

# Procesos de *piping* en el piedemonte distal de la Precordillera Oriental, provincia de San Juan: factores y relieve

Graciela M. SUVIRES

CONICET. Instituto de Geología. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan.  
Avda. Ignacio de la Roza y Meglioli. Rivadavia, 5400 San Juan  
E-mail: [ingeo@unsj-cuim.edu.ar](mailto:ingeo@unsj-cuim.edu.ar)

RESUMEN. En la región, ubicada al norte del río San Juan, 31°30'S y 68°30'O, parte distal del piedemonte oriental de la Precordillera Oriental, sector La Laja - El Salado, se encontró la presencia de *piping* en sedimentos y sedimentitas finas rosadas pertenecientes a secuencias neógenas. Se investigan los condicionantes y factores que favorecieron su génesis. Se interpreta, que este proceso es la causa principal de la formación del relieve erosivo con desplomes, hundimientos, caída de rocas en ladera y de la erosión retrocedente existente en las cabeceras y base de los barrancos. Se analizan los distintos factores ambientales: climáticos, litológicos y estructurales de la región. Entre los condicionantes favorables resultan: la presencia de sedimentos y afloramientos de argilitas con muy altos contenidos en sodio, en un clima árido-seco con amplia variación estacional de precipitaciones. Además, la actividad neotectónica presente en ese sitio coadyuva mediante la emergencia de agua subterránea con alta mineralización a contaminar los afloramientos de argilitas. El *piping* resulta ser entonces, en esta región árida y con actividad neotectónica, un peligro subsuperficial para tener en cuenta en la planificación territorial.

Palabras clave: *Proceso, Relieve erosivo, Riesgo, Factores, Uso de la tierra*

ABSTRACT. *Piping processes in the eastern piedmont of the Eastern Precordillera, San Juan Province.* Piping process in fine-grained, pink coloured Neogene sediments and sedimentary rocks were studied in the La Laja-El Salado area, northern Río San Juan, in the distal and eastern piedmont of the Eastern Precordillera. Conditions favourable to the genesis of piping were investigated through aerial photo interpretation and fieldwork, and it was concluded that the factors controlling its occurrence are lithology, climate, structure and landscape. The piping in the study area took place mainly in fine clayey materials, with very high values of sodium, and in a dry and arid climatic environment. Neotectonic activity is particularly important for evaluation of the piping processes: some erosional geomorphological features are interpreted as being produced by piping, and the process thus represents a great subsurface hazard that needs to be taken into account in land use planning.

Key words: *Piping, Erosional relief, Risk, Environmental factors, Land use*

## Introducción

En las regiones desérticas de la Argentina, y particularmente en la provincia de San Juan, los procesos de *piping* (también conocido como sufosión) y sus efectos, no han sido suficientemente estudiados ni considerados en la planificación de obras de arte, construcción de embalses y obras de irrigación. Sin embargo, en los alrededores de presas embalses, dique Cuesta del Viento y de Ullum, en San Juan, algunos autores como Yacante *et al.* (1997), observaron este proceso en condiciones ambientales similares a las del presente análisis. Algunas construcciones de presas de tierra en el mundo se han desintegrado debido a este riesgo. El área de estudio se inserta en el ambiente pedemontano oriental de la Precordillera Oriental, sector La Laja - El Salado, al norte de la cuenca del río San Juan, en la intersección de los 31° 30'S de latitud y 68° 30'O de longitud. Su distancia a la ciudad capital de

San Juan es de 27 km, y se encuentra limitada al oeste por la sierra de Villicum, al este por las Lomas de la Tierrita, al norte por lomadas que bordean la margen izquierda del arroyo El Salado, y hacia el sur por el baño de la Laja, que hacia el este da a la planicie del valle del Tulum, como se observa en la fotografía aérea de la figura 1.

El objetivo de este trabajo es reconocer la existencia de estos procesos de disolución subsuperficial (*piping* o sufosión) en el sector La Laja- El Salado y analizar los distintos factores ambientales tales como litología, clima y rasgos estructurales neotectónicos que han participado en el desarrollo del proceso. Además, advertir sobre este peligro y la necesidad de su análisis previo a la ubicación de obras en regiones áridas.

El desarrollo de este proceso en la región hiperárida de estudio, con precipitaciones menores a los 80 mm/año, donde la cantidad de agua de origen meteórico no contribuye a la dispersión y disolución del sodio en las arcillas

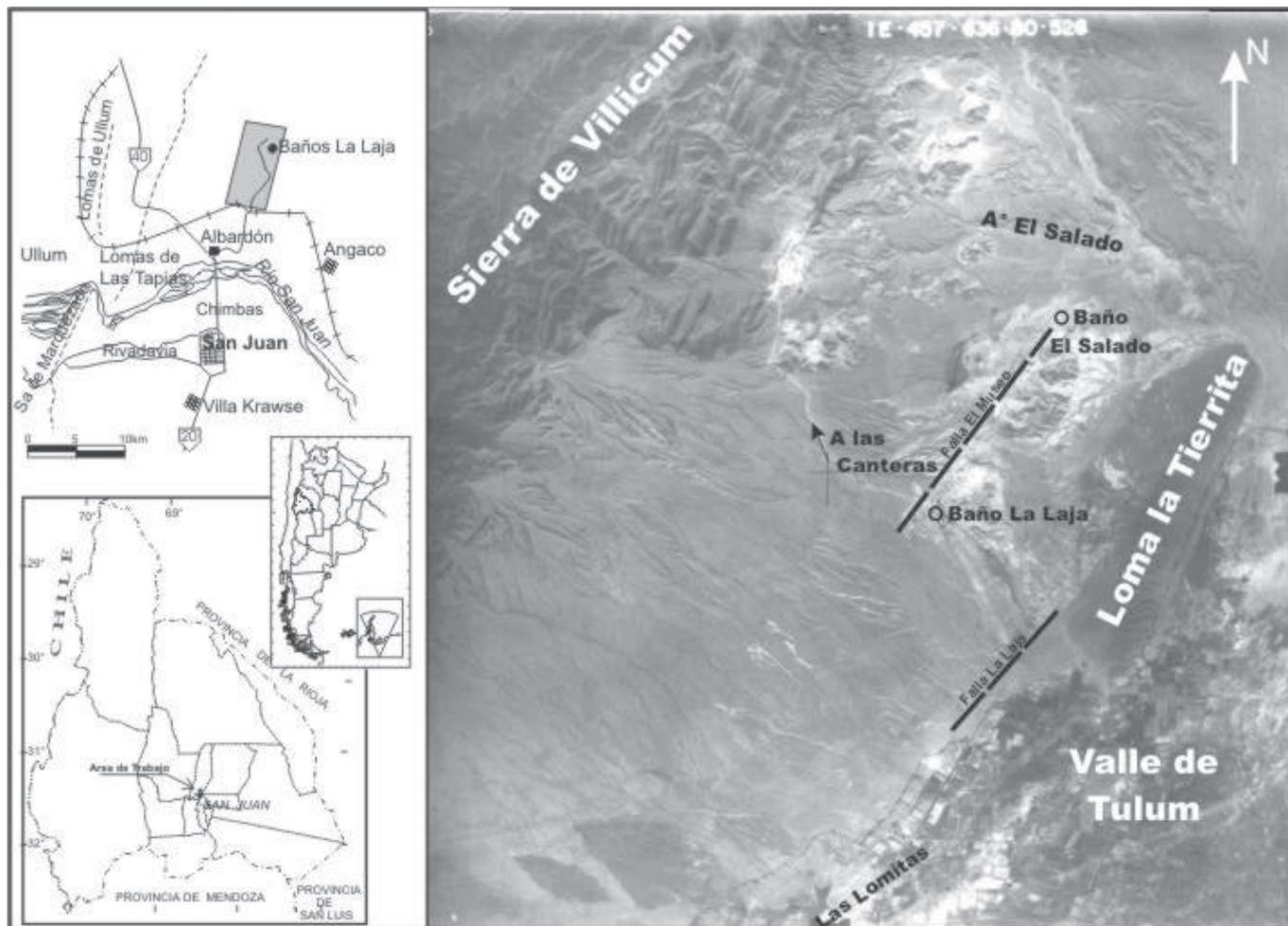


Figura 1: Mapa de ubicación y foto aérea de la región.

neógenas aflorantes, llevó a investigar otras probables causas o factores de formación no identificados. A partir de este trabajo, se plantea un nuevo factor presente en el desarrollo del *piping*, al menos en esta zona de estudio, el neotectónico.

### Definición del *piping*

El término sufosión procede del latín *suffossio* que significa, esencialmente, excavar por debajo y, accesoriamente, perforar de abajo a arriba. No obstante, el término *piping*, de difícil traducción al castellano, es más ampliamente utilizado. Jones (1981) efectúa una disquisición más amplia sobre la terminología y definiciones del *piping*. Define a la sufosión *-piping-* como «la formación de conductos (*pipes*) naturales en el suelo u otros depósitos no consolidados por eluviación o por procesos de erosión diferencial subsuperficial». El *piping*, *tunnelling* o sufosión, se lo define como el desarrollo natural de un drenaje subsuperficial en rocas clásticas, y consiste en la movilización de partículas sólidas que se transportan en suspensión por el agua.

### Metodología

Se elaboró un análisis geomórfico previo del área, mediante el examen e interpretación de fotogramas a escala aproximada 1: 50.000 y de imágenes satelitales Landsat 1: 250.000. En el control de campo se seleccionó una quebrada muy afectada por *piping* para el muestreo y para el estudio morfométrico (tamaño, profundidad y disposición vertical, horizontal o subhorizontal) de los *pipes* (Fig. 2). Las tareas de campo se realizaron en dos estaciones contrastadas, una en invierno de 1996 (seco) y la otra en verano del 2002 (húmeda), con el objeto de precisar la evolución de los conductos (*pipes*) y del relieve en un lapso de seis años.

En la quebrada seleccionada, indicada en la figura 2, se extrajeron dos muestras de 1000 g cada una, con pala, a 40 cm de la superficie, una en la porción superior de una ladera y la otra en la base de la misma. En el laboratorio de suelos del INTA-San Juan, se determinaron los valores de la conductividad eléctrica (C.E.e.), pH en pasta y relación 1:10, cationes en el extracto de saturación (calcio, magnesio, sodio y potasio); aniones en el extracto de saturación (cloruros, sulfatos y bicarbonatos) y contenido

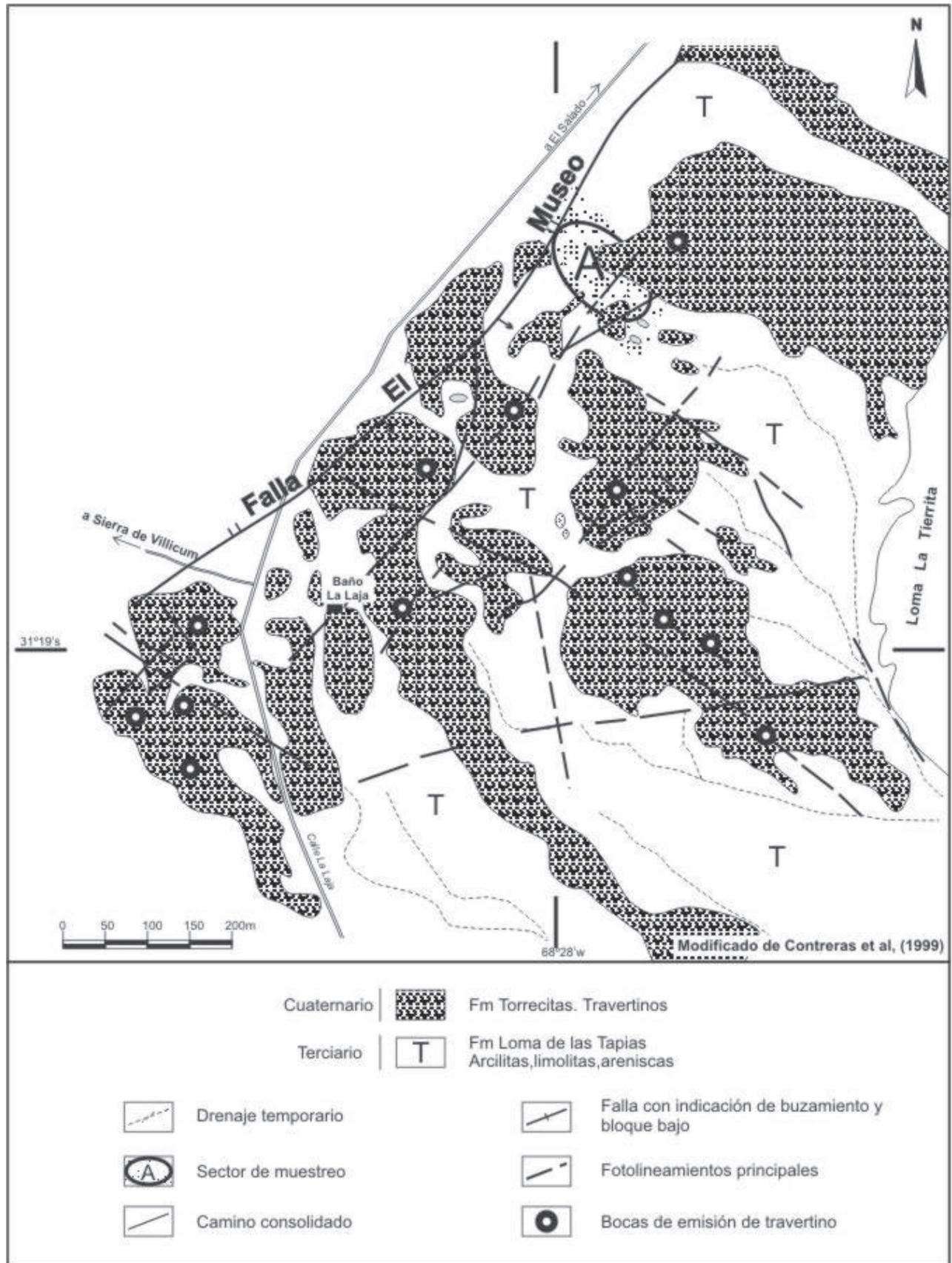


Figura 2: Unidades geológicas y estructuras de la región.

**Cuadro 1:** Resultados de los análisis químicos de las muestras\*

Muestra	Sitio	Cee	Ph	Cationes me/l ( en solución)			Aniones me/l				CO <sub>3</sub> Ca %
				Ca	Mg	Na	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	
		μScm <sup>-1</sup>	Pasta								
1	1- Ladera (parte sup.)	141.200	7,9	91,7	50,4	2.451,2	.-	1,6	2.478,9	68,6	6,8
2	2- Ladera ( base)	149.700	7,8	33,4	131,6	2.964,7	.-	2,1	2.774,7	547,1	1,7

\*Lab. INTA-San Juan

en calcáreo. Con los valores de calcio, magnesio y sodio expresados en meq/l del extracto de saturación se calculó la relación de adsorción de sodio (RAS).

#### Resultados del análisis de laboratorio

Los valores de los análisis de laboratorio en cada una de las muestras se presentan en el cuadro 1.

Los aniones: carbonatos cloruros y sulfatos arrojan diferentes valores en ambas muestras, siendo la mayoría más elevados en la muestra 2. El análisis de los valores de la concentración de los cationes en la solución (Ca, Mg y Na) muestran que el contenido de sodio es superior 20 veces al de magnesio y 30 al de calcio. En estos sedimentos, el ph es superior a 7,5 y la conductividad eléctrica (Cee) mayor a 141.000 mScm<sup>-1</sup>. Los resultados diferentes en las dos muestras se interpretan como debido a las variaciones y alto grado de influencia del sitio de donde se extrajeron las mismas; en la muestra 1, en la cumbre, existen más procesos de lavado y eluviación, que en la 2, a la base, donde se acentúa la concentración de aniones y cationes, a excepción del calcio y carbonato de calcio que disminuyen. La relación de adsorción de sodio (RAS) calculada da un valor muy elevado de 250. Gutiérrez *et al.* (1988) consideran que las elevadas concentraciones en sodio dan lugar a la dispersión de las arcillas y a los esfuerzos entre partículas que se manifiestan en superficie generando un sistema superficial de grietas.

#### Resultado morfométrico de los pipes

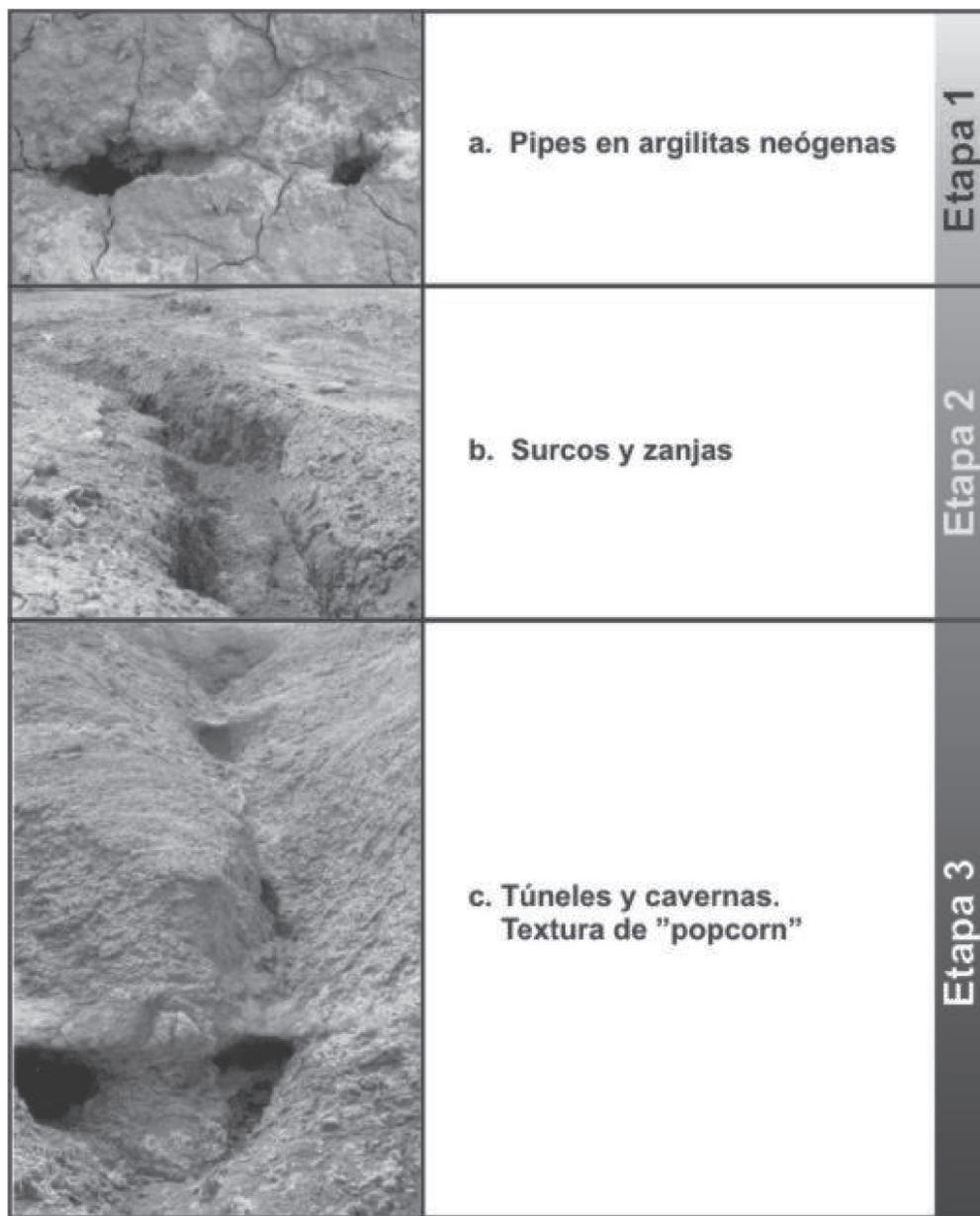
En la primer campaña realizada (agosto, 1996) se midieron distintos pipes, ubicados en la quebrada seleccionada para tal fin, precisamente en afloramientos de sedimentos árgicos rosados. Las medidas de los orificios o conductos, revelan que el ancho es mayoritariamente más grande en dirección de la pendiente y de la escorrentía, que en forma transversal a las mismas, variando para los primeros entre 6 a 54 cm y para los segundos entre 6 a 26 centímetros. Las formas de los pipes son principalmente ovaladas y secundariamente circulares (Figs. 3 a y 4). Los pipes se disponen a lo largo de rills y mientras que, en

superficie tienen tamaños decimétricos a centimétricos, en profundidad aumenta llegando en ocasiones a conectarse unos con otros formando galerías subterráneas. Las profundidades medidas superan los 300 cm (Figs. 3 c y 5). Estas medidas son relativas dado que los desmoronamientos interiores impiden tomar una medida precisa. En las lomadas cuando la pendiente es suave, los pipes se profundizan en sentido inclinado hasta vertical superando los 190 cm; mientras que en aquellos tramos donde la pendiente aumenta, los conductos se hacen más horizontales, en forma casi subparalela a la superficie del terreno. Profundas grietas, de forma irregular, alcanzan profundidades superiores a 200 centímetros. También se producen hundimientos en el lecho del barranco y en sus paredes, lo que trae consigo una profundización y ensanchamiento del mismo. El segundo viaje a la zona en el verano de 2002, coincidió con la estación más húmeda, encontrando el tamaño de la mayoría de los pipes más pequeños y cerrados en superficie.

La apariencia en superficie de terrenos consistentes se desmorona al apreciar la diversidad de conductos subterráneos interconectados.

#### El relieve y su evolución como consecuencia del piping

El sector La Laja- el Salado presenta un relieve de lomadas y barrancos, con características erosivas, ofreciendo un paisaje de diferentes colores entre el rojo de los sedimentos neógenos y el pardo amarillento, verde, gris y blanco de los bancos de travertino (Figs. 6 y 7). Los bancos de travertino (Formación Torrecitas), de algunos centímetros a varios metros, cubren a los afloramientos terciarios que infrayacen en discordancia angular. Constituyen diferentes niveles regionales de glaciares que descienden, a través del piedemonte, desde el frente montañoso de la sierra de Villicum hacia el sudeste. Son interrumpidos por los sistemas de fallas modernos de rumbonor-nordeste, generando escalones a contrapendiente, con su lado oriental elevado y el buzamiento del plano de falla hacia el sudeste. Esta situación estructural favorece la emergencia de fuentes de agua muy mineralizada contaminando a las sedimentitas neógenas, favoreciendo además el desarrollo de una vegetación típi-

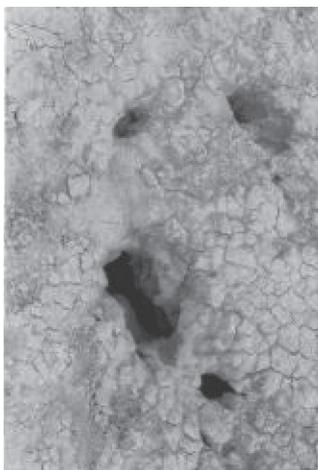


**Figura 3:** Etapas de evolución del relieve por *piping*.

ca de descarga y alta salinidad. En estos sitios aparece a primera vista la textura de *popcorn* y con mayor detalle los *pipes*. Los bancos de travertino caen hacia los barrancos en grandes bloques o en fragmentos lajosos por falta de sustentación en su base constituida por las argilitas. El examen de campo efectuado induce a sostener que el *piping* en esta secuencia de sedimentitas neógenas, que infrayace al travertino, es la causa principal de los desplomes, subsidencia y hundimiento de los bancos de travertino. La evolución en el desarrollo de los *pipes* y de las chimeneas subterráneas provocan la falta de sustentación de los bancos de travertinos al techo. Estos caen en forma de bloques originando un relieve erosivo con laderas de aspecto ruiforme (Fig. 7). La vegetación

halófitas se concentra cubriendo amplios pozos con apariencia de pseudodolinas. Los orificios evolucionan aumentando su tamaño hasta ponerse en contacto unos con otros, ampliando sus dimensiones superficiales, y dando lugar a formas de *rills*, surcos, zanjas o cárcavas (Figs. 3 a, b y c). En un grado mayor de evolución del relieve estos *pipes* se conectan en profundidad con los túneles y cavernas, favoreciendo el hundimiento, desplome y descenso topográfico, con la consecuente pérdida de suelo y de relieve. Estos relieves son reconocidos con el nombre de *badlands*, característicos por su carácter erosivo en barrancos y cárcavas.

Bellio (1956) y Contreras *et al.* (1999) identificaron en el relieve de la Formación Torrecitas (travertino), tres tipos



**Figura 4:** Pipes elongados en la dirección de la pendiente.

principales de geoformas: siendo las primeras cónicas, semejantes a volcanes, con un conducto central por el que debió ascender el agua mineralizada generadora del travertino (bocas de emisión en la figura 2). El tamaño de los conos es variable y con boca de salida que va entre 3 a 60 metros, correspondiendo los más grandes, a los depósitos de travertino más antiguos. Las segundas, formas constructivas colapsadas, son más chatas que las anteriores. Las terceras, son formas colapsadas, semicirculares, en cuyos bordes las capas de travertino están volteadas, inclinando hacia el centro y dejando ver en su interior los sedimentos neógenos de color pardo amarillento, semejantes a pseudodolinas.

Gutiérrez *et al.* (1995) y Jones (1981), señalan que el *piping* es relativamente frecuente en los sistemas de barrancos y colabora activamente en la progresión de los mismos. En Nigeria, el retroceso de la cabecera de los barrancos, realizado mediante comparación de fotografías aéreas de 1956 y 1972, arrojó valores para los grandes barrancos de 20 m/año (Jones y Holtz 1973, Thomas 1994). Por su parte Crouch (1990), utilizando perfiladores microtopográficos en New South Wales (Australia), calculó un retroceso de 1 m/año, mientras que Oostwoud y Bryan (1994) aplicando un balance de sedimentos obtienen valores de retroceso que fluctúan entre 0,5 y 10 m/año para Lameluk en el distrito de Baringo, Kenia.

En el sector de estudio, La Laja- El Salado, las observaciones efectuadas entre 1996 y 2002, representan un corto intervalo de tiempo como para poder cuantificar el retroceso en las cabeceras de los barrancos. En los seis años, el paisaje no ha sufrido mayores variaciones perceptibles naturales, no así en cuanto a las antrópicas, producto de la explotación de las canteras de travertino.

#### *Resultados de los condicionantes ambientales*

*Factor climático:* Gutiérrez *et al.* (1995) señalaron que la sufusión alcanza un mayor grado de desarrollo en las zonas semiáridas, debido a tres circunstancias: la necesidad



**Figura 5:** Cavernas subterráneas visibles a la base de la ladera

de un agrietamiento por desecación que favorece el inicio del *piping*; la existencia de lluvias de tormenta esporádicas que alimentan rápidamente a los conductos y túneles y evacuan el material a favor de fuertes gradientes hidráulicos y la presencia de una vegetación esteparia. Sin embargo, en la zona aquí analizada las características climáticas difieren de las semiáridas porque corresponde a una zona de extrema aridez. Por su parte, Parker (1963), Jones y Holtz (1973), Jones (1981), Bryan y Yair (1982) y Gutiérrez Elorza (2001), observaron que el *piping* se localiza preferentemente en áreas cuyos climas presentan fuertes contrastes estacionales y sobre todo una gran variabilidad en la precipitación, tales como los climas mediterráneos.

Diferentes análisis climáticos para la región de estudio han sido efectuados por Minetti (1986), Minetti y Martínez de Riveros (1988) y Poblete y Minetti (1989), determinando un régimen climático, aplicando la clasificación de Köppen (basada en las temperaturas medias y las precipitaciones mensuales), de clima seco desértico (BW). El grupo B, clima seco, es donde la evaporación excede a la precipitación media anual por lo que en consecuencia, no hay remanentes de agua o cursos permanentes alimentados por precipitaciones pluviales, siendo característicos los arroyos temporarios o wadis. El subgrupo W, corresponde a desértico o árido con precipitaciones menores a 250 mm anuales que se producen en los meses de verano. Se presentan dos regímenes estacionales de precipitación netamente diferenciados: el invernal y el estival. En la zona La Laja-El Salado, las precipitaciones pluviales tienen un régimen estival y no alcanzan los 80 mm/año, en general. Se desarrollan en breves períodos de tiempo y con alta intensidad en forma torrencial (chaparrones). Estas lluvias de verano movilizarían no sólo los sedimentos superficiales sueltos (productos del termoclastismo) sino que además favorecen la dispersión de las arcillas en los suelos y sedimentos árgicos con elevado contenido en sodio. En invierno las lluvias son menos frecuentes, de menor intensidad y de una duración relativa mayor que las de verano. La vegetación es escasa, con un mínimo porcentaje de cobertura del suelo, dominando el monte de jarilla (*Larrea* sp.) y las halófitas. Próximo al área de estudio (31°34'S y 68°25'O) se ubica la estación meteorológica San Juan (aeropuerto), cuyos registros son: altura sobre el nivel del mar de 598 m; amplitud tér-



**Figura 6:** Barrancos por erosión retrocedente y pseudosumideros cubiertos con vegetación halófila.

mica de 19,2°C; temperatura media máxima en enero de 26,6°C; temperatura media mínima en julio de 7,4°C; temperatura media anual de 17,3°C; precipitación máxima en febrero de 28 mm; precipitación mínima en julio de 1 mm; precipitación media anual de 89 milímetros. Estos valores demuestran el carácter de extrema aridez de la región, donde se originan estos procesos, señalando la necesidad de ampliar el rango de ámbitos climáticos de ocurrencia de los mismos, desde zonas semiáridas a hiperáridas.

*Factor litológico:* El desarrollo de *piping* se presenta en sedimentos y en sedimentitas (limolitas, areniscas y arcilitas), de color pardo claro y rojizos (5YR 5/6 en húmedo y 2,5 YR 6/4 en seco), asignadas a las secuencias neógenas de la Formación Lomas de Las Tapias (Serafini *et al.* 1986). El agrietamiento por desecación es uno de los factores más importantes en la generación del *piping* (Parker *et al.* 1990) y alcanza una gran intensidad con la existencia de arcillas hinchables (Parker y Jenne 1967). En verano, los materiales se contraen y con las lluvias de tormenta se rellenan las grietas y las arcillas pueden dispersarse (Marshall y Workman 1977). Si bien la existencia de arcillas hinchables es un factor muy importante en el desarrollo del *piping*, no es imprescindible, sino que y según Sherard y Decker (1977), lo que controla la susceptibilidad al *piping* es el contenido de cationes de  $\text{Na}^+$  disueltos en el agua de los poros, con respecto a la suma de los cationes de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ . En los sedimentos muestreados, el alto contenido de  $\text{Na}^+$  determinado, coadyuva a sostener este concepto. La zona con presencia de *piping* se localiza en el bloque elevado de la falla El Museo (nornordeste). La falla elevaría además el gradiente hidráulico en ese sector facilitando la movilización de las arcillas.

La Formación Loma de Las Tapias posee tres miembros de diferentes granometrías, pero en general las tres son finas, siendo llamadas Limolita La Colmena (inferior), Arenisca Albardón (medio) y Conglomerado El Chilote (superior). Esta formación se extiende en gran parte de la cuenca inferior del río San Juan, depresión de Tulum, adosada



**Figura 7:** Relieve ruiforme en ladera con bloques de travertino caídos sobre argilitas neógenas.

a cordones montañosos calcáreos y clásticos paleozoicos. Algunos de estos depósitos neógenos infrayacen, en discordancia angular, a bancos subhorizontales, grises, pardo amarillento, pardo oscuro y blanco de travertino. Éstos conforman la unidad litoestratigráfica denominada informalmente por Uliarte (1977) como Formación Torrecitas. Comprende todos los depósitos de tufas y travertinos aflorantes en los campos que incluyen los baños de La Laja y el El Salado y la loma de Las Tierritas. Los depósitos de travertino tienen espesores variables que oscilan entre algunos centímetros hasta aproximadamente 20 metros.

*Factor estructural neotectónico:* El sistema de fallamiento de la Precordillera oriental se localiza en el borde este de esta morfoestructura, con una longitud aproximada de 120 kilómetros. Los cordones montañosos se extienden en dirección meridional desde la sierra de Villicum por el norte hasta la sierra de Pedernal - Acequión por el sur (Bastias 1986). Las secuencias neógenas cuspidales representadas por los conglomerados de la Formación Mogna, están presentes hacia el este de la zona, en las proximidades de las Lomas La Tierrita y El Salado. Estas lomadas se vinculan con la actividad tectónica de la región, que se manifiesta además en una zona de fallamiento activo, cuyos movimientos se evidenciaron en la falla La Laja, epicentro del destructivo terremoto del 15 de enero de 1944 de la ciudad de San Juan, con magnitud de 7,4, y con un desplazamiento de 30 a 60 centímetros. En esta área, numerosos trabajos de campo de control topogeodésico se llevan a cabo en las zonas de fallamiento activo por el Instituto Geofísico F. S. Volponi y por el INPRES. Los registros y datos de campo tomados por Sisterna *et al.* (1997) determinan un descenso altimétrico de la zona de fallamiento La Laja, siendo para el período 1982-1994 de 0,0173 m  $\pm$  0,0045 metros. Según estos autores esto es razonable ya que la zona, según Smalley e Isacks (1990), se encuentra en la porción tectónicamente más activa de la Precordillera Oriental. Según Sisterna *et al.* (1997), el análisis de la sismicidad del fallamiento La Laja revela un importante aumento de eventos de magnitud moderada en los últimos años, lo que puede inducir a deformaciones a escala cortical, medidas con topografía de alta precisión. Las deformaciones tectónicas en la zona

pueden ser absorbidas, en gran parte, por la capa sedimentaria que cubre el basamento, descartando según estos autores, que las variaciones altimétricas se deban a fluctuaciones de acuíferos, ya que en la zona éstos poseen potencias despreciables. Sin embargo, este estudio podría agregar, a través del accionar del *piping* en los sedimentos neógenos, otra probable causa en algunas modificaciones altimétricas del relieve local, debido a disolución, hundimiento y colapso.

En los trabajos de campaña se reconocieron dos sistemas principales de fallas con rumbo predominantes noroeste y nor-nordeste. La erosión es más intensa en los sitios de las trazas de fallas, lo que permite el afloramiento de las sedimentitas neógenas, en suaves lomadas con estratos que buzcan en ángulos variables hacia el este. Estas fallas son inversas y poseen un rumbo que varía entre N 30° E y N 60° O, con escarpas a contrapendiente que en superficie buzcan 45° al este (Perucca y Paredes 1999). La principal falla vinculada al *piping* reconocido de la zona es aquella situada entre el baño La Laja hacia el sur y el baño El Salado hacia el norte, denominada falla El Museo. Habría actuado durante gran parte del Cuaternario como frente de levantamiento, en el piedemonte distal de Precordillera Oriental, a contrapendiente, favoreciendo el ascenso de agua y su emergencia, expresada en superficie en la alineación de numerosos vertientes y surgencias, de agua altamente mineralizada, y de bocas de emisión de travertino. A menos de 1 km hacia el este-sudeste de la falla El Museo existe otra conocida como falla La Laja, a partir de la cual y en dirección al sudeste, las emisiones de soluciones travertínicas disminuyen o ausentan (Fig. 1). Bellio (1955) caracteriza algunas propiedades del agua de las vertientes, ubicadas a lo largo de las trazas de fallas nor-nordeste, como de bajo caudal y con una calidad química que no permite ser destinada al uso industrial, riego o consumo humano. El manantial o vertiente del baño La Laja, vierte agua hipotermal de tipo sulfurosa a 26,8°, sulfhídrica, cloro sulfatada, acidulada, alcalina, bicarbonatada, calcio sódica, magnesiana, con mineralización muy fuerte (Bellio 1955).

## Conclusiones

Los condicionantes ambientales intervinientes en el desarrollo del *piping* identificado en el sector La Laja-El Salado, corresponden a una asociación entre factores climáticos, litológicos y neotectónicos.

- Por una parte, el *piping* ocurre en una región continental de clima árido-seco, con precipitaciones anuales menores a los 85 mm, con alto contraste entre los regímenes pluviales estacionales. Las lluvias estivales, de carácter torrencial, embeben los materiales cerrando en superficie a los *pipes*, arrojando dimensiones variables entre estaciones, siendo menores en verano.

- Los materiales y sedimentos afectados por el *piping* son aquellos de texturas finas principalmente arcillosas y visiblemente afectados por textura *popcorn*. Éstos son ricos en cationes sodio con valores superiores a 2400

me/l, con una relación de adsorción de sodio superior a 250 y con pH mayor a 7,5. Este alto contenido de cationes de Na<sup>+</sup> disueltos en el agua de los poros, con respecto a la suma de los cationes de Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>, se interpreta como la principal propiedad que controla la susceptibilidad al *piping* y en consecuencia la alta dispersión de las arcillas.

- El control neotectónico tiene una participación en la ocurrencia de este proceso dado que la emergencia de agua subterránea muy mineralizada a través de la falla El Museo, sería la fuente de provisión de sales y particularmente de sodio en los materiales.

- El relieve de la zona presenta laderas cubiertas de derrubios y bloques de travertino, de aspecto ruiniforme, sobre las sedimentitas rosadas y neógenas de la Formación Ullum, mientras que en los cauces dominan los procesos de abarrancamiento, cárcavamiento, hundimientos y desplomes, con una significativa erosión retrocedente. El corto periodo de control efectuado (seis años) no permitió cuantificar la velocidad del proceso de *piping*; no obstante este tipo de relieve erosivo, retrocedente y destruccional, señala al *piping* como un proceso hipodérmico muy activo en la formación de las características geomorfológicas de una región árida.

- El autor considera que en regiones con similares condiciones climáticas, litológicas y estructurales a las descritas no debe descartarse la posibilidad de ocurrencia del *piping*, sugiriendo además, identificar a este proceso entre los peligros naturales e investigar su actividad previo a la planificación de obras.

## Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y a la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de San Juan, que aportaron los recursos económicos para llevar a cabo el PIA N° 3631, del cual se desprende este trabajo. A los árbitros intervinientes, particularmente al Dr. Carlos Costa, por las observaciones y sugerencias que permitieron mejorar la calidad de la presente.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Bastias, H., 1986. Fallamiento Cuaternario en la región sismotectónica de Precordillera. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan, 134 p. (Inédito).
- Bellio, N. E., 1955. Los yacimientos de travertino en la provincia de San Juan, zona El Salado y La Laja, Departamento Albardón. Revista Minera 21(3-4): 13-15. Buenos Aires.
- Bellio, N. E., 1956. Los yacimientos de travertino en la provincia de San Juan, zona El Salado y La Laja, Departamento Albardón. Revista Minera 22(1-2): 9-12. Buenos Aires.
- Bryan, R. y Yair, A. (eds) 1982. Badlands Geomorphology and Piping. Geobooks, Norwich 408 p.
- Contreras, V. H., Pontoriero, S., Perez, A. y Perucca, P., 1999. Consideraciones sobre la génesis, fauna y edad de los travertinos de la Laja, Albardón, San Juan. CD Síntesis del Cuaternario de la Provincia

- de San Juan. XI Reunión de Campo del Cuaternario. Revista digital Ciencias. San Juan. FCFN-UNSJ.
- Crouch, R. J., 1990. Rates and mechanisms of discontinuous gully erosion in a red brown earth catchment, New South Wales, Australia. *Earth surfaces processes and landforms* 15: 277-282.
- Gutiérrez Elorza, M., 2001. Geomorfología climática. Ediciones Omega, S. A. 261-264. Barcelona.
- Gutiérrez, M., Benito, G. y Rodríguez Vidal, J., 1988. Piping in Badlands areas of The Middle Ebro basin, Spain. *Catena Supplement* 13: 49-60.
- Gutiérrez, M., Sancho, C., Desir, G. Sirvent, J., Benito, G., y Calvo, A. 1995. Erosión hídrica en terrenos arcillosos y yesíferos de la Depresión del Ebro. Min. Agricultura, Pesca y Alimentación, Universidad de Zaragoza, 389 p.
- Jones, J. A. A., 1981. The nature of soil piping-a review of research. *Geo Books*, 301 p., Norwich.
- Jones, D. E. y Holtz, W.G., 1973. Expansive soils. The hidden disaster: *Civil Engineering. American Society of Civil Engineering* 43(8): 49-51.
- Marshall, A. F. y Workman, J.P., 1977. Identification of dispersive clays in the Texas Gulf Coast Area. En Sherard, J.L. y Decker, R. S. (eds). *Dispersive clays, Related piping and Erosion in Geotechnical Projects. American Society for Testing and Materials* 623: 274-286, Filadelfia.
- Minetti, J.L., 1986. El régimen de precipitaciones de San Juan y su entorno. CIRSAS-CONICET-UNSJ. Informe técnico 8: 19-22. San Juan.
- Minetti, J.L. y Martínez de Riveros, N., 1988. Régimen termométrico de San Juan. CIRSAS-CONICET-UNSJ. Informe técnico 9, San Juan.
- Oostwoud, D.J.W. y Bryan, R. R., 1994. Gully head cuts as sediment sources on the Njemps flats and initial low cost gully control measures. En Bryan, R.R., (ed.) *Soil erosion, land degradation and social transition. Advances in GeoEcology* 27: 205-229.
- Parker, G.G., 1963. A geomorphic agent in landform development of the drylands. *International Association of Scientific Hydrologists Publications* 65: 103-113.
- Parker, G. G. y Jenne, E.A., 1967. Structural failure of Western U. S. highways caused by piping. *United States Geological Survey. Water Resources Division*, 27p.
- Parker, G. G., Higgins, C. G. y Wood, W. W., 1990. Piping and pseudokarst in drylands. *Geological Society of America Special Paper* 252: 77-110.
- Perucca, P. y Paredes, J.D., 1999. Descripción de algunas evidencias de fallamiento activo en la provincia de San Juan. Capítulo neotectónica. CD Síntesis del cuaternario de la Provincia de San Juan. XI Reunión de Campo del Cuaternario. San Juan. Revista digital Ciencias. FCFN-UNSJ, San Juan.
- Poblete, A.G. y Minetti, J.L., 1989. Los mesoclimas de San Juan. Primera y Segunda parte. Informe Técnico 11 del Centro de Investigaciones de San Juan. U.N.S.J. Boletín 4: 31-32. San Juan.
- Serafini, R.L., Bustos, N.E. y Contreras, V.H., 1986. Geología de la Formación Loma de Las Tapias, Quebrada de Ullum, provincia de San Juan. I Jornadas sobre Geología de Precordillera. Asociación Geológica Argentina, Serie A, Memoria y Reunión 2: 77-82, Buenos Aires.
- Sherard, J.L. y Decker, R. S., 1977. Summary: Evaluation of Symposium on dispersive clay En Sherard, J.L. y Decker, R. S. (eds). *Dispersive lays, Related piping and Erosion in Geotechnical Projects. American Society for Testing and Materials* 623: 467-479.
- Sisterna, J., Ruiz, F. y Robles, J., 1997. Control Topogeodésico de la zona de fallamiento La Laja-Dpto. Albardón- San Juan. II° Jornadas de Geología de Precordillera, San Juan:180-183.
- Smalley, R. e Isacks, B., 1990. Seismotectonics of thin and thick – skinned deformation in the Andean Foreland from local network data. Evidence for a seismogenic lower crust. *Journal of Geophysical Research* 95: 12487-12498.
- Thomas, M. F., 1994. *Geomorphology in the Tropics*. John Wiley, Chichester, 460 p.
- Uliarte, E. 1977. Estudio Geológico- estructural de la Sierra de Villicum Sur, departamentos de Albardón-Ullum-Angaco, Provincia de San Juan. Tesis de Licenciatura. FCFN, Universidad Nacional de San Juan. Inédito 15-18.
- Yacante, G., Suvires, G. y Pereyra, B. 1997. Procesos de sufosión (piping) en dos sitios de la Precordillera, San Juan, Argentina. II Jornadas de Geología de Precordillera, San Juan: 184-189.

**Recibido:** 24 de mayo, 2002

**Aceptado:** 7 de julio, 2004