

agenda de reflexión en arquitectura,
diseño y urbanismo

*agenda of reflection on architecture,
design and urbanism*

Nº 13 | OCTUBRE DE 2007

Universidad de Buenos Aires
Facultad de Arquitectura,
Diseño y Urbanismo

CONTENIDOS | CONTENTS

- 7** Editorial
- 9** Un enfoque psicológico complementario para la investigación en el hábitat popular que redefine el tema-problema
PAULA PEYLOUBET | TOMÁS O'NEILL
- 19** Reflexiones metodológicas sobre un trabajo de campo en Florencio Varela
RICARDO DE SÁRRAGA
- 37** El plan de las certezas [Il piano delle certezze]. Entrevista con Maurizio Marcelloni
ALFONSO VALENZUELA AGUILERA
- 47** Itinerarios del agua. El agua como hilo conductor de las afecciones edilicias más amplias en la arquitectura de la región pampeana argentina
PABLO ANDRÉS PRONE
- 65** Una revisión de las prácticas de diseño industrial en relación al medio ambiente
MERCEDES CHAMBOULEYRON |
ANDREA PATTINI
- 75** La danza de la memoria y el olvido. Notas para la enseñanza en Historia de la Arquitectura
MARIO SABUGO
- 85** El textil: lectura de la civilización
GRACIA CUTULI
- 92** Reseña de libro

Los contenidos de **AREA** son publicados en:
The contents of AREA are covered in:
Architectural Publications Index
LatBook: www.latbook.com
www.libronet-usa.com
Latindex: www.latindex.unam.mx



itinerarios del agua
cambio climático
humedad de ascensión capilar
interacción suelo-estructura
degradación de mampuestos
región pampeana argentina

*water itineraries
climate change
capillary humidity
soil-structure interaction
brickwork's degradation
Argentine Pampeana region*

> PABLO ANDRÉS PRONE
Universidad Nacional de Córdoba

ITINERARIOS DEL AGUA. EL AGUA COMO HILO CONDUCTOR DE LAS AFECCIONES EDILICIAS MÁS AMPLIAS EN LA ARQUITECTURA DE LA REGIÓN PAMPEANA

Los desequilibrios hidroclimáticos en la región pampeana argentina produjeron un impacto ambiental moderado en la región y severo sobre las construcciones de bajo peso constructivo. El trabajo tiene por objeto otorgar un marco técnico-científico sobre el impacto producido durante varios periodos climáticos donde los itinerarios del agua nos permiten inferir el porqué de las fatigas estructurales y de los materiales en las construcciones. Se corroboró que los itinerarios del agua, por el interior de los mampuestos, producen afecciones patológicas causadas por: la dependencia de las construcciones respecto al comportamiento del suelo, la disolución y precipitación infinita de iones hidrosolubles provenientes del suelo y la humectación secado en los mampuestos.

Itineraries of the water. The water like conductive thread of the constructive affections in the Argentine Pampeana region

The hydro-climatic imbalances in the Argentine Pampeana region generate a moderate environmental impact in the region, and a serious one on the low-weight buildings. The aim of this paper is to present the technical-scientific frame obtained related with the impact produced by the itineraries of the water during several climate periods, in order to infer the reasons of the fatigues of the structures and materials. It was corroborated that the itineraries of the water for the interior of the brickwork's generates pathologies caused by the soil's changes, the presence and dissolution of soluble ions and humidity dried in brickworks.

Introducción

El agua es el elemento y fuente necesaria para la vida en la tierra, pero en la región pampeana argentina se investigan críticamente los procesos patógenos que ocasiona ésta en la arquitectura.

Para reconstruir sus procesos es necesario acudir a los constituyentes que los desencadenan, para ello el trabajo transita por los vectores más relevantes del medio físico que repercuten en el urbano.

Teniendo presentes estos constituyentes y las potenciales transformaciones que en ellos se producirán al desencadenarse los procesos hídricos, estamos en posición de apreciar los itinerarios del agua en las edificaciones de la región.

Edificaciones de una arquitectura buena, regular o mala que tiene valor como práctica social, es decir sus ocupantes esperan habitar y desarrollar en ella una vida sana y en comunidad. La interrelación se da a partir de cada una de las obras individuales que se van ins-

talando y hacen ciudad a lo largo de su desarrollo histórico, de la configuración resultante en el entorno construido y sobre todo del medio ambiente en el que se insertan.

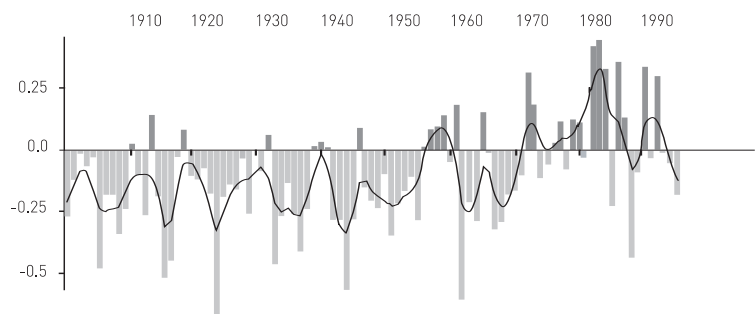
Por este motivo se eligió para los análisis y observaciones patológicas la técnica constructiva más vulnerable, conformada por mampuestos de ladrillos cerámicos cocidos y mezcla de asiento de barro. Estos componentes de la arquitectura son los más sensibles, e interactúan actualmente con el entorno como preexistencias físicas respecto a los desequilibrios generados por el agua como agente degradante.

Se observó que los itinerarios del agua son dependientes de las acciones climáticas, intermitentes pero recurrentes en el tiempo, que desencadenan procesos de degradación y de desorden en la arquitectura y el entorno. Aunque esto último también puede considerarse como un proceso de auto-eco-organización que adhiere al segundo enunciado de la termodinámica.

Figura 1
Comparación de *deficiencia y exceso de precipitaciones* para la localidad de Las Varillas respecto a la región del sudeste de Sudamérica.

Anomalías de la precipitación para la región sudeste de Sudamérica

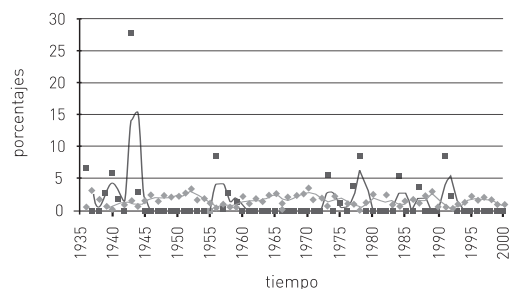
Beidegain Mario,
Deshayes Claudia (2005)



Deficiencia y exceso Las Varillas

Fuente: Sr. Ricardo Palmero
Análisis: Prof. Ing. Agr.
Antonio De la Casa

♦ DEF anual
■ EXC anual



Desarrollo: medio físico

Clima

A partir de las últimas décadas del siglo pasado, se manifiestan fuertes anomalías de la variabilidad climática, como sequías e inundaciones en diversas partes del planeta, por efecto del fenómeno de El Niño.

Durante el siglo XX se ha observado sobre la región sudeste de Sudamérica un cambio sustancial en las precipitaciones hacia mayores valores durante los últimos 30 años de dicho periodo (Figura 1). La precipitación experimentó un ascenso durante la década de los años 1970, que se mantuvo durante los años 1980 y 1990. Posteriormente a finales de la década de 1990, a pesar de que se produce un ligero descenso, la tendencia general ha sido creciente durante el último siglo (Bidegain y Deshayes 2005: 163). En la Figura 1 se compara la *deficiencia y exceso* de precipitaciones para la localidad de Las Varillas, ubicada en el Centro Este de la provincia de Córdoba,¹ con el de las *anomalías* de la precipitación para la región del sudeste de Sudamérica.

Se menciona que los fenómenos causantes de este desequilibrio son de orden global en la región, por ejemplo, el calentamiento de la tierra; no respondiendo a fenómenos particulares que lo produzcan.

En el centro de la región pampeana argentina, el principal indicador que marca un cambio en las condiciones climáticas es el de las precipitaciones. El promedio histórico puede encuadrarse entre 700 y 800 mm anuales con picos de precipitaciones cada diez años. En las últimas décadas del siglo XX se observa esta paulatina elevación de los porcentajes de precipitaciones (Ravelo, Irastorza y Luque 2002: 69) estableciéndose actualmente en 900 mm anuales con registros particulares que observan picos de hasta 1100 mm anuales en los períodos 1989 a 1991. Estos picos de precipitaciones presentan consistencia respecto a una mayor repetición de años cuando ocurren, pero no se observa una frecuencia relativa del fenómeno como la histórica (Ovando y de la Casa 2005: 289). Consecuentemente, el ecosistema de la región pasó desde un clima semi-árido hacia otro semi-húmedo. Debido a ello, se observó que, desde la década del cincuenta hasta nuestros

días, existe un corrimiento de 200 km hacia el este de las *isoyetas de precipitación* anual media (Figura 2). Las temperaturas constituyen otro índice importante, no evidenciando alteraciones significativas y repercutiendo en el potencial de evapotranspiración (Ovando, de la Casa y Rodríguez 2002).

Hidrología superficial y subterránea

Estudios realizados en el marco del convenio argentino-alemán para la factibilidad de agua subterránea potable en la región pampeana argentina (IFGRN 1976: Tomo 1) indican que: la zona central pampeana es una *cuenca cerrada*, por lo que la recarga de sus napas superiores se debe exclusivamente a las precipitaciones. La recarga dada a través del flanco oriental de la cadena de las sierras cordobesas se infiltra hasta llega por debajo de la formación Puelches, a un manto confinado. En la zona central esta formación geológica toma profundidades de unos 80 a 120 m, teniendo contacto solo con la laguna Mar Chiquita (Figura 3).

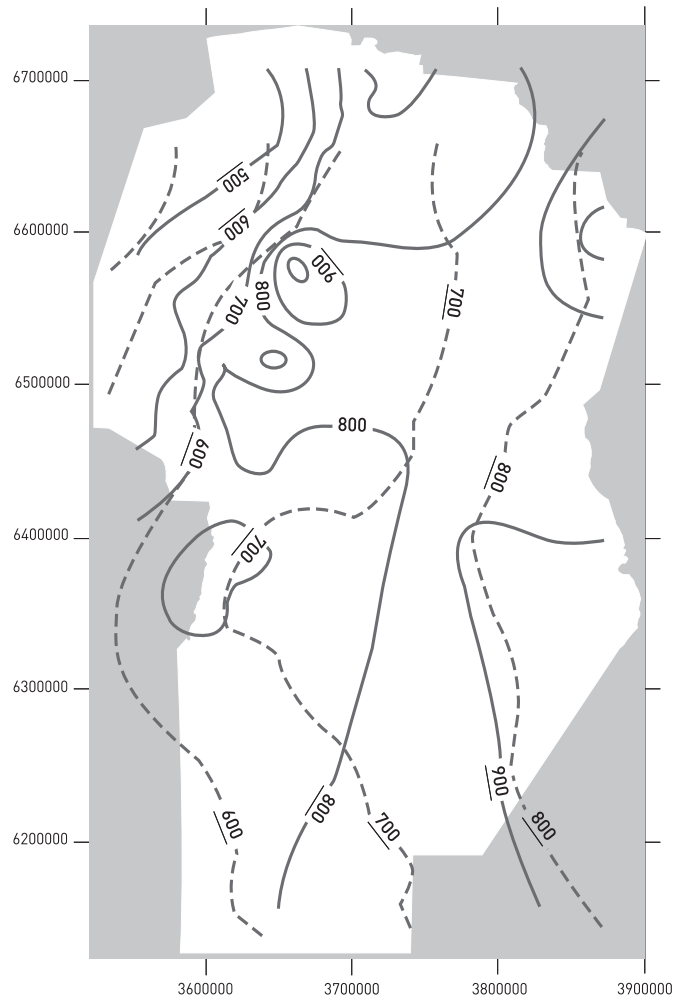


Figura 2
Isoyetas de precipitación anual media. Período normal (trazo en guiones). Década de los 1970-79 (trazo continuo).

1. Los datos fueron tomados por el sr. Ricardo Palmero y su análisis fue realizado en la Cátedra de Climatología y Fenología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba.

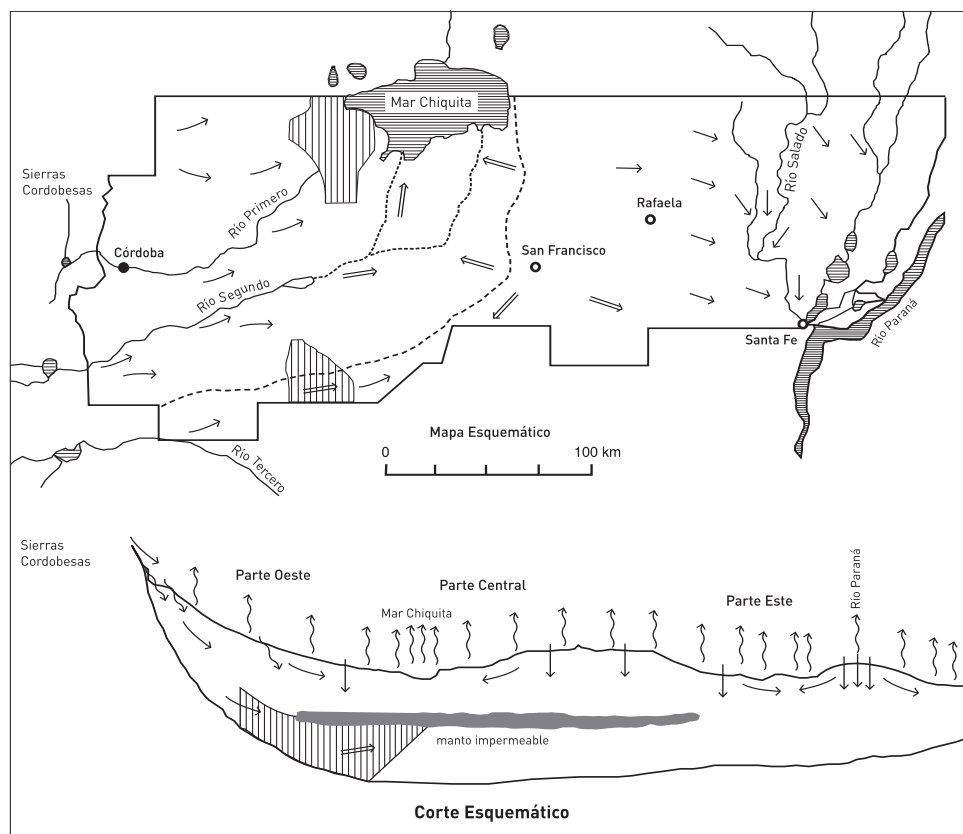


Figura 3
Mapa esquemático del flujo de aguas subterráneas para la zona central pampeana.

2. Denominados así en el CAAAS a aquellos que fluctúan por recarga exclusiva de precipitaciones en la región pampeana argentina.
3. Imagen satelitaria, Las Varillas 3163-34, fuente Instituto Geográfico Militar.
4. *Loess*, vocablo de procedencia alemana, indica sedimentos eólicos formados por limos finamente repartidos de estructura abierta y autocolapsible.
5. "Subsidencia" se suele aplicar al hundimiento de la superficie en un área extensa. La palabra "asiento" o "asentamiento" se aplica con preferencia al descenso del nivel del terreno a causa de sobre cargas u acciones localizadas, aunque es frecuente tomarlas como sinónimos.

Los acuíferos libres² históricamente se establecen entre los 5 m y 10 m de profundidad, dando una idea de la existencia de mantos arcillosos impermeables que impiden la penetración del agua a mayores profundidades. En periodos cortos de tiempo, las precipitaciones generan su recarga y por consiguiente su ascenso a partir de este horizonte. Bajo estas circunstancias y con el aumento de las precipitaciones, los acuíferos superiores ascendieron a principio de la década de 1990 causando anegamientos en amplias extensiones. La imagen satelitaria³ (Figura 4) para el sector de Las Varillas, tomada el 12 de enero de 1993, permite inferir la total coincidencia de los hechos y apreciar el desequilibrio en un área más extensa; se observan las áreas anegadas representadas por manchas oscuras y alargadas.

Geomorfología

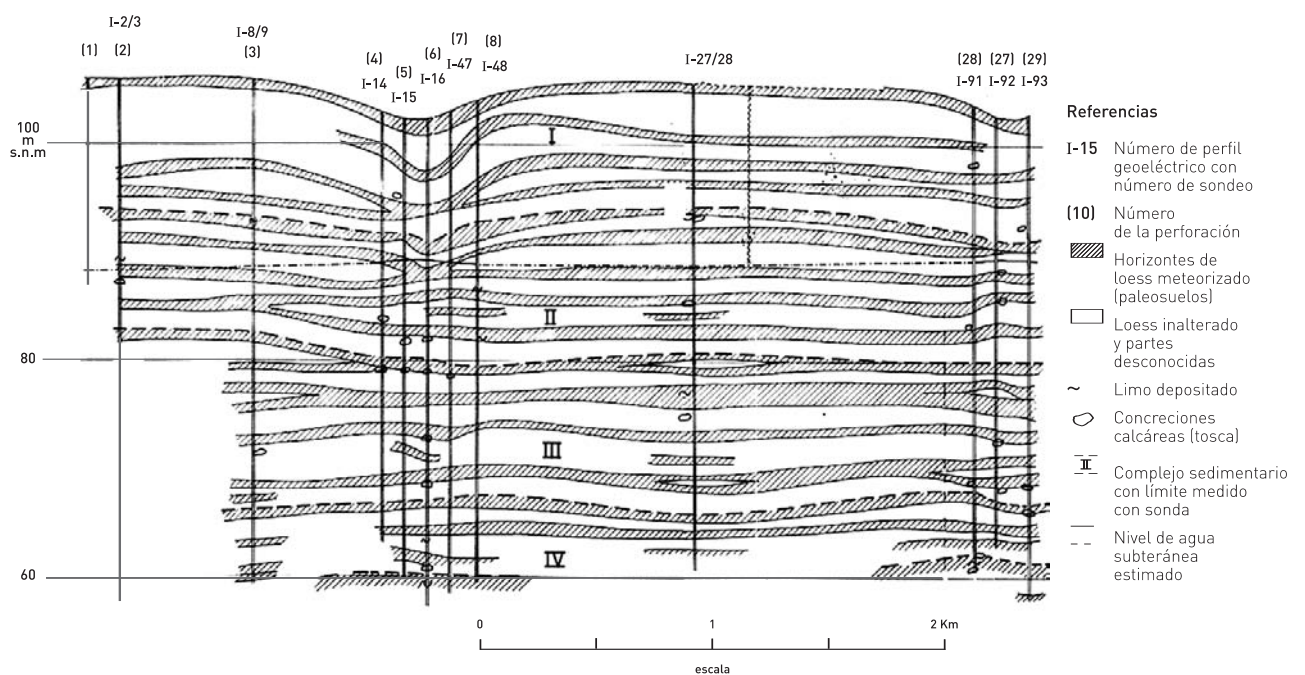
Los suelos que ocupan la región centro-este de la provincia de Córdoba, en su gran mayoría, fueron conformados por deposiciones eólicas y fluviales muy ricas en limos, de gran uniformidad, de color pardo claro con intercalaciones de arenas finas, lo que genera el llamado "loam pampeano" o "loess".⁴

Los ríos discurren erráticamente y modifican la homogeneidad de los depósitos eólicos originales encontrándose arenas en los paleocauces y limos en las planicies de inundación. Este cambio de materiales se refleja en la forma del paisaje superficial, pero también en la naturaleza de los suelos que pasan a integrar complejos heterogéneos con una alta variabilidad espacial y un intrincado patrón de asociación, que le impiden características distintivas a determinados sectores de la región. La Figura 5 muestra la correlación geológica típica para un suelo del sector. El comportamiento depende de su estructura. En estado primigenio, la estructura del suelo en general se presenta macroporosa siendo autocolapsible (*loess* original), pero con el correr del tiempo se transforma en potencialmente colapsibles (loésico); este último ante variaciones de carga y/o humedad colapsa de manera generalizada (Redolfi y Zeballos 1996), efectos que se denominan "subsidiencia"⁵ (Custodio y Llamas 1983: 2142). El proceso de subsidiencia que comprende un ciclo completo de humedecimiento-succión en los suelos fue incorporado al estudio de los suelos pampeanos (Blundo 1997) en el Laboratorio de Geotecnia de La Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y

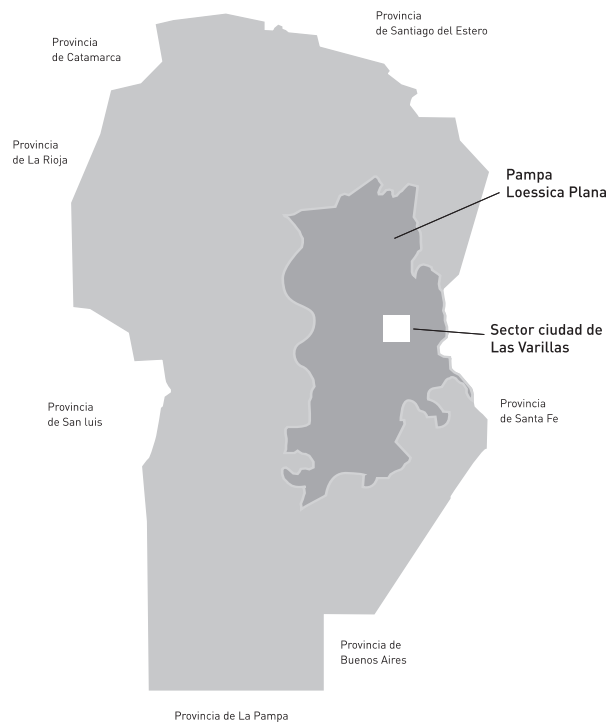


Figura 4
Imagen satelitaria para el
sector de Las Varillas,
12 de enero de 1993.

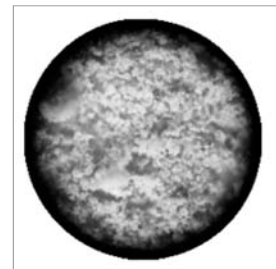
Figura 5
Correlación geológica típica
para un suelo del sector.
Llanura Pampeana.



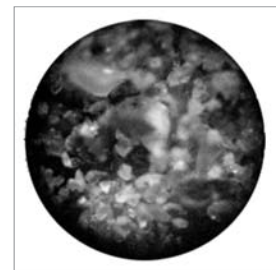
Mapa de la Provincia de Córdoba



Muestras extraídas de la ciudad de Las Varillas



LIMO [Microfotografía x 50]



ARENA [Microfotografía x 50]

Figura 6
Ubicación geográfica de la pampa loésica plana y dos muestras inalteradas de suelos.

Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. Marcelo Blundo explica que se basó en la teoría de Alonso y colaboradores de 1987, que le permitió establecer asentamientos de 150 mm en un solo ciclo (ascenso y descenso de los niveles freáticos) siendo éste solo un valor promedio, no pudiendo establecer en condiciones de laboratorio los asentamientos que se producirían en el transcurso de varios ciclos.

Estas son las condiciones específicas de los suelos en la pampa loésica plana (denominada: "de los derrames"). Su ubicación geográfica se observa en la Figura 6, juntamente con dos muestras inalteradas de suelos donde se observa su estructura abierta.

La *Carta de suelos*, confeccionada por el INTA en el Plan Mapa de Suelos Córdoba - Hoja 3163-34 Las Varillas (Convenio INTA - MAGYRR 1997: 31), indica las principales unidades de agrupación de los suelos y el perfil geomorfológico típico para un área determinada. Además, arroja datos adicionales sobre suelos superficiales y condiciones climáticas locales: éstas son valiosas herramientas para predecir las futuras afectaciones edilicias.

Estudios de contaminabilidad

El extracto de la Serie El Pino correspondiente al sector de Las Varillas, que se encuentra en la *Carta de suelos* (Convenio INTA-MAGYRR 1997: 31), permite observar los datos del perfil de suelos y su capacidad de intercambio catiónico a través de variables como la estructura del suelo y la cantidad de iones hidrosolubles presentes en el mismo (Tabla 1).

Indica en los sectores *aplanados y ondulados* de este ambiente suelos con distinto grado de *afectación salina* en profundidad, con texturas normalmente gruesas consideradas como suelos escasamente desarrollados y limitados por la falta de estructura y baja retención de humedad. En los sectores *levemente deprimidos* dominan suelos pesados, *salino sódicos*, con horizonte superficial degradado y drenaje moderado a imperfecto; se presenta acumulación de *sodio intercambiable* a partir de los 0,30 m de profundidad. Por otro lado, en el convenio argentino-alemán de aguas subterráneas (IFGRN 1976: Tomo 8), se presentan los resultados referidos al balance químico de las aguas subterráneas en relación a los suelos y se indica que el *ión* que existe en demasía es el sulfato y sus posibles combinaciones, y que en casi toda la parte central de la región pampeana

Serie El Pino. Datos analíticos del perfil típico

Situación: Latitud 15° 55' s, Longitud 23° 55' w, Altitud 120 m.s.n.m.

Horizonte	A1p	B2	B3	C1	C2ca
Profundidad de la muestra (cm)	0-22	22-57	57-90	90-118	118-140
Materia Orgánica	2,5	1,0	0,3	0,0	0,1
Carbono Orgánico, %	1,43	0,56	0,18	0,02	0,06
Nitrógeno total, %	0,19	0,09			
Relación C/N	7,5	6,2			
Arcilla, 2, %	24,1	28,7	25,9	20,4	16,0
Limo, 2-50, %	53,0	48,4	47,4	56,2	6,9
Arena m.f., 50-100, %	12,5	6,2	14,8	15,8	10,3
Arena f., 100-250, %	9,9	16,0	9,5	7,3	10,3
Arena m., 250-500, %	0,3	0,2	0,2		
Arena g., 500-1000, %					
Arena m.g., 1-2 mm, %					
Calcáreo, CaCO ₃ , %	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5
Equiv. de Humedad, %	25,1	26,7	24,8	23,6	22,8
pH en pasta	5,5	6,2	6,8	7,5	8,5
pH en agua 1:2,5	5,8	6,8	7,0	8,7	8,9
Cat. Cambio, me/100 gr:					
Ca ++	4,9	9,9	9,8	10,0	
Mg ++	3,8	2,2	2,4	2,4	
Na +	0,4	0,4	0,4	0,5	0,9
K +	2,7	1,9	1,9	1,9	2,0
H +	3,1	1,2	1,0		
Na +, % del valor t	2,6	2,4	2,6	3,5	6,4
Conduct. (mmhos/cm)					
Suma/bases, me/100 gr (S)	11,8	14,4	14,5	14,8	
Cap.inter.cat. Me/100 gr (T)	15,3	16,7	15,3	14,3	14,0
Sat. con bases, % (S/T)	77,1	86,2	94,8	103,5	

se extienden aguas subterráneas muy saladas.

El *cation* de mayor importancia en el agua subterránea es el sodio con el 82% de los equivalentes de cationes, el calcio y el magnesio forman el resto en un 50 y 50%.

Los *aniones* más importantes en un 80% son los sulfatos y cloruros, un poco más de sulfatos, los iones carbonatitos dan un 19%, el nitrato apenas tiene importancia.

La relación Cl a SO₄ aumenta de oeste a este. En el sector oeste de la pampa 1:2, en el sector central 1:1, en el sector este de la pampa 1:0,6. En la misma dirección aumenta la relación Na con Ca.

La preferencia de adsorción en los suelos arcillosos y limos de granulometría menor al 20% libera muchos iones sodio (Na+1) dejando un suelo inerte con característicos manchoneos negruzcos. Siguiendo la línea propuesta por la serie liotrópica de Wayman, tenemos que la capacidad de adsorción

encontrados en los suelos de esta región sigue: Al³⁺ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > K⁺ > NH₄⁺ > Na⁺

Técnica constructiva

Como se comentó, las construcciones mayores de 40 años son las más afectadas por los posteriores sucesos hidroclimáticos. En ese *texto sin palabras* (Moreno 1998: 33), es decir en esas construcciones, se relevó aquella técnica constructiva más generalizada que está compuesta por mampuestos de ladrillos cerámicos cocidos asentados en morteros de barro. Los mampuestos se apoyan sobre una cimentación corrida del mismo material cuyo horizonte de fundación se da solo a 0,30 m de profundidad (Figura 7). En su mayoría los techos se conforman por losas planas macizas o alivianadas con luces variables de entre 4,50 y 6,00 m.

Tabla 1
Serie El Pino. Datos analíticos del perfil típico.

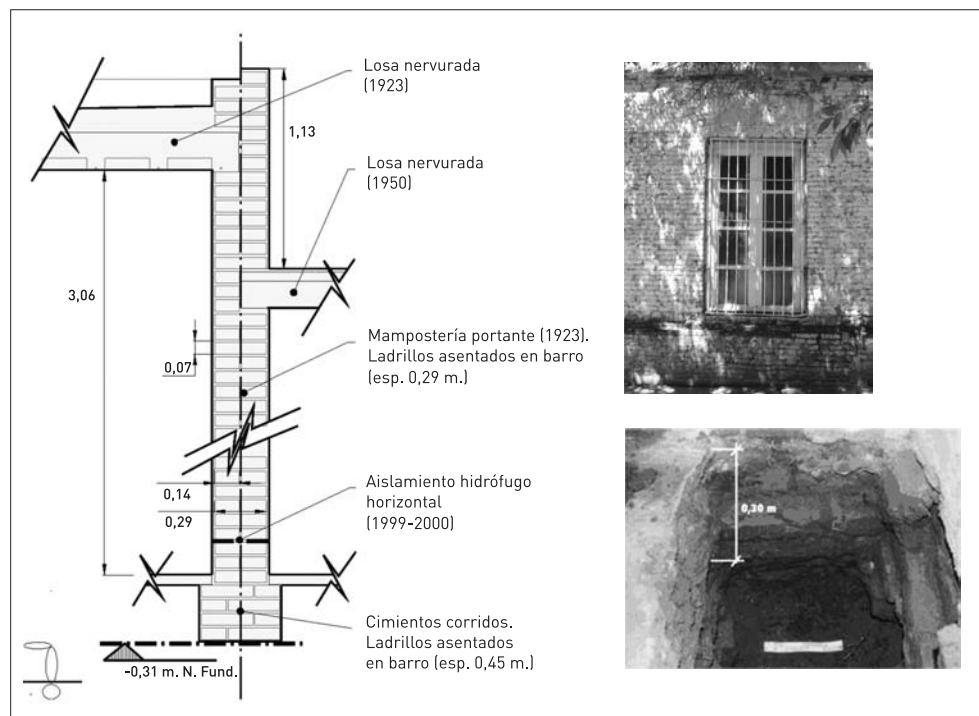


Figura 7
Técnica constructiva de construcciones mayores de 40 años.

Inferencias

Bajo este sistema complejo en busca de un nuevo equilibrio, el *proceso* de transformación debe entenderse en el sentido dinámico y no estático. Se lo considera como diversos micro-estados de algo, donde se reconoce un estado inicial y una serie de sucesos que conducen a otro último o actual. Son fases sucediendo en un determinado *tiempo y espacio*.

Características del estado inicial

- > Clima semi-árido, precipitaciones entre 700 y 800 mm anuales (Ravelo, Irastorza y Luque 2002: 69). Acuíferos libres entre 5 y 10 m de profundidad (IFGRN 1976: Tomo 1 y 8). Baja humedad natural del suelo ($W \sim 12\%$), peso unitario de 1,40 kg/cm³, presión de fluencia a humedad natural de $\sim 1,80$ kg/cm² y saturada de $\sim 0,45$ kg/m² (Rocca 2003). Presencia de iones hidrosolubles en distintos horizontes de suelos (IFGRN 1976: Tomo 2, Gorgas y Tassile 2002: 48).
- > Organización espacial irregular en una sola planta. Técnica constructiva basada en una cimentación corrida ($\sim 0,30$ m), mampuestos de ladrillos cerámicos cocidos, mortero de asiento de barro, e inexistencia de capas aisladoras horizontales.

Consecuencias de la variación climática

El aumento de precipitaciones se evidencia en los marcados excesos hídricos de la región pampeana central al constituir ésta una cuenca cerrada⁶ (IFGRN 1976: Tomo 1).

Consecuencia de los desequilibrios hídricos relacionados con la geomorfología

Las amplias variaciones de los horizontes de acuíferos libres generan un cambio en los contenidos de humedad de los suelos, humedecimiento y posterior desecación, promoviendo un efecto de *esponjamiento* que se repite sistemáticamente y que lleva a dos acciones asociadas:

- > Por un lado, la denominada *subsistencia* que es el hundimiento de la superficie en áreas extensas (Custodio y Llamas 1983: 2142), producto del colapso de suelos como lo demuestran estudios de humedecimiento-succión en laboratorio⁷ (Blundo 1997), y estudios *in situ* de fluencia lenta de suelos que simulan variaciones de niveles freáticos y llegan a establecer una dependencia intrínseca entre las condiciones de humedad y el estado tensional del suelo (Prone 2005a).
- > Por el otro, el *arrastré de iones hidrosolubles* contenidos en el suelo⁸ que llegan de manera intermitente a la superficie y a las construcciones por el fenómeno de capilaridad, luego al evaporarse el agua, los

6. La recarga de sus napas superiores se produce exclusivamente a través de precipitaciones.

7. Estudiado por Alonso y colaboradores en 1987 e incorporado a los suelos pampeanos por Marcelo Blundo (1997).

8. Los iones hidrosolubles provenientes del suelo se consideran una fuente de provisión infinita.

iones precipitan y cristalizan formando sales. Por preferencia química en la adsorción de los suelos ($Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ \geq NH_4^+ \geq Na^+$) se liberan iones sodio (Na^+) dejando superficies inertes con característicos manchones negruzcos (Convenio INTA-MAGYRR 1997: 31, IFGRN 1976: Tomo 8).

Características del estado actual

> Clima semi-húmedo, precipitaciones entre 900 a 1100 mm anuales a iguales condiciones de temperaturas (Ravelo, Irastorza y Luque 2002: 69, Ovando y de la Casa 2005: 289). Humedad natural del suelo que varía entre 12 y 35%, y una relación presión de fluencia/peso unitario que define diferentes porcentajes de colapso y una deformación comprobable de hasta un 14% (Rocca 2003). Acuíferos libres que llegan o llegaron en algunos períodos a nivel de superficie y cambio de los horizontes de iones hidrosolubles en los suelos (Gorgas y Tassile 2002: 48, IFGRN 1976: Tomo 1 y 8, Convenio INTA-MAGYRR 1997: 31).

Consecuencias en la arquitectura

En las construcciones se observan procesos de deterioros físicos y químicos en los materiales, cuya resultante se observa en toda la planta edilicia. Estos efectos son subsidiarios de lo inferido pudiendo diferenciarlos bajo la observación de tres lesiones características:

1. Daños estructurales a nivel de configuración arquitectónica (Eldridge 1982: 137). Evidenciando reincidentes fisuras y grietas generalizadas además de distorsiones en los niveles de solados, que pueden interpretarse como una continua interacción entre el suelo y la estructura (Pizzi 1986: 35, Prone 2005a).
2. Daños en los materiales por procesos físico-químicos. Denotan una degradación generalizada, en toda la planta edilicia de los mampuestos afectados por humedad de ascensión capilar (Massari 1962: 155) en combinación con el arrastre y precipitación de iones hidrosolubles (Prone 2005b).

3. Daños en los materiales por procesos físico-mecánicos. Denotan una marcada desagregación de los ladrillos y el mortero de asiento sobre el límite de humedecimiento capilar (Lozano Apolo, Santolaria Morros y Lozano Martínez-Luengas 1995: 15).

El agua es en las tres lesiones el elemento que genera los diversos tipos de asociaciones entre las variables causales que, de un modo u otro, disparan procesos adversos sobre las edificaciones. Las posibles combinaciones comprometen los mampuestos a través de procesos naturalmente diferentes y, por lo tanto, cada uno asume su propio modelo explicativo, Figura 8 y Tablas 2, 3 y 4.

Técnicas de investigación

Cada una de las *lesiones observadas* se corrobora bajo técnicas procedimentales propias, debido a que las posibles combinaciones de las variables independientes generan enfermedades a través de procesos naturalmente diferentes.

Figura 8
El agua como desencadenante de diversos procesos patológicos.

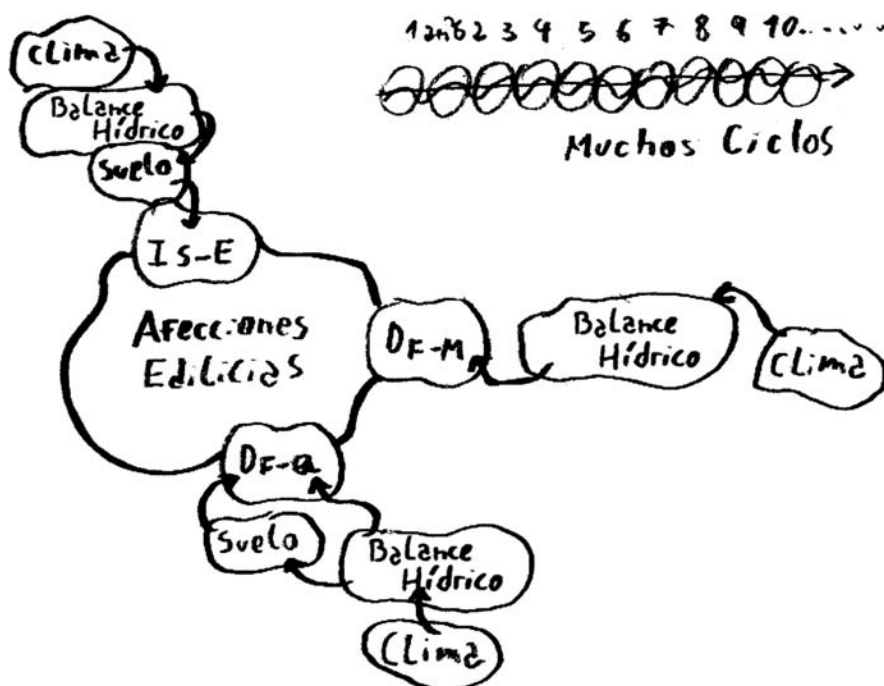


Tabla 2

Proceso crítico	Interacción suelo – estructura		
Asociaciones causales	Suelo	Balance hídrico	Clima
Modelo explicativo adoptado	<p>En este proceso actúan las variaciones de humedad; dependiente los ciclos de recarga de los acuíferos libres; sobre la constitución, formación y estado tensional de los suelos (arcillosos-limosos) presentes en la pampa loésica plana (Blundo 1997).</p> <p>Las construcciones siguen el comportamiento cíclico observado en los suelos.⁹ Las solicitaciones generadas por el suelo son absorbidas elásticamente por los materiales (Baglioni y Guarnerio 1988: 114). Si después de concluido el ciclo, los materiales son capaces de soportar las solicitaciones, volverán a su posición original. Pero sucede que ya sea por un estado de fatiga que lleva al agotamiento de los materiales, producto de muchos ciclos en construcciones mayores a 50 años; o porque las solicitaciones son mayores que la tensión de trabajo, se produce la desvinculación estructural entre las piezas que componen la construcción, volviendo luego solo parcialmente a su estado original. No existe un concepto neto de actividad e inactividad en las construcciones y suelos, sino más bien un concepto de ciclo continuo (apertura-cierre) dependiente del clima y tipo de suelo (Figura 9).</p>		

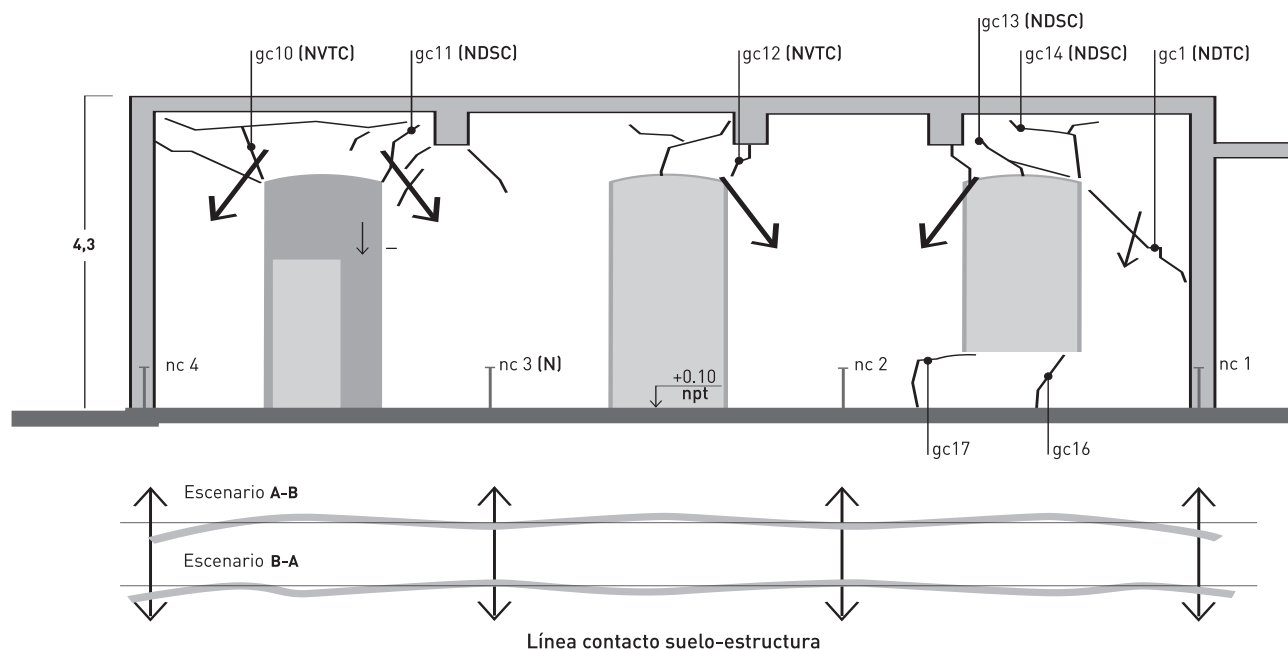


Figura 9
Comportamiento cíclico entre la línea de contacto del suelo con la estructura.

9. Corroborado a través de toma de niveles y amplitud de grietas en tres construcciones, períodos 2002-2005.

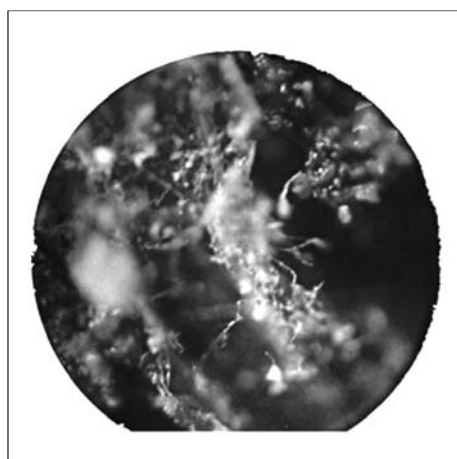
Tabla 3

Proceso crítico	Acción físicoquímica		
Asociaciones causales	Balance hídrico	Clima	Suelo

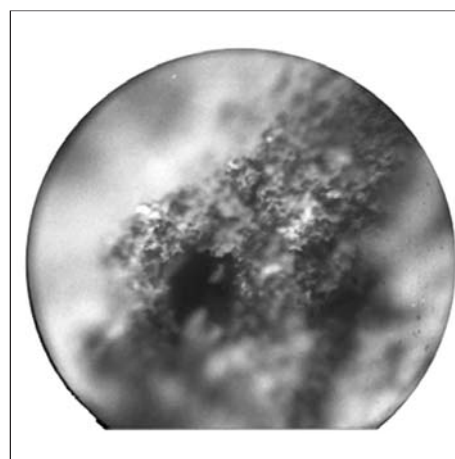
Modelo explicativo adoptado

La manifestación es denominada haloclastia (Lozano Apolo, Santolaria Morros y Lozano Martínez-Luengas 1995: 16). Primeramente se genera la migración por difusión y/o capilaridad de diferentes iones hidrosolubles disueltos por el agua de ascensión capilar proveniente desde el subsuelo. Al acumularse dichos iones o evaporarse el agente acuoso, el soluto se satura produciéndose en la precipitación la combinación de iones. En este proceso se forman estructuras cristalinas que se expanden en porcentajes diferentes, dependiendo de las combinaciones producidas (Font-Altaba 1965). Estas estructuras cristalinas son las denominadas sales y se depositan en forma de eflorescencias (sobre la superficie de los mampuestos) o de criptoflorescencias (en el interior de los poros de los materiales) (Figura 10). Esta última forma de deposición resulta en una tensión interna que lleva a producir en distinto grado la disgregación de los materiales (Sanjuán Barbudo y Castro Borges 2001: 15-23).

Nota: el proceso es cancerígeno, va atacando primero a las piezas más débiles. Desde de la primer descamación en la superficie suceden otras hacia el interior de la masa.



Poros de un ladrillo
Sales precipitadas sobre su cuenca
[Microfotografía x 30]



Mortero de barro
Disgregación por criptoflorescencias
[Microfotografía x 30]

Figura 10
Microfotografías que muestran criptoflorescencias.

Tabla 4

Proceso crítico	Acción físico – mecánica	
Asociaciones causales	Balance hídrico	Clima
Modelo explicativo adoptado	<p>Durante el transcurso de sucesivos ciclos de humedecimiento y secado, producidos por humedad de ascensión capilar, se provoca la alteración de la masa del material, presentándose la aparición de retracciones ligeramente superiores a la dilatación por humedecimiento (Figura 11) (Lozano Apolo, Santolaria Morros y Lozano Martínez-Luengas 1995: 16).</p> <p>Las manifestaciones comienzan con microfisuras, evidenciando la disminución de las características mecánicas.</p> <p>Luego se manifiestan desprendimientos de las partículas gruesas, que es la discontinuidad de la estructura del material.</p> <p>En un estado último de agotamiento, los materiales se disgregan en forma pulverulenta.</p> <p><i>Nota:</i> por la homogeneidad de un ladrillo la disgregación de sus partículas se sueltan desde afuera hacia adentro en forma de hojuelas muy finas que copian la micro estructura arcillosa.</p>	

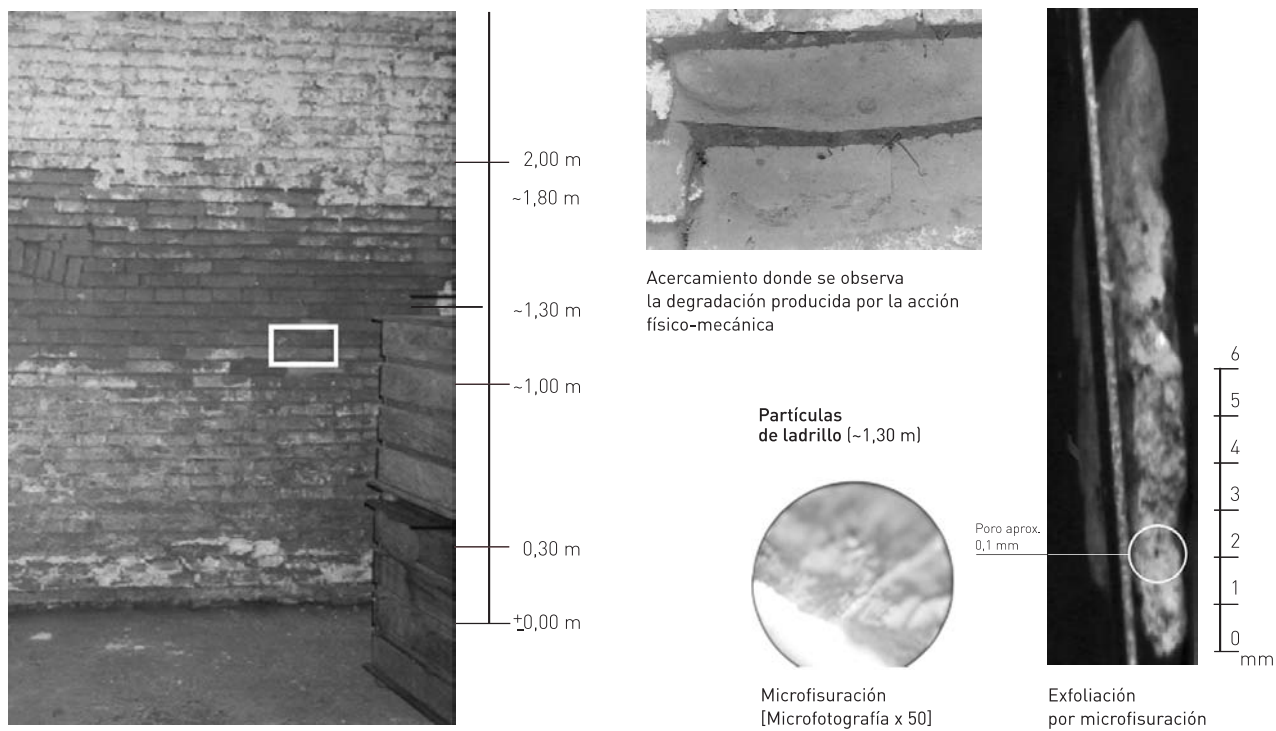


Figura 11
Se observa la acción físico-mecánica sobre el límite capilar.

Técnicas de corroboración para la lesión 1 (Figura 12)

Para evolucionar los signos en los mampuestos se utilizó un conjunto de sistemas (Maña 1978: 47-53):

- > a. Testigos de yeso en puntos clave.
- > b. Medición directa de la amplitud de grietas.
- > c. Medidas del asiento mediante toma de niveles relativos.

Para el estudio de los suelos se realizaron *ensayos de fluencia lenta* (Terzariol y Abbona 1997, 1998) en distintos puntos de la ciudad. Los puntos presentan diferencias en su composición mineralógica. En ensayos consiste en simular variaciones de acuíferos libres y observar el comportamiento de los suelos durante varios ciclos (Prone 2005a).

Técnicas de corroboración para la lesión 2 (Figura 13)

En suelos y mampuestos, se rastrearon vestigios de cristales producidos por la precipitación de iones hidrosolubles; estos últimos

podrían ser los causantes de las degradaciones. Se aplicaron dos técnicas con el objeto de poder comparar los resultados y validarlas de manera semi-cuantitativa. Esto aportó además el valor de un procedimiento de campo económico y eficiente para la determinación de cristales inorgánicos que son los causantes de las degradaciones (Prone 2005b). Los procedimientos aplicados fueron:

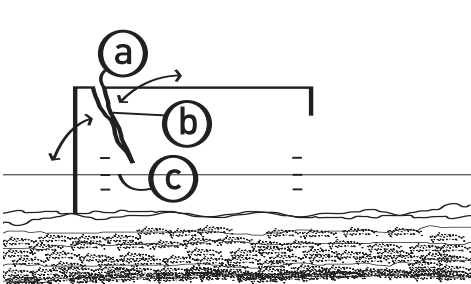
- > Procedimiento cuantitativo (difracción de rayos X).
- > Procedimiento semi-cuantitativo (papel pH, ácido clorhídrico, micro-observaciones).

Técnicas de corroboración para la lesión 3 (Tabla 5)

En este caso, los procedimientos de corroboración comprenden ensayos contemplados en las normas del Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM). Los ensayos de compresión, succión, absorción y resistencia a las heladas evalúan la acción del agua y de la humedad, y comprueban la

1. Previamente	Se colocan testigos de yeso en puntos claves.
2. Hipótesis	Los repetidos agrietamientos generales en los mampuestos y las distorsiones en los solados están relacionados con un primer estado de colapso y posteriormente con una continua interacción suelo-estructura, que es dependiente del estado climático, humedad y estado tensional del suelo.

3. Mampuestos → Agrietamientos generales → Se evolucionan a través de un conjunto de exámenes complementarios (Maña 1978:47-53):



- a. Testigo de yeso*
 - b. Amplitud de grietas*
 - c. Toma de niveles**
- a-b-c // d

Suelos → Estado tensional
(arenosos, limosos y arcillosos) Humedad (W)→

d. Ensayos de colapsibilidad *in situ**

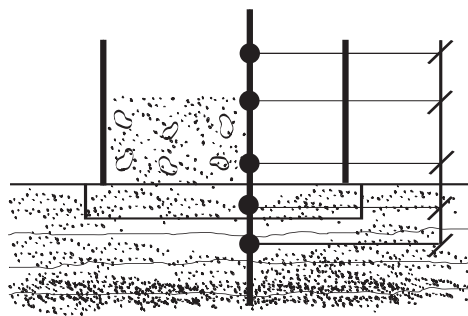
* Presentan antecedentes | ** Se realizó un ajuste metodológico

Figura 12
Técnicas de corroboración para evaluar la interacción del suelo con la estructura.

-
- 1. Previamente** Se observa la humedad capilar desde los suelos, en combinación con la degradación en los mampuestos.

 - 2. Hipótesis** La migración, precipitación y cristalización de diferentes iones hidrosolubles en los mampuestos es proveniente de los suelos y materiales constructivos.

 - 3. Exámenes complementarios** tienen por objeto



Evaluar la presencia de cristales
(iones hidrosolubles precipitados)

→ **Procedimiento de laboratorio***
(difracción de rayos X)

→ **Procedimiento observacional de campo***

* Ensayos realizados bajo los procedimientos del Departamento de Física-Química, Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina | ** Ensayos realizados bajo los procedimientos de campaña que se ajustaron para tal fin.

Figura 13
Técnicas de corroboración para evaluar la acción físico-química.

durabilidad de los materiales a través de la pérdida de su masa. La visibilidad del cambio se realiza a través de micro-observaciones.

Observaciones

Bajo un análisis de orden cualitativo sobre todos los vectores estudiados podemos afirmar que:

El *impacto es irreversible* en tanto se mantenga dependiente del factor climático, dado a que no es posible intervenir sobre un factor de origen natural.

El *impacto comprende áreas extensas* de la región pampeana argentina, afectando a sectores de las provincias argentinas de Santiago del Estero, Córdoba, Santa Fe, Buenos Aires, San Luis y La Pampa. Agudizándose en los sectores deprimidos y sobre los que se ha detectado el cambio en los niveles pluviométricos.

El *clima produce un efecto intermitente* pero recurrente en el tiempo. Se evidenció que al cambiar sus componentes de flujo fueron afectadas las características del ambiente químico, modificando la habitabilidad en éste, como así también la estabilidad de los com-

ponentes constructivos. Estas condiciones son ocasionadas por complejas interrelaciones entre las variaciones de los acuíferos libres y un soporte loésico muy sensible, en muchos casos inalterado.

La magnitud del impacto es *severa* en los sectores urbanos con una degradación adversa donde, sumado a la falta de potencial de evaporación, se agregan a la napa elevados porcentajes de aguas servidas a través de pozos ciegos. Pero la magnitud del impacto es *moderada* en los campos donde actúa fuertemente la evapotranspiración. Las observaciones y análisis realizados coinciden con las explicaciones dadas en la literatura sobre las degradaciones producidas durante varios ciclos intermitentes de humedecimiento – secado.

El trabajo brinda una respuesta técnico-científica dentro de una investigación multidisciplinaria y en el marco de un estudio de caso real.

Conclusiones

Si bien el agua siempre está presente como uno de los mayores agentes degradantes para

Propiedades Físicas

Ensayos	Norma	Nº de piezas	Objeto
> Compresión de bloques	IRAM 12586	10	Determinar la resistencia a compresión de piezas expuestas y sanas.
> Absorción de agua	IRAM 12588	10	Determinación de la resistencia a la intemperie, dependiente de las características mineralógicas y del grado de cocción del bloque.
> Succión	IRAM 12589	10	Determinar la capacidad de imbibición de agua a corto plazo en el seno de la masa por el fenómeno capilar.
> Resistencia a las heladas	IRAM 12591	10	Determinar fallos de fabricación, especialmente de cocción, que puedan afectar la durabilidad de los mismos.

las construcciones, ha sido a partir de la década de 1970 hasta la actualidad cuando se han producido los procesos más trascendentales. Esto es lo que se ha intentado demostrar en los itinerarios que ella puede recorrer. Es en el interior de la masa del mampuesto donde se observa su activa interacción. En su relación con el exterior y su traspaso al ambiente es donde se hace claramente visible la degradación. Estos efectos, visibles actualmente, son los que se desencadenaron hace ya 40 años y aún hoy siguen en proceso. Por otra parte, dentro de los efectos en las edificaciones, encontramos fenómenos que podrían establecerse como discusiones respecto a la literatura más clásica: por un lado, la continua interacción entre el suelo y la estructura que genera reincidentes agrietamientos generales, muy por el contrario de lo que se esperaba respecto a una actividad y posterior inactividad. Por el otro, las transformaciones físicas y químicas que son mencionadas en la literatura como un proceso de cristalización y formación de sales, y que logramos desdoblar además en un segundo proceso de degradación netamente físico-mecánico. Por lo tanto, se observa que existe un proce-

so en vías de desintegración y, al mismo tiempo, de organización (ciclo continuo y recursivo), dependiente del factor climático. Desde lo físico, se produce un principio hemorrágico de degradación y de desorden (segundo principio de la termodinámica) ■

Tabla 5
Ensayos para evaluar la acción físico-mecánica sobre los materiales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAGLIONI, A., y G. GUARNERIO.

1988. *La rehabilitación de los edificios urbanos* (Barcelona: Gustavo Gili).

BIDEGAIN, Mario, y Claudia DESHA-YES. 2005. "Escenario de cambio climático para la precipitación en el sur de Sud América", en *XX Congreso Nacional del Agua, Mendoza-Argentina*, mayo 2005 (Mendoza: Departamento General de Irrigación), 163.

BLUNDO, Marcelo O. 1997. *Estudio de los asentamientos inducidos por variaciones del nivel freático* [Trabajo final inédito, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Área Geotecnia. Universidad Nacional de Córdoba].

CONVENIO INTA – MAGYRR. 1997. *Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3163-34 Las Varillas* (Córdoba: Plan Mapa de Suelos Córdoba).

CUSTODIO, Emilio, y Manuel Ramón LLAMAS. 1983. *Hidrología subterránea*, tomo II (Barcelona: Omega).

ELDRIDGE, H. J. 1982. *Construcción defectos comunes* (Barcelona: Gustavo Gili).

FONT-ALTABA, M. 1965. *Atlas de mineralogía* (Barcelona: Jover).

GORGAS, Juan A., y José Luis TASSILE. 2002. *Regiones naturales de la provincia de Córdoba* (Córdoba: Agencia Córdoba Ambiente).

IFGRN (Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales). 1976 *Convenio argentino-alemán de aguas subterráneas, agosto 1969 - marzo 1973*, 8 tomos y anexos, en la Dirección de Hidráulica de la provincia de Córdoba. Tomo 1 *Realización de los trabajos y recopilación de los resultados*, tomo 2 *Llanura pampeana - hidrogeología*, tomo 8 *Llanura pampeana - balance químico* (Hannover: Instituto Nacional de Geociencias y Recursos Naturales).

LOZANO APOLO, J., C. SANTOLARIA MORROS y A. LOZANO MARTINEZ-LUENGAS. 1995. *Curso de tipología, patología y terapéutica de las humedades* (Gijón: Consultores técnicos de construcción CB).

MAÑÁ, F. 1978. *Patología de las cimentaciones* (Barcelona: Blume).

MASSARI, Giovanni. 1962. *Desecación higiénica de los locales húmedos* (México: Compañía Editorial Continental).

MORENO, Carlos. 1998. *Patrimonio de la producción rural* (Buenos Aires: Agencia Periodística CID).

OVANDO, G., A. de la CASA y A. RODRÍGUEZ. 2002. "Variabilidad temporal de la precipitación media anual en la provincia de Córdoba, Argentina, evaluada por medios geoestadísticos" [Córdoba: inédito en Cátedra de Climatología y Fenomenología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba].

OVANDO, G. y A. de la CASA. 2005. "Modelos periódicos seculares de la deficiencia y el exceso de agua del suelo en una transecta de la región central de Córdoba, Argentina", en *XX Congreso Nacional del Agua, Mendoza-Argentina*, mayo 2005, (Mendoza: Departamento General de Irrigación), 289.

PIZZI, C. 1986. *Mantenimiento de los edificios de vivienda individual y colectiva* (Córdoba: Editorial Central Gráfica).

PRONE, Pablo A. 2005a. "Interacción suelo-estructura en construcciones de la región pampeana argentina", en *VIII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y X Congreso de Control de Calidad en la Construcción*. Asunción, Paraguay, septiembre de 2005, VI 17-24.

———. 2005b. "Degradaciones físico-químicas en mampuestos afectados por ciclos de humedad capilar", en *VIII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y X Congreso de Control de Calidad en la Construcción*. Asunción, Paraguay, septiembre de 2005, VI 25-32.

RAVELO, A. C., R. IRASTORZA y L. E. LUQUE. 2002. "Variabilidad de la tendencia en series pluviométricas de la provincia de Córdoba (Argentina)", *Revista argentina de agrometeorología*, 2 (1): 69-74.

REDOLFI, Emilio y Marcelo ZEBALLOS. 1996. "Superficie de estado en suelos de formación loésica cordobesa", en *Encuentro de Geotécnicos Argentinos, Córdoba - Argentina*, agosto 1996 (Córdoba: Sociedad Argentina de Mecánica de Suelos), GT'96. V.4.

ROCCA, R. J. 2003. *Cálculo de los asentamientos por colapso en suelos loésicos de Córdoba* (Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, Depto. de Construcciones Civiles. Área Geotecnia, 2003), sin editar.

SANJUÁN BARBUDO, M. A., y P. CASTRO BORGES. 2001. *Acción de los agentes químicos y físicos sobre el concreto* (México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto).

TERZARIOL, Roberto E., y Pablo V. ABBONA. 1997. "Ensayos de colapsabilidad in situ", en *Encuentro de Geotécnicos Argentinos, Córdoba - Argentina, noviembre, 1997* (Córdoba: Ed. Sociedad Argentina de Mecánica de Suelos), GT'97. VII.4.

———. 1998 "Determinación de la colapsabilidad in situ", en *Encuentro de Geotécnicos Argentinos, Córdoba - Argentina, octubre, 1998* (Córdoba: Ed. Sociedad Argentina de Mecánica de Suelos), GT'98. II.9.

RECIBIDO: 6 junio 2005

ACEPTADO: 26 marzo 2006

CURRÍCULUM

PABLO ANDRÉS PRONE es arquitecto. Fue abanderado durante el período lectivo 1998, en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de Tucumán, de la que egresó en 1999. Durante el período 1999-2001 fue asistente de la Maestría en Diseño Arquitectónico Avanzado de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad de Buenos Aires y colaborador en el estudio de arquitectura lúdica, Pfeifer & Zurdo arquitectos de Buenos Aires. Desde el 2002 al 2006 fue becario doctoral del CONICET con sede para investigación en TIDE, FAUD, Universidad Nacional de Córdoba. Actualmente prepara su defensa de tesis doctoral en la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Mendoza.

Taller de Investigación de Diseño Estructural (TIDE)
Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño
Universidad Nacional de Córdoba |
Ciudad Universitaria, Ciudad de Córdoba, Argentina.

Dirección particular: Mariano Moreno 179, 5940 Las Varillas,
Córdoba, Argentina
Tel.: (03533) 42-0146, (0387) 15-684-5629
E-mail: pabloprone@yahoo.com