



## Informe

# PELIGROSIDAD POR REMOCIÓN EN MASA

## Barrancas de la Ciudad de Diamante, Provincia de Entre Ríos, Argentina.



Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR)

CRAVERO Roberto (INTEMIN),  
FAUQUÉ Luis (DGR)  
OLIVA Jesús (DGAA)  
TEJEDO Alejandra (DGAA)

Buenos Aires 2018



## Contenido

1) <i>Introducción</i>	3
2) <i>Objetivo</i>	4
3) <i>Caracterización Geológico-Geotécnica de la Zona</i>	5
4) <i>Antecedentes sobre los Procesos de Remoción en Masa</i>	7
5) <i>Análisis de los Terrenos Movilizados</i>	8
5.1. Zona Movilizada	10
5.2. Fracturas de Tracción	11
5.3. Cresta de Presión	13
5.4. Estructuras de Compresión Secundarias	13
5.5. Agua Subterránea y Superficial	14
5.6. Nivel del Río Paraná	15
6) <i>Interpretación de los Procesos</i>	16
6.1. Tipología del Movimiento	16
6.2. Movimientos Menores Independientes de los Anteriores	25
6.3. Origen del Agua	26
6.4. Efectos del Agua	26
7) <i>Conclusiones</i>	27
8) <i>Acciones de Control y Mitigación</i>	27
8.1. Provisión de Agua Potable. Reducción de Pérdidas	29
8.2. Sistema de Cloacas	29
8.3. Aguas de Escorrentía	29
8.4. Sistema de Drenaje	30
8.4.1. Drenaje en Área Urbana	30
8.4.2. Drenaje de los Suelos Deslizados al Pie de la Barranca (Paseo de La Ribera)	31
8.5. Forestación de los Suelos Deslizados al Pie de la Barranca (Paseo de La Ribera)	32
8.6. Instalación de un Sistema de Monitoreo. Instalación de Piezómetros Abiertos	33
8.7. Restricción del Avance de la Urbanización en el Perímetro Cercano a la Barranca	33
9) <i>Recomendaciones</i>	33
10) <i>Bibliografía</i>	35

---

Proyecto: **PELIGROSIDAD POR REMOCIONES EN MASA DE LAS BARRANCAS DE LA CIUDAD DE DIAMANTE, PROVINCIA DE ENTRE RÍOS. ACCIONES DE CONTROL Y MITIGACIÓN.**

Ejecutor: *Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR).*

Integrantes: *TEJEDO Alejandra (DGAA), CRAVERO Roberto (INTEMIN), FAUQUÉ Luis (DGR) y OLIVA Jesús (DGAA).*

---

## **1) Introducción**

“El Plan Nacional de Reducción de Riesgos de Desastres (PNRRD) es un instrumento de planificación operativa que orienta al Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo y la Protección Civil (SINAGIR)”.

El SEGEMAR es una de las instituciones que forma parte del SINAGIR, encargada de activar el funcionamiento del “Protocolo de Movimientos en Masa”, en caso de una emergencia de este tipo.

El día 09 de octubre el SINAGIR solicitó al Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) la presencia de profesionales en la ciudad de Diamante, Entre Ríos, para evaluar un proceso que se estaba desarrollando en la ciudad y provocaba la caída de barrancas antiguas del río Paraná, sobre las cuales se encuentra asentado el barrio San Roque y la estatua del Cristo Pescador.

La Dirección de Geología Ambiental y Aplicada (IGRM, SEGEMAR) designa a Jesús Oliva, Luis Fauqué, Roberto Cravero y Alejandra Tejedo a viajar, para determinar la gravedad del proceso, tomando contacto con el Director de Defensa Civil de la provincia, el Sr. Lautaro López.

Ante esta situación, se activó el Protocolo de Movimientos en Masa, incluyendo a otras instituciones como al Instituto Geográfico Nacional (IGN), Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y al Instituto Nacional del Agua (INA).

Cada una de las instituciones mencionadas participan aportando productos e información relacionada con el evento o con la zona afectada.

La ciudad de Diamante cuenta con una larga historia de movimientos de remoción en masa, debido a un proceso natural de evolución geológica del cauce y el pie de barrancas del río Paraná. Ello ha motivado, en el transcurso de los años, una pérdida de superficie urbanizada afectando diversas instalaciones, desde unidades portuarias,

escuelas, casas particulares, a simplemente terrenos colindantes al río.

En la década de 1990 se realizó como medida de control y mitigación a esta problemática una importante obra de drenaje en el área del nuevo puerto de la ciudad, obteniéndose muy buenos resultados.

En la actualidad, en el resto de las barrancas no tratadas la problemática continúa vigente, siendo su análisis el objeto de este informe.

## **2) Objetivo**

Se analizó el área colindante a las barrancas de los barrios San Roque y Urquiza de la ciudad de Diamante y el parque Paseo de la Ribera, área actualmente afectada de forma considerable por deslizamientos de terrenos.

Se utilizó el material aportado por el IGN, como el Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT)e-Bee Plus, de donde se obtuvo imágenes de alta precisión, para su posterior análisis y modelado. Se contó con cartografía oficial a escalas 1:50.000 y 1:100.000; imagen satelital Sentinel 2A del 04/09/18, de 10 m de píxel; modelos digitales de elevación (MDE) refinados de 5 m de píxel y ortofotos del año 2013, de 40 cm de píxel.

El SMN aportó las precipitaciones de la estación más cercana a Diamante, Paraná, desde enero a septiembre del 2018 por día y el total del mes y las precipitaciones normales medias del periodo 1981-2010.

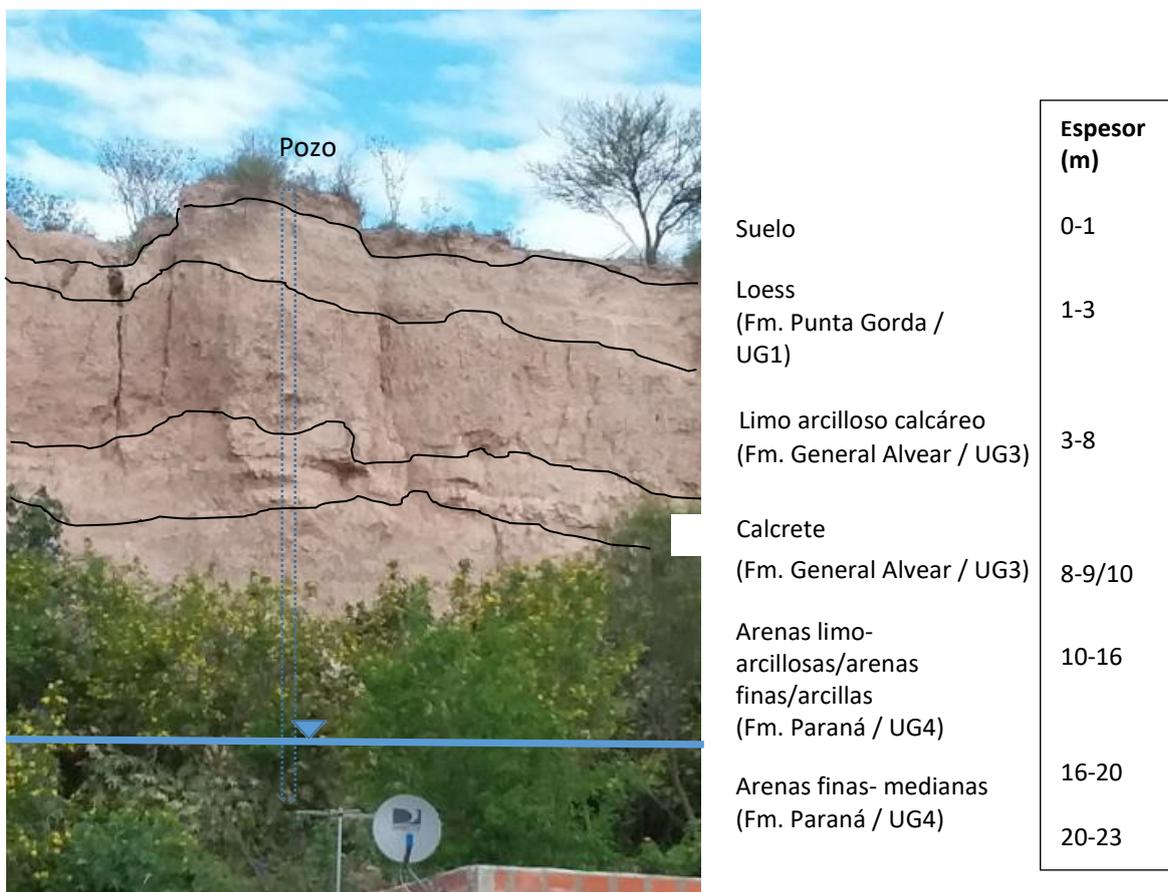
Con el objetivo de determinar los orígenes del fenómeno y establecer acciones de control y mitigación, se realizaron las siguientes observaciones:

- Análisis de zonas urbanizadas afectadas en los barrios citados y zonas adyacentes, consideradas de alto y mediano riesgo por el Municipio, cuyos habitantes fueron preventivamente desalojados.
- Evaluación de las condiciones de estabilidad de la barranca, tanto en la zona movilizada como en las zonas cercanas.
- Análisis del sector de los suelos deslizados al pie de la barranca y alrededores, en una longitud aproximada a los 2000 metros, centrados en la zona del Cristo Pescador.
- Análisis de las zonas de suelos deslizados al pie de la barranca, mediante la apertura de tres calicatas de 50 m, 30 m y 7 m de longitud respectivamente.

### 3) Caracterización Geológico-Geotécnica de la Zona

La zona ha sido objeto de importantes estudios, con desarrollo y ejecución de un proyecto de estabilización de barrancas en la ciudad de Diamante, fundamentalmente en el sector de influencia del puerto homónimo (Sanguinetti, 1995; PROINSA, 1999, Díaz *et al.* 2005).

Estos estudios permitieron la caracterización geológico-geotécnica del perfil de las barrancas, y si bien los estudios se realizaron en otro sector de la ciudad (Fili *et al.* 2002), son considerados representativos de las unidades litológicas en la zona actualmente afectada (Figura 1), aunque no necesariamente en su distribución zonal y vertical en el área de estudio.



**Figura 1.** Perfil litológico tipo de la barranca en la zona del Cristo Pescador, destacando litologías y unidades geológicas y geotécnicas.

La Tabla 1 muestra los parámetros geotécnicos de las distintas unidades, tomado de Díaz *et al.* (2005) y la Tabla 2 destaca las litologías del perfil geológico-geotécnico en

la zona del Cristo Pescador.

	UG 1		UG 2		UG 3 L		UG 3 Lc		UG 4		UG 5a		UG 5B		UG 6		UG 7/8	
	Limo		Arcillas pardas		Arcilla limosa		Concrec. limo calcáreo		Arena fina/limo		Arcilla verde techo		Arcilla verde movilizada		Arena		Materiales movilizados	
	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.
Límite Líquido (LL)	32	52	58	67	40	60			32	45	80	100	80	100				
Índice Plástico (IP)	7	14	20	40	15	33			4	15								
$\delta h$ (tn/m <sup>3</sup> )	1,80	1,90	1,78	1,90	1,85	1,95	2,05	2,15	1,77	2,03					1,70	1,80		
$\delta d$ (tn/m <sup>3</sup> )	1,55	1,65	1,40	1,65	1,60	1,70	1,95	2,03										
$\gamma_s$ (tn/m <sup>3</sup> )					2,60	2,70	2,55	2,62							1,90	2,10		
$\phi$ (r-nc-nd)?	10	4	9	13	15	17	33	37	25	35	8	10	4	6	34	38	4	6
c (kg/cm <sup>2</sup> )	0,4	0,8	0,7	0,9	0,3	0,5	0,8	1	0,3	0,5	0,7	0,9	0,25	0,3,5			0,05	0,15
Espesor (m)	2	10	8	16	8	16	0,8	0,7	0,09	0,11	10	14	12	5				variable
Clasif. SUCS	ML/MH		CH/MH		CL/CH-ML				CL/ML		CH/MH		CH/MH		SP			

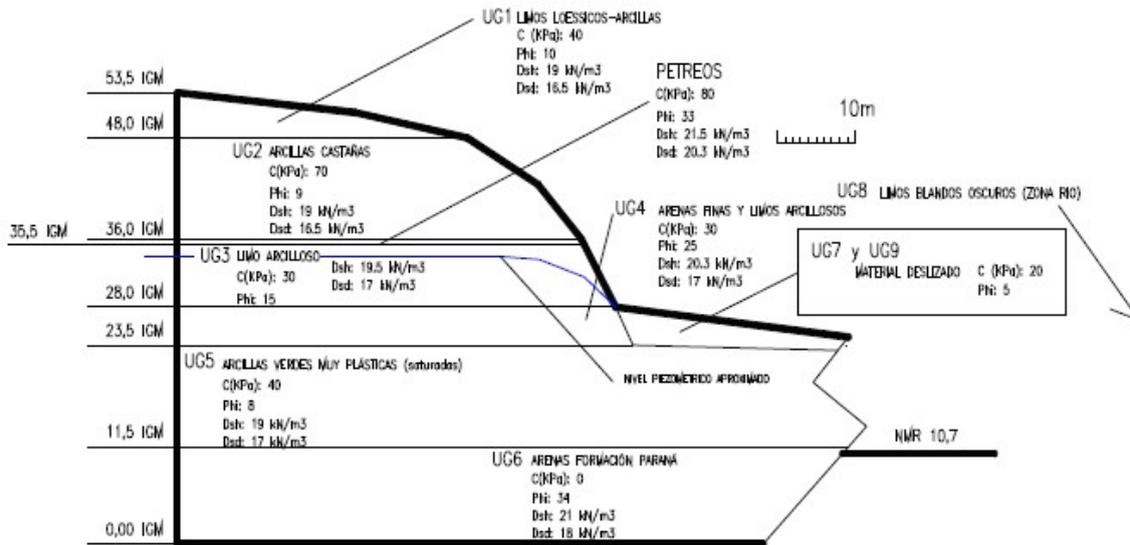
**Tabla 1.** Síntesis de los parámetros geotécnicos de las distintas unidades (Díaz *et al.* 2005).

Espesor (m)	msnm	Descripción	UG (*)	SUCS (*)
0 – 1	52	Suelo y relleno antrópico.		
5/7	52-45	Limos loésicos pardos claros, compactos, en parte cementados. Sus taludes son subverticales. Contienen un débil acuífero libre.	UG1	M/MH
(2-4)		Arcilla limosa de colores castaño-rojizos, de mediana a alta plasticidad, con concentraciones calcáreas, con intercalaciones de cenizas volcánicas y arenas eólicas.	UG2	CH/MH
8-15	45-36	Limos laminados formando placas horizontales irregulares. Estos limos constituyen un calcrete muy potente generado por la cementación debido a la precipitación de carbonatos. Este precipitado carbonático da una coloración blanquecina a los limos. Las fracturas mayores afectan hasta la base de esta unidad de roca. Se intercalan limos arcillosos verdosos con manchas de manganeso.	UG3	(ML)
1-2	36-34	Concentración de cementaciones carbonáticas.	UG3	(ML)
26-27	26-22 22-10	Arenas grises finas y medianas, acuífero a media ladera, parcialmente aflorante en los materiales movilizados. Limos arenosos, arcillas moderadamente a muy plásticas. Bancos calcáreos fosilíferos. El banco arenoso inferior actúa como acuífero que se apoya en la arcilla verde inferior.	UG4	ML/(SP)
>5	<5-15	Arcilla verde muy plástica, con desarrollo por debajo del nivel del río Paraná.	UG5	CH/MH
¿?	<-15	Arena mediana a fina.	UG6	SP

**Tabla 2.** Detalle descriptivo del perfil geológico-geotécnico.

(\*) Las unidades geotécnicas (UG) han sido tomadas de Díaz *et al.* (2005).

La Figura 2 también ilustra un perfil geológico-geotécnico de las barrancas sobre el río Paraná, según Franco *et al.* (2002).



**Figura 2.** Perfil interpretativo geológico-geotécnico de las barrancas sobre el río Paraná. Tomado de Franco *et al.* (2002).

#### 4) Antecedentes sobre los Procesos de Remoción en Masa

Son muchos los estudios realizados desde la década de los ochenta y posteriores sobre los deslizamientos en las barrancas del río Paraná, los que coinciden en general, en que el causante común estuvo dado por el condicionante geológico, expresado por los estratos arcillosos ubicados en los sectores medio y bajo del talud e incluso bajo el nivel del río Paraná.

En general se describe el predominio de pequeños deslizamientos originados en la parte alta del talud *“seguidos por la formación de escalones en la parte media e inferior del talud con los materiales colapsados y la posterior reactivación de éstos últimos a través de planos deslizantes coincidentes con lentes o intercalaciones arcillosas”*, *“...pero no han producido grandes deslizamientos”* (Díaz *et al.*, 2005). En síntesis, se describen los movimientos como una *“sumatoria de corrimientos menores”* estrechamente vinculadas a la pluviometría zonal y regional.

Se destaca como factor desestabilizador adicional *“los sectores del Río Paraná donde el cauce es más estrecho, con lo que se produce una corriente con mayor velocidad y consecuentemente mayor capacidad de transporte, que se traduce en erosión de fondo y costas”*, situación que se da en el caso analizado de la ciudad de Diamante, con el agravante de la existencia de un canal de acceso al puerto, que es periódicamente

dragado.

Finalmente se concluye que el principal factor detonador de los deslizamientos, en la forma de deslizamientos rotacionales, es el afloramiento de los acuíferos en el frente de las barrancas, esquema conceptual sintetizado en la Figura 3.

Según Díaz *et al.* (2005), “en Diamante el acuífero relacionado a los deslizamientos está confinado e integrado por estratos de arenas muy finas de la Formación Paraná (Mioceno), ubicados entre cotas 22-26 (tercio inferior del talud de barranca). Sobre el frente de barrancas, estos estratos están cubiertos por acumulaciones de suelos deslizados (Figura 3). No se conoce la extensión regional de este acuífero ni tampoco los sectores de posibles recargas cercanas a esta localidad”.

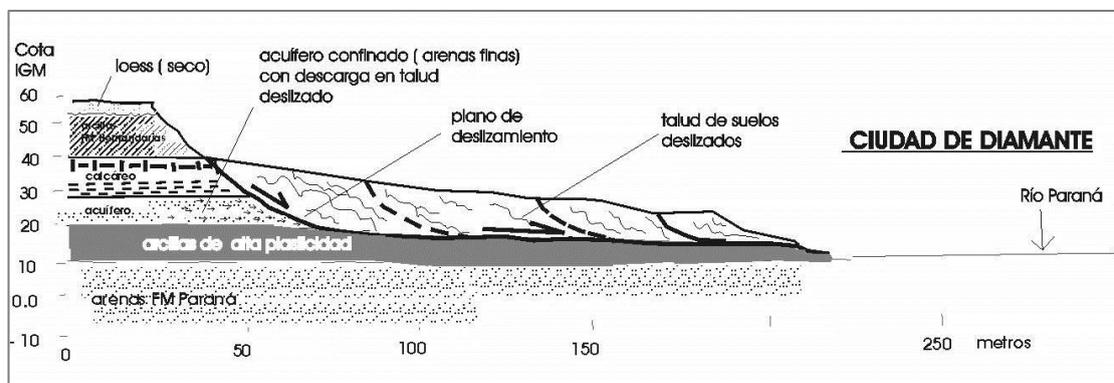


Figura 3. Perfil del deslizamiento según Díaz *et al.* (2005).

## 5) Análisis de los Terrenos Movilizados

El análisis de la situación del deslizamiento de la ciudad de Diamante, como de los antecedentes, y la descripción de los distintos procesos observados, indujo a la interpretación de los procesos ocurridos en la zona movilizada.

Se observó el sector superior de las barrancas, ocupado en gran parte por el ejido urbano, como así mismo el sector inferior desde el pie de barranca hasta la orilla del río Paraná, con un incipiente proceso de urbanización.

Este último sector, de aproximadamente 200 m de longitud entre el río y la barranca, comprende al paseo de La Ribera, que cuenta con un camino vehicular. Está compuesto en superficie por terrenos deslizados como consecuencia del retroceso de la barranca, proceso natural evolutivo característico de una degradación que lleva ya mucho tiempo. Estos materiales removidos yacen sobre los niveles superiores de la Formación Paraná, más precisamente sobre arcillas de alta plasticidad de esta unidad.

El objetivo fue analizar si el pie de barranca y los suelos deslizados al pie fueron comprimidos y deformados por empujes de los desplazamientos de la barranca, o

estamos en presencia de otro mecanismo de deformación, dado los diversos indicios de fracturas de extensión observadas y la existencia de crestas de presión y otras estructuras secundarias de compresión.

Con la asistencia de personal de la Municipalidad, que incluyó una retroexcavadora de tractor y un habilidoso operador, se ejecutaron tres calicatas de estudio (Figura 4):

- a) En el centro del macizo movilizado, al pie de la barranca, donde se observan las fallas de tracción con desplazamiento hacia el río y movimientos diferenciales verticales ( $32^{\circ}03'52.2''S$ ;  $60^{\circ}38'59.2''O$ ) (50 m de longitud, profundidad promedio de 2,5 m y máxima de 4,5 m).
- b) En la orilla del río Paraná, donde se observó una cresta de presión ( $32^{\circ}03'53.9''S$ ;  $60^{\circ}39'04,6''O$ ) (30 m de longitud, profundidad promedio de 2,0 m y máxima de 3,5 m).
- c) En el camino interno del paseo de La Ribera, donde se apreciaba una estructura compresiva secundaria ( $32^{\circ}03'57,3''S$ ;  $60^{\circ}39'03.0''O$ ) (7 m de longitud, profundidad promedio de 1,8 m).



**Figura 4.** Vista de la zona movilizada en los suelos del pie de barranca, donde se han señalado las principales grietas de extensión, la dirección principal de desplazamiento y la ubicación de las calicatas.

### 5.1. Zona Movilizada

Las observaciones *in situ* señalan múltiples sectores del terreno que fueron afectados por fracturación con extensión o translación y subsidencia; con un movimiento prácticamente transversal a la línea de barrancas y en dirección hacia el río, dejando importantes aberturas y cavidades que afectan toda la masa del material movilizado.

La fracturación asociada a las expansiones, se extendió desde la orilla del río Paraná hasta el pie de la barranca. Se observaron fracturas abiertas con espacios de más de 0,40 m y algunas superando el metro. Las fracturas de expansión fueron detectadas a lo largo de aproximadamente 600 m longitudinales al pie de la barranca, siendo el límite norte el arroyo Don Tula, que expresa el límite del tratamiento con drenes de la zona portuaria, y extendiéndose hacia el Sur hasta

finalizar el barrio San Roque, abarcando el área denominada paseo de La Ribera.

Esto significa que estamos ante un movimiento del orden de  $1.600.000 \text{ m}^3$  de volumen.

El desplazamiento general fue hacia el NW, prácticamente normal al eje de la barranca, detectándose en las fracturas de tracción un rumbo de  $30^\circ \pm 15^\circ$ , complementadas con algunas de rumbo  $120^\circ \pm 30^\circ$  con desplazamiento horizontal, pero casi nulo en la vertical (Figura 4).

## 5.2. Fracturas de Tracción

La excavación de las calicatas (Figura 5) permitió verificar el tipo de comportamiento del movimiento del terreno hacia el río, constatando el desarrollo profundo, más allá de los tres metros, de las fracturas con desplazamiento vertical y horizontal. Mientras que las fracturas que respondían solo a un movimiento horizontal, tenían una expresión más acotada en profundidad, no superando el metro.

Simultáneamente, la calicata ubicada en el centro del macizo movilizado, al pie de la barranca, permitió verificar las extrusiones del nivel de arcilla verde del horizonte inferior hacia la superficie, prueba contundente de que la fracturación y extensión superficial es debida al flujo plástico del material subyacente, arcillas muy plásticas de la Formación Paraná (Figura 6).

El movimiento de extensión del terreno produjo desplazamientos relativos de los bloques entre fracturas (Figura 7), generando propagaciones de más que 40 cm de apertura, hundimientos del orden del metro y rotaciones entre bloques; por lo que abundan oquedades y aberturas a lo largo de las fracturas y las zonas aledañas, habilitando prácticamente la libre circulación de agua en el sustrato, lo que se puede observar en las calicatas (Figura 5).



**Figura 5.** Estructuras abiertas en profundidad y afloramiento de agua en los suelos observadas en calicata.



**Figura 6.** Extrusión del nivel de arcilla verde (B), entre bloques de suelos deslizados al pie de la barranca (A y C).



**Figura 7.** Sector con grietas de expansión y descenso de bloques. Lugar donde se excavó la calicata ubicada en el centro del macizo movilizado, al pie de la barranca.

### 5.3. Cresta de Presión

La propagación lateral, expuesta por la fracturación de los suelos al pie de la barranca, es consecuencia de la deformación plástica de los niveles de arcillas subyacentes. Por lo tanto, cuando éstas son expuestas a orillas del río, se genera debido al flujo plástico lento una cresta de presión, que en algunos sectores alcanza los 0,80 m de altura (Figura 8).

Una de las calicatas se realizó especialmente a orillas del río, para cortar y observar el perfil transversal de la cresta de presión. Tanto en superficie como en el perfil de la calicata se puede observar la extrusión de las arcillas verdes muy plásticas de la Formación Paraná, generando un abombamiento hacia arriba. Este crecimiento en altura de la cresta de presión queda evidenciado además por el levantamiento contrapendiente de los suelos de la orilla (Figura 9), los que normalmente inclinan hacia el río.



**Figura 8.** Abombamiento superficial de arcillas verdes de la cresta de presión, sobreponiéndose a la vegetación arbustiva próxima a la orilla del río Paraná. El abombamiento de la cresta produce las grietas de tensión sobre la misma (A).

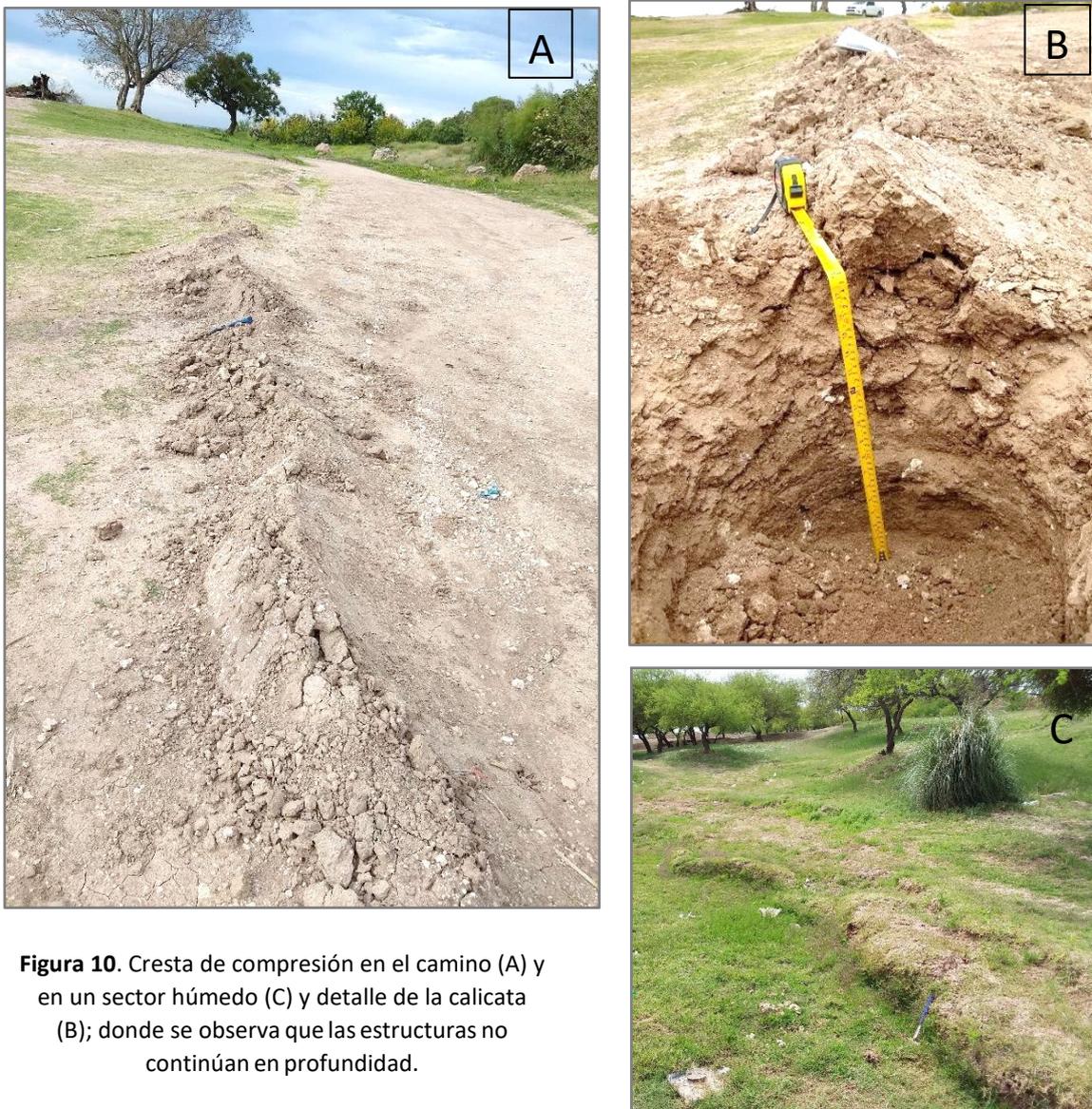


**Figura 9.** Perfil de la cresta de presión visto en la calicata. A) Suelos levantados contrapendiente por la cresta de presión. B) Parte superior de la cresta de presión en las arcillas muy plásticas de la Formación Paraná. C) Escalón generado en el suelo levantado contrapendiente.

#### 5.4. Estructuras de Compresión Secundarias

Los suelos removilizados al pie de la barranca pueden además subsidir, trasladarse, rotar y hasta desintegrarse. Este desplazamiento diferencial entre los bloques de suelo hace que en algunas circunstancias se puedan observar estructuras compresivas secundarias, por la interacción entre bloques movilizados. Este tipo de estructuras se observan en la cresta desarrollada sobre el camino costero (Figura 10 A) de 15 m de longitud y no más de 0.35 m de altura y además en pequeños lóbulos de compresión, donde los suelos son cabalgados unos sobre otros.

Una característica singular de estos lóbulos y/o crestas, fue su carácter superficial, sólo entre los 0,30 y 0,60 m metros de profundidad, a partir de la cual ya ninguna estructura es visible (Figura 10 A, B, C). Se trata de pequeñas estructuras de compresión secundarias, en un ambiente general de extensión.



**Figura 10.** Cresta de compresión en el camino (A) y en un sector húmedo (C) y detalle de la calicata (B); donde se observa que las estructuras no continúan en profundidad.

### 5.5. Agua Subterránea y Superficial

En toda el área fueron abundantes los lugares donde se encontraban manifestaciones de agua, ya sea en forma de humedad en el talud, humedales en el paseo, pequeñas holladas con agua aflorante y hasta pequeñas vertientes; ubicados en la parte media y baja del paseo de La Ribera. Resta mencionar la presencia de caños de cloacas que descargan directamente al pie de la barranca, ahora por rotura de los caños, pero anteriormente drenaban al aluvio. Ese contexto hace confuso diferenciar el caudal de agua que proviene del acuífero medio y descarga en la parte baja del perfil de la barranca, del que proviene de las cloacas.

Con motivo de la excavación de las calicatas pudo observarse filtraciones, en el tercio inferior, las que tenían un caudal aproximado a 1,5 l/min (Figura 5).

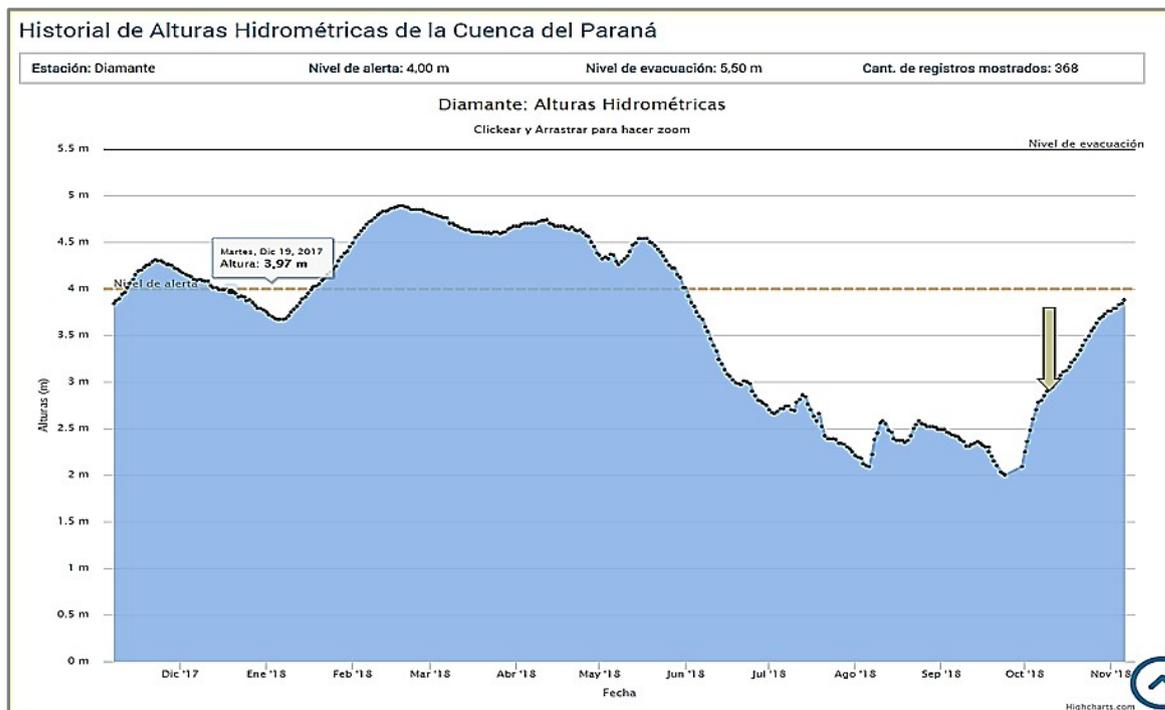
En síntesis, se considera como nivel de base de todo el sustrato movilizado al potente banco arcilloso verde y muy plástico de la Formación Paraná. Éste actúa como base impermeable, por lo que gran parte de toda esa masa arcillosa se encuentra saturada o en un nivel cercano a esta condición.

Finalmente cabe mencionar las variaciones de nivel del río Paraná, como otro factor clave para generar condiciones de saturación, al menos en los dos a tres metros inferiores que se encuentran en contacto con la arcilla verde.

### 5.6. Nivel del Río Paraná

En el contexto geológico previamente mencionado es importante considerar las variaciones de la cota del río Paraná, no solamente porque es el que define el nivel de base de todo el escurrimiento, sino porque con sus ascensos y descensos ejerce una gran incidencia en las variaciones de saturación del sustrato como así también de las consecuentes variaciones de presiones de poros del mismo.

En la Figura 11 se grafican las variaciones de cota del Paraná considerando como cero el nivel de base del hidrómetro de Puerto Corrientes, que está a cota MOP 7,319 (dato CIM) que en IGN es 6,788 m s.n.m.



**Figura 11.** Variación de la altura hidrométrica del río Paraná en el Puerto Diamante (<http://fich.unl.edu.ar/cim/alturas-rio-parana>).

Un dato a destacar es el máximo de 4,89 (11,68 m s.n.m.) el 19/02/2018 y el mínimo de 2,00 (8,788 m s.n.m.) registrado el 24/9/2018, lo que implica un descenso de 2,899 m estando al momento del deslizamiento en cota 2,90 (9,68 m s.n.m.). Es decir que ese descenso implicó que toda el área saturada, la arcilla verde y el estrato limo-arcilloso superior (bases del área movilizada), fue sometida a un cambio de presión que generó un drenaje hacia el río con una conductividad hidráulica equivalente del orden de  $1,5 \times 10^{-5}$  cm/s. Ello es una conductividad hidráulica inferior a todo el material limo/arenoso, pero no lo es respecto al horizonte arcilloso, lo que implica que el material por debajo de cota 11,6 m s.n.m. tuvo una reducción de la tensión efectiva, como de sus parámetros resistentes.

## 6) Interpretación de los Procesos

El deslizamiento de Diamante es un movimiento de remoción en masa complejo, que afecta tanto a la zona urbanizada ubicada sobre la barranca, como a los terrenos deslizados ubicados al pie de la barranca, en el denominado paseo de La Ribera.

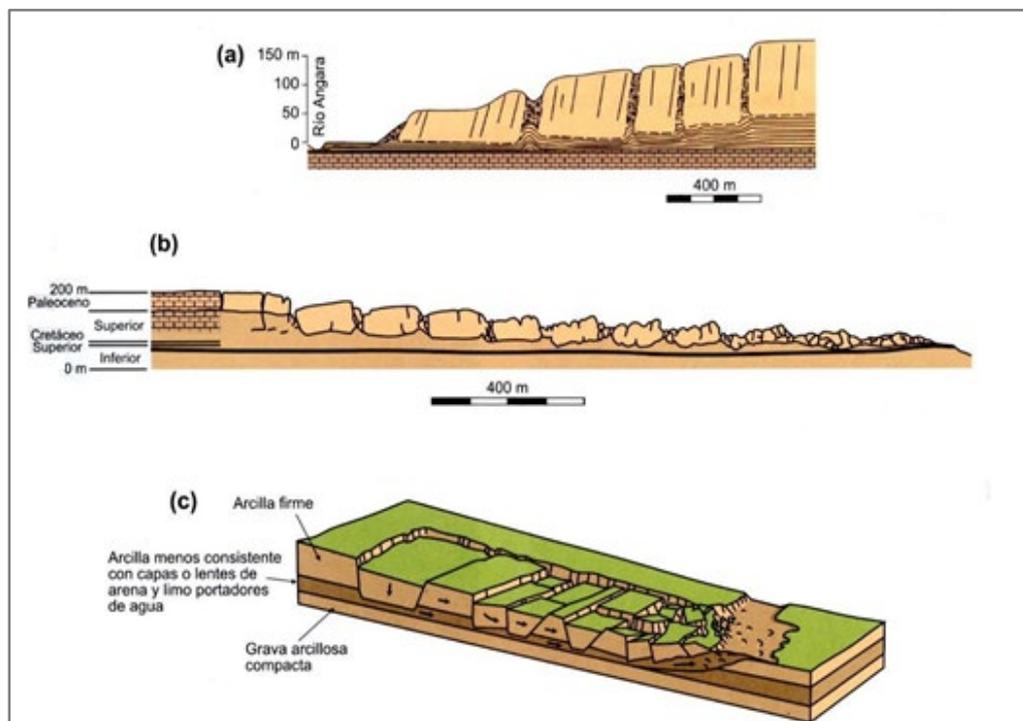
El movimiento que afectó la barranca en la zona del Cristo Pescador es el que tiene mayor visibilidad por su posición geográfica y por afectar la zona urbanizada, pero en realidad ocupa solo el 1% del volumen movilizado ( $15.600 \text{ m}^3$ ). En realidad, el movimiento que está afectando a la ciudad de Diamante es un movimiento complejo que involucra tanto a la barranca como a los suelos deslizados al pie de la misma, estimándose un volumen movilizado de 1.600.000 metros cúbicos.

La masa movilizada avanza hacia el río Paraná fracturándose y deformándose debido al flujo plástico lento del nivel subyacente de arcilla verde de alta plasticidad de la Formación Paraná. El movimiento tiene entonces dos partes, una superficial representada por la fracturación por extensión de los materiales cohesivos superiores y otra profunda que corresponde a los materiales blandos que han fluido plásticamente. Este flujo plástico profundo ha sido comprobado por la extrusión de arcillas verdes a través de las fracturas que afectan al material superficial y por la presencia de una cresta de presión, abombamiento hacia arriba del suelo, debido a la extrusión en superficie de las arcillas verdes a orillas del río Paraná.

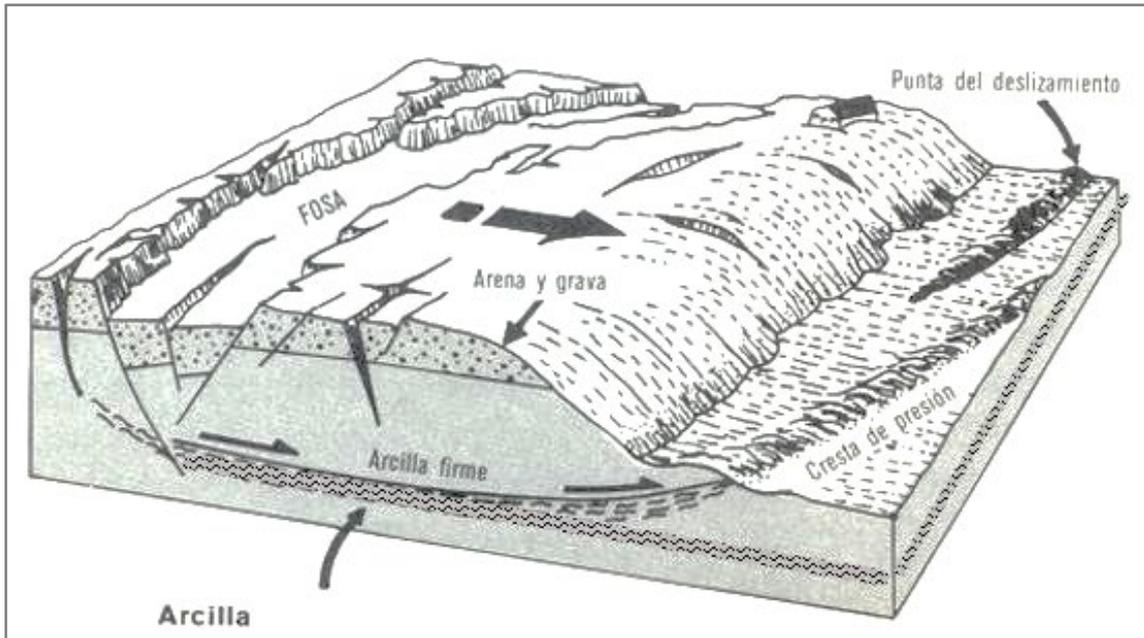
### 6.1. Tipología del Movimiento

La combinación de estas dos morfoestructuras, representadas por la fracturación por extensión de los suelos deslizados al pie de la barranca y la presencia de una cresta de presión, nos indica indudablemente que estamos en presencia de un movimiento de remoción en masa conocido como “expansión lateral”.

Las expansiones laterales son definidas por Varnes (1978) como la extensión de un suelo cohesivo (en nuestro caso los materiales deslizados del pie de la barranca) identificable por la presencia de superficies de ruptura; debido a que estos suelos sobreyacen a materiales blandos que han fluido plásticamente (en nuestro caso las arcillas verdes de la Formación Paraná), flujo que se expresa superficialmente en la cresta de presión. Las Figuras 12 y 13 (Varnes, 1978) ejemplifican las características de estos movimientos. La Figura 14 representa un perfil esquemático de estos movimientos en la zona de Diamante.



**Figura 12.** Esquemas de expansiones laterales, según Varnes (1978). En (a) se puede ver la extrusión de arcillas plásticas entre los bloques cohesivos superiores. En (b) se puede observar como el material cohesivo superior se va desagregando a medida que es movilizado por el flujo plástico profundo. En (c) se observa la extrusión formando la cresta de presión del nivel que fluyó plásticamente en profundidad y los suelos levantados contrapendiente por detrás de la cresta de presión.

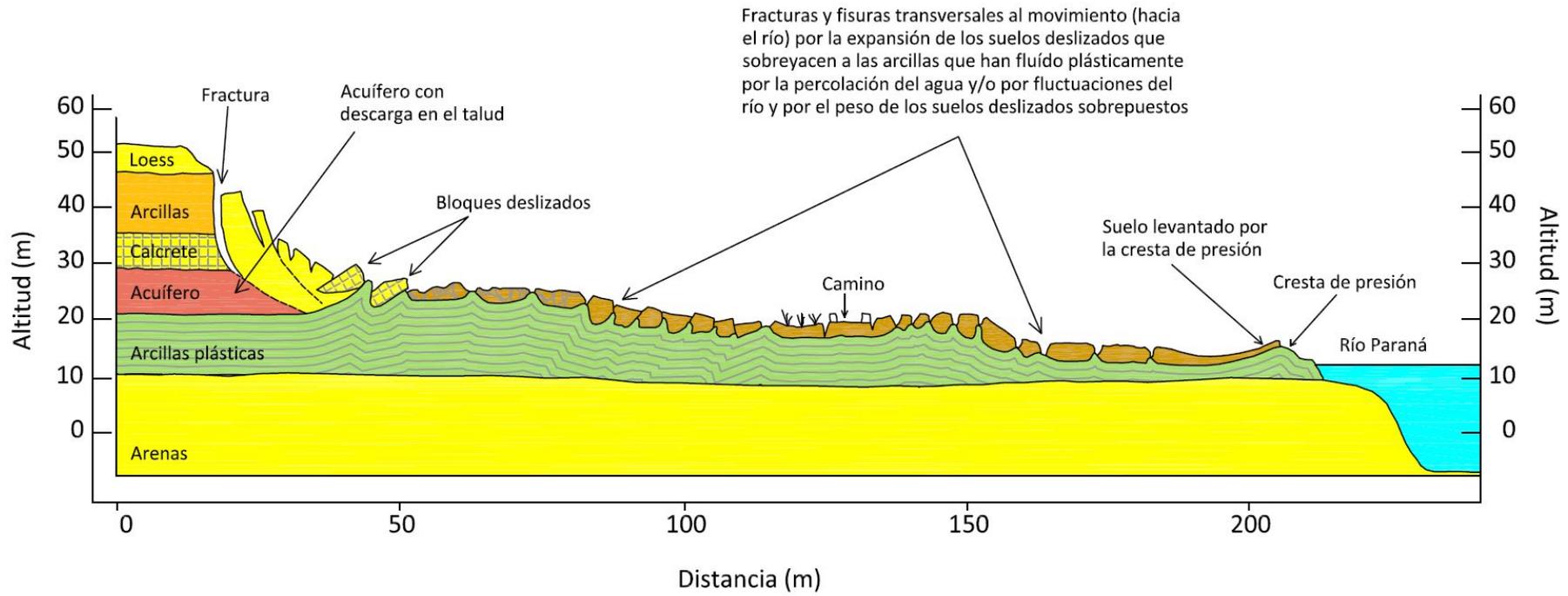


**Figura 13.** Esquema de expansión lateral mostrando una cresta de presión abombada hacia arriba como la observada a orillas del Paraná en el movimiento de Diamante.

Con respecto a la extensión de las expansiones laterales, en la dirección del movimiento, comienzan con la cresta de presión ubicada a orillas del río y se extienden, de acuerdo a nuestras observaciones, hasta la barranca. Esto puede afirmarse, porque al pie de la barranca hay un pequeño talud, apoyado en la misma, generado por material detrítico producto de caídas o desplomes desde la parte superior. Sobre dicho talud también se observan fracturas de tracción y la anomalía morfológica más llamativa es que, en ciertos lugares, el talud está separado de la barranca por una grieta de más de 0,50 m de ancho (Figura 15) cuando lo normal es que el talud este apoyado sobre el macizo rocoso.

ESE

ONO



**Figura 14.** Perfil esquemático del deslizamiento, señalando el cauce profundo del río Paraná, que le quita apoyo a la ladera, el horizonte de arcilla verde, con las extrusiones y cresta de presión, y los deslizamientos de bloques en la propia barranca, delimitado con fracturas de tracción verticales; todo bajo la influencia de un nivel freático con agua de orígenes diversos.



**Figura 15.** Fracturas de extensión abiertas que separan el talud (A) de la barranca (B), indicio inequívoco de que la extensión se extiende hasta la barranca.

Otra prueba de que la expansión se extiende hasta la barranca se ve reflejada en los bloques de calcrete que se hallan al pie de la misma y que son la evidencia de antiguos deslizamientos. El suelo que rodea estos bloques está separado de los mismos por grietas (Figura 16), tal vez como consecuencia de que los pesados bloques tienen menos movilidad que el suelo que los rodea o como resultado de la subsidencia de los mismos sobre los materiales blandos subyacentes (arcillas de la Formación Paraná).

La existencia de fracturas de extensión en el pie de la barranca nos indica el esquema tensional de tracción imperante en la misma. En ese contexto los materiales deformables representados por la arcilla verde de la Formación Paraná, con baja capacidad portante y muy plásticos, responden mediante deformación (flujo plástico), generando superficies de corte que permiten el deslizamiento de los materiales que los cargan.



**Figura 16.** Bloque de calcrete ubicado al pie de la barranca y separado por grietas del suelo que lo rodea.

Esto provoca fracturas de tracción en los estratos superiores, más competentes, que forman la barranca y pérdida de sustentabilidad de los mismos por deformación del sustrato inferior, culminando con los deslizamientos de la barranca.

Se comprobó que las fracturas que separan los bloques mayores, en la barranca, atraviesan todo el calcrete, llegando al acuífero confinado con descarga en el talud (Figura 17). Éste último nivel, incluido dentro de la Formación Paraná, está integrado por arenas grises finas y medianas, limos arenosos, arcillas moderadamente a muy plásticas, niveles calcáreos fosilíferos y un banco arenoso inferior, que es el que actúa como acuífero, encontrándose apoyado sobre arcillas verdes de muy alta plasticidad.



**Figura 17.** En (A) se observa el sector de descarga del acuífero confinado en la barranca. En (B) se observa una grieta de tracción que, partiendo de la parte superior de la barranca, se profundiza en el macizo rocoso llegando al acuífero.

Según lo observado en el deslizamiento del Cristo Pescador, el bloque descendió en forma vertical hacia abajo, mientras que la superficie superior del mismo se inclinó muy levemente hacia la escarpa. En movimientos antiguos en los que se conserva parte del bloque descendido se puede apreciar más claramente la rotación hacia atrás de la superficie superior del bloque (Figura 18). El incremento de la apertura de la grieta, en el deslizamiento actual, indica que el bloque se desplaza además hacia adelante, probablemente como mencionan los antecedentes, patinando o deslizando sobre estratos arcillosos de la Formación Paraná (Figura 19).

Se puede concluir entonces que el bloque se mueve según una superficie de deslizamiento de estilo lístrica, casi vertical en superficie, curvándose suavemente en profundidad hasta intersectar el plano subhorizontal de patinaje, dado por las arcillas de muy alta plasticidad.



**Figura 18.** Antiguo bloque descendido en la barranca (A), donde se puede apreciar la rotación hacia atrás en dirección de la antigua escarpa de arranque, representada actualmente por la barranca.



A



B



C

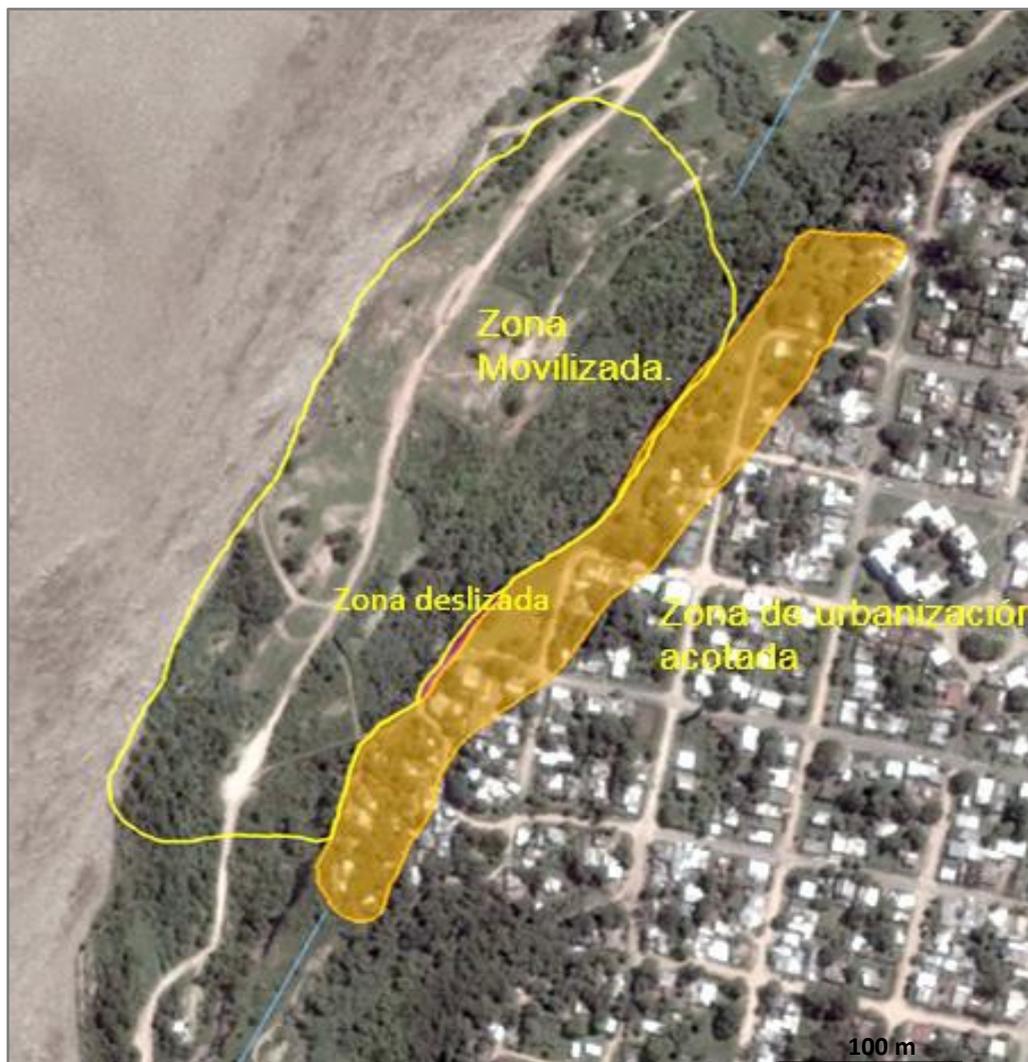


D

**Figura 19.** Secuencia evolutiva del movimiento que comienza con una fractura apenas insinuada en el suelo (A), continua con una grieta no desplazada (B), que luego deja ver un pequeño descenso (C) y finalmente un descenso de 3 o 4 metros y una apertura aún mayor de la grieta (D).

Finalmente, se concluye que el deslizamiento de la barranca y la extensión de los suelos al pie, constituyen un movimiento complejo, debido a la relación continua entre las expansiones laterales y los deslizamientos, por la importancia de la deformación de la base (flujo plástico) en ambos movimientos.

A partir de esta interpretación del movimiento, se entiende que no es el macizo rocoso que contiene la barranca el que ejerce un empuje sobre el material acumulado en la base, sino que todo el pie de la barranca se mueve en forma independiente o conjuntamente con ella, sobre la base del horizonte arcilloso de alta plasticidad de la Formación Paraná. Se trata en consecuencia de un área inestable y movilizada del paseo de La Ribera, que alcanzó una dimensión de 11 ha. Hay un volumen del orden de 1.600.000 m<sup>3</sup> (Figura 20).



**Figura 20.** Vista de la zona deslizada, los suelos deslizados al pie de la barranca (paseo de La Ribera) y el área que requiere control de desarrollo urbanístico.

## 6.2. Movimientos Menores Independientes de los Anteriores

Independientemente de los movimientos antes descritos hay pequeños movimientos representados principalmente por desplomes que se generan por aperturas de grietas de tracción en taludes verticales debidos a descompresión lateral por erosión, infiltración de aguas con arrastre de finos o incremento de la presión de agua intersticial, seguidas por una caída o desplome.

Estos movimientos típicos en materiales detríticos recientes afectan principalmente a los niveles de loess de la parte superior de la barranca. Las grietas de tracción separan bloques que no superan los 0,50 m de ancho, con una altura correspondiente al espesor del loess de aproximadamente 1 metro.

La recurrencia de estos pequeños movimientos es alta, lo que se refleja en la mayor erodabilidad del nivel loesside siempre ubicado un poco hacia atrás en el perfil de la barranca (Figura 21). Estos movimientos originan el pequeño talud ubicado al pie de la barranca.



**Figura 21.** Bloque superior de la barranca compuesto por loess. (A) Grietas de tracción. (B) Pequeño escalón en la barranca, que evidencia el mayor retroceso y erodabilidad del loess superior. Borde de barranca en el barrio Urquiza.

### 6.3. Origen del Agua

La carga ejercida sobre el nivel arcilloso de alta plasticidad por el material suprayacente genera cambios en las fuerzas intergranulares debidas al contenido de agua y presión de poros como respuesta al efecto de un acuífero que descarga en la zona libre al pie de la barranca. A este se le suman las descargas del agua proveniente de los desagües cloacales, el agua de escorrentía del drenaje urbano, que es derivada directamente al pie de la barranca y la saturación del nivel inferior por efecto de las variaciones altimétricas del río Paraná. En menor medida, pero no por ello debe dejar de mencionarse, el efecto producido por la disminución de la cubierta arbórea en el paseo de La Ribera, con la consecuente merma en la evapotranspiración.

### 6.4. Efectos del Agua

En este contexto general mencionado se debe considerar la presencia de un horizonte de arcilla verde y el estrato limo-arcilloso inmediato superior que se encuentran por debajo del nivel del río, aflorando en el talud del canal fluvial de acceso al puerto. Estos horizontes son afectados por el cambio de tensiones internas, por efecto erosivo natural o provocado por el dragado del canal de acceso al puerto de Diamante, que se encuentra al pie de toda esta zona, lo que implica una eventual pérdida de soporte al pie de la planicie.

Sobre este nivel está el efecto del agua proveniente del acuífero y aportes externos, ya mencionados, por lo que toda el área movilizada está bajo efectos del agua. La misma es responsable de gran parte de los deslizamientos por actuar en múltiples formas:

- a) La presión de poros afecta negativamente la resistencia de los materiales involucrados.
- b) La presión hidrostática ejercida sobre cada una de las distintas discontinuidades, reduce la tensión normal efectiva.
- c) Disminuye la resistencia al corte tanto de las discontinuidades como intergranular.

## 7) Conclusiones

- 7.1 Todo movimiento de remoción en masa, como el deslizamiento motivo de estudio del presente informe, se desarrolla debido a las características geológicas que actúan como factores condicionantes y a disparadores del movimiento, que pueden ser geológicos, climáticos o antrópicos. Es claro que la principal característica geológica que actúa como condicionante de los movimientos en la localidad de Diamante es la arcilla de alta plasticidad de la Formación Paraná, aflorante en el pie de la barranca, a orillas del río Paraná y subyacente a los suelos deslizados. También es evidente que el disparador de los movimientos es el agua contenida en los suelos y el macizo rocoso, proporcionada por el río, las lluvias y la actividad antrópica que favorece la infiltración de agua.
- 7.2 El deslizamiento de Diamante es un movimiento de remoción en masa complejo, que involucra al deslizamiento de la barranca y a la propagación o expansión lateral de los antiguos suelos deslizados al pie de la misma. Ambos determinan un movimiento complejo, debido a la relación continua entre las expansiones laterales y los deslizamientos, por la incidencia de la deformación de la base (flujo plástico) en ambos movimientos. Es por ello que se concluye que el área inestable, que se está movilizando, tiene una superficie del orden 11 hectáreas y un volumen del orden de 1.600.000 metros cúbicos, e involucra la parte urbanizada inmediata a las barrancas y la base inferior de las mismas que conforma el Parque Paseo de la Ribera.
- 7.3 Las acciones de control y mitigación que se proponen a continuación se centran en la disminución del principal efecto disparador del movimiento representado por la presencia del agua contenida en el macizo rocoso, parte de la cual se debe a la acción antrópica.

## 8) Acciones de Control y Mitigación

El análisis de los procesos de remoción en masa descriptos previamente trata de identificar el tipo de movimiento y su vinculación en el contexto geológico local y ello implica además la consideración de su incidencia o interacción con el desarrollo de la infraestructura urbana como también la identificación de los procesos o acciones que pueden actuar positiva o negativamente en la estabilización de las barrancas.

Los procesos descriptos tienen como factor común la incidencia del agua como elemento reductor de las ya débiles propiedades resistentes de los distintos componentes litológicos, como también de la activa acción desestabilizadora de las presiones de poros.

Por otro lado, no se debe olvidar que estamos ante un proceso evolutivo normal del

cauce del río Paraná caracterizado en la zona por condiciones morfológicas particulares dado su gran caudal, y que genera una alta capacidad de arrastre de materiales y por lo tanto un gran poder erosivo, reflejado en importantes canales de flujo. Estas características morfológicas son las que han permitido la instalación de un puerto de aguas profundas, que seguramente gravitó positivamente en el crecimiento de la ciudad de Diamante. Pero las mismas características morfológicas sumadas a la acción antrópica (dragado del río) son las que inciden negativamente en la desestabilización de las barrancas de la ciudad.

Esto significa que se trata de un proceso irreductible del que se tiene que tomar la debida consideración para lograr un contexto de desarrollo urbano que sea sustentable con este particular medio ambiente.

Por lo desarrollado precedentemente, resulta un elemento que es determinante para establecer las condiciones de estabilidad de la zona: el agua.

Resulta factible realizar varias acciones, de simple y rápida implementación, que a su vez presentan una alta relación costo-beneficio. La verdadera optimización de las acciones estabilizadoras requiere la acción conjunta del equipo técnico a cargo del desarrollo e implementación; y el sostenimiento por parte de la comunidad toda, tomando como propias las acciones a realizar, concientizándose además en la divulgación de las medidas que protejan el medio natural.

Esto se debe apoyar en un paradigma de base: ***son acciones que se deben ser continuas y ser parte del proceso de desarrollo urbano, para lograr sustentabilidad en el contexto ambiental.***

Los principales procesos y acciones emergentes a considerar son relativos a:

- 1 *Provisión de agua potable.*
- 2 *Sistema de cloacas.*
- 3 *Agua de escorrentía. Sistema de control de aguas pluviales.*
- 4 *Instalación de un sistema de drenaje.*
  - 4.1 *Drenaje en área urbanizada.*
  - 4.2 *Drenaje en los suelos deslizados al pie de la barranca.*
- 5 *Forestación de los suelos deslizados al pie de la barranca (paseo de La Ribera).*
- 6 *Instalación de un sistema de monitoreo. Instalación de piezómetros.*
- 7 *Restricción del avance de la urbanización en el perímetro cercano a la barranca.*

### **8.1. Provisión de Agua Potable. Reducción de Pérdidas**

Es necesario que el servicio de distribución de agua potable sea realizado con una metodología que asegure la optimización de cada litro de agua que se vierte en la zona. Es muy importante evitar en todo lo posible el problema de los excedentes que en gran parte se vuelcan al subsuelo. Su incidencia no es sólo en lo relativo a evitar el exceso de agua en la zona de barrancas, sino que también en todos aquellos sectores de la ciudad, que están fundados en los limos loésicos, los que presentan una capacidad de soporte notoriamente disminuida en condiciones de saturación. En este estado, ante una carga dada, responden con altas deformaciones que afectan tanto a las edificaciones como a las obras de infraestructura. En algunos casos el problema se magnifica, porque las deformaciones generan rotura de cañerías, aumentando las pérdidas y costos involucrados.

Es necesario aumentar la eficiencia del sistema de distribución de agua potable evitando las pérdidas por malas conexiones y/o roturas de cañerías, mediante un adecuado sistema de cañerías, evitando la presencia de mangueras en superficie, con malos empalmes y roturas múltiples sin reparación en tiempo y forma.

Un factor determinante para el control de los excesos de agua está dado por la instalación de caudalímetros, llegando a nivel domiciliario preferentemente, lo que asegura el control de pérdidas de la red. Un paso intermedio es la instalación de caudalímetros por sectores de distribución. De esta forma se detectan las pérdidas antes de que las mismas se evidencien por los daños causados. La ecuación costo-beneficio es tal que puede no ser necesario transferir el costo de los micromedidores a los usuarios.

### **8.2. Sistema de Cloacas**

Es el segundo factor de recarga del subsuelo. Su ausencia o su funcionamiento defectuoso motiva que todo el excedente del servicio de provisión de agua potable termine insumiéndose en el subsuelo. En el caso puntual del barrio San Roque, aunque no el único caso, son muchos los domicilios que no están conectados a las cloacas pero, además, el sistema de cámara séptica/pozo negro resulta muchas veces de construcción deficiente. Es imperioso suspender este procedimiento, conectar todos los hogares a cloacas, redireccionando además las tuberías de modo que la descarga sea a una zona de tratamiento distante de la zona de barrancas.

### **8.3. Aguas de Escorrentía**

Ocurre algo similar al problema de las cloacas, se observa que las aguas de

escorrentía pública y privadas, siguen la topografía natural y descargan directamente en la base de las barrancas. Se trata de un sector reducido de la ciudad, con una topografía que ayuda para que se puedan construir canales captadores y re-direccionar los flujos, para que no descarguen a través de la barranca en el parque de La Ribera.

#### **8.4. Sistema de Drenaje**

El mejor drenaje es aquel que impide que el agua llegue a la zona crítica, por ello se han planteado todas las acciones anteriores. Sin embargo, para bajar el efecto de la presión hidrostática que afecta a los suelos deslizados al pie de la barranca, del paseo de La Ribera, se pueden utilizar los antiguos pozos de mano, como el que se encuentra al pie del Cristo Pescador, utilizando el bombeo de flujo libre.

##### **8.4.1. Drenaje en Área Urbana**

Utilizando los pozos actuales, se bombea desde el volumen acumulado en el fondo del pozo hasta llegar a un mínimo estructural (toma de bomba, por ejemplo) donde se lo para y se lo reinicia cuando la recuperación llega a la cota inicial. Se observó que el pozo en el Cristo Pescador tenía 3,70 m de agua, se puede bombear hasta que el nivel baje a 2,5 m por ej. cuando eso sucede se lo detiene (en forma automática) y se reinicia cuando recupera el nivel anterior. De esta forma el flujo hacia el pozo responde a la natural conductibilidad hidráulica del acuífero y no se pone bajo carga el acuífero por bombeo.

Los datos de determinaciones anteriores indican que se trata de un acuífero con una conductibilidad hidráulica baja  $K_h$   $4,7 \cdot 10^{-4}$  a  $7,8 \cdot 10^{-5} \text{cm/s}$  (Fili *et al.*, 2005). Esto implica que con bajos caudales se logrará una buena depresión, y además optimizando su posición, las horas de bombeo se reducirán con el tiempo.

El objetivo no es el caudal, sino extraer el volumen de agua que tiene el macizo en la cercanía de la barranca y a la vez impedir que dicha agua haga efecto de recarga pendiente debajo de la barranca, en los suelos deslizados al pie de la barranca.

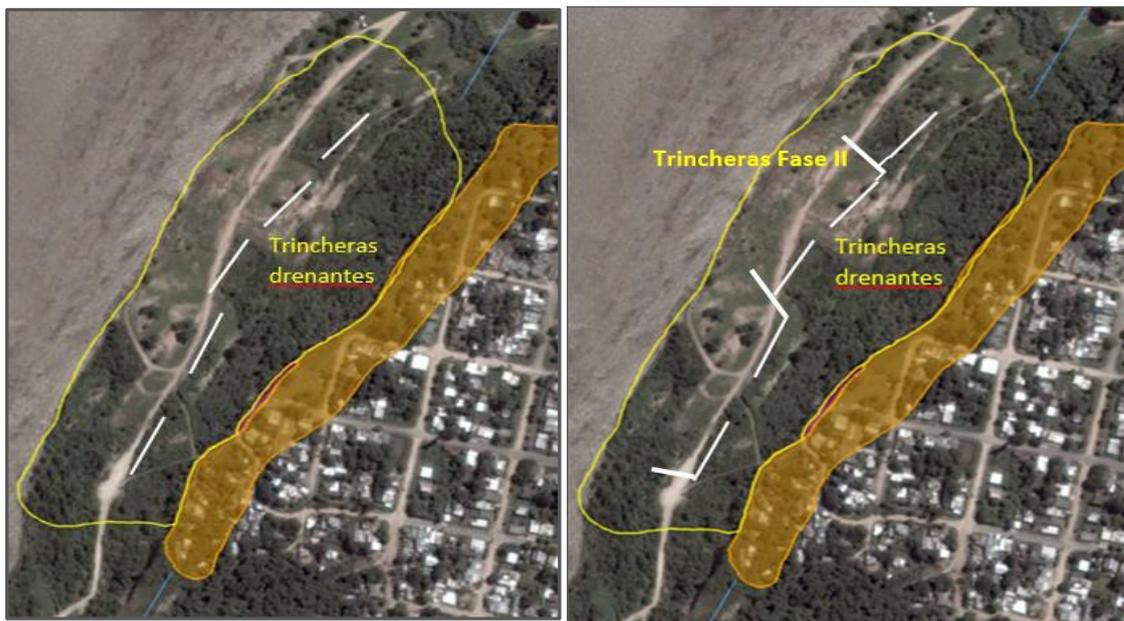
En el caso que se tenga dudas sobre los pozos actuales, la construcción de nuevos pozos abiertos (eventualmente conectados, aunque esto aumenta notoriamente los costos) sería una muy buena acción de control. Se debe considerar que esta acción es de carácter temporal, y/o de resguardo, pues una vez implementado los otros sistemas quedarán anulados.

#### **8.4.2. Drenaje de los Suelos Deslizados al Pie de la Barranca (Paseo de La Ribera)**

La estabilización del área se logrará en primera instancia disminuyendo el volumen de recarga del agua de subsuelo. Pero como ya se describió, la zona se presenta prácticamente en condiciones de saturación, con agua aflorante en humedales o movilidad subterránea a pocos centímetros de la superficie, lo que fue comprobado por las calicatas.

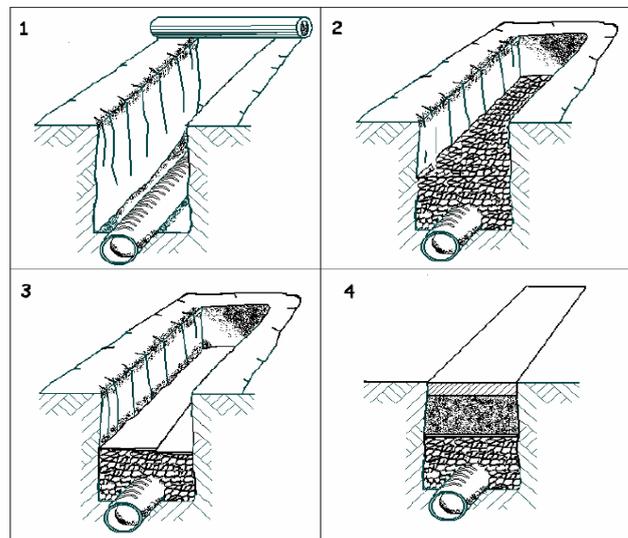
Una medida provisoria para mejorar las condiciones de estabilidad de la zona sería implementar el simple método de las excavaciones de zanjas drenantes captadoras, temporalmente complementadas por bombeos.

Las trincheras son realizadas por retroexcavadoras, se excavan varias de ellas, todo a lo largo del parque, en forma paralela a la línea de barrancas, de aproximadamente 2 a 2,5 m de profundidad. Se deberá busca un equilibrio entre el volumen de la excavación, la capacidad de captación y la seguridad constructiva, ya que es zona movilizada. (Figura 22).



**Figura 22.** a) Ubicación de las trincheras drenantes en la fase inicial, con bombeo eventual desde un extremo profundo. b) Trincheras drenantes en fase II con descarga gravitatoria al río Paraná.

El detalle constructivo de las trincheras drenantes es simple. Luego de efectuada la excavación se coloca un geotextil, no tejido permeable (tipo Bidin R14-R21), y se rellena con grava (>1" y <2,5") con un espesor de 0,7- 0,8 m. El sistema, en general prevé complementar con un dren de PVC, tipo industrial o generado en obra con ranuras paralelas (no perforaciones) en toda su longitud, pero en este caso no es imprescindible (Figura 23).



**Figura 23.** Esquema de la secuencia constructiva de la trinchera drenante tipo.

Al efecto de darle condiciones de seguridad ante la población y mimetizar el sistema, luego de colocada la grava, se la cubre con el geotextil, y se cierra la excavación con el material extraído. Uno de los extremos de la trinchera se profundiza 3,5 a 4,0 m, para que actúe como receptor y desde allí se bombea directamente al río, mediante bombas de barro. En las zonas receptoras se utiliza un procedimiento similar, pero colocando un tubo drenante vertical de gran diámetro que permita contener la bomba. Este bombeo sería conveniente en una etapa inicial, hasta deprimir el nivel, luego se puede dejar que el sistema trabaje por simple gravedad.

En la fase siguiente se vinculan las trincheras drenantes antes excavadas con otras trincheras, pero excavadas con sentido hacia el río. (Figura 22b). La vinculación hidráulica lo hace el propio volumen de grava utilizando el mismo criterio constructivo, siendo la terminación de la trinchera ajustada a la topografía, de modo que el tramo final queda solo con grava hasta la superficie. El drenaje en estas condiciones ya actuará sólo por gravedad no siendo necesario el bombeo.

De esta forma todo el sistema queda mimetizado en la superficie y puede ser señalado a futuro con la colocación de algún tipo de árboles en particular, por ejemplo, lapachos blancos.

### **8.5. Forestación de los Suelos Deslizados al Pie de la Barranca (Paseo de La Ribera)**

Siguiendo el objetivo de drenar la zona y pensando a largo plazo, conviene rescatar

la idea previa de forestación y tratamiento paisajístico mediante la utilización de árboles de importante consumo de agua, como el lapacho, el jacarandá, el eucalipto, la tipa y el fresno, acompañados por otros ornamentales como el ibirá pita, el ceibo y arbustos varios.

Al respecto es oportuno generar una zona de eucaliptus, uno de los mayores extractores de agua, en el área inferior próxima a las barrancas, donde se encuentran los mayores afloramientos de agua.

Todo ello puede potenciar el actual uso como una importante área recreativa, del Paseo de La Ribera hasta Punta Gorda.

#### **8.6. Instalación de un Sistema de Monitoreo. Instalación de Piezómetros Abiertos**

Este es un clásico elemento de control. Se pueden perforar específicamente algunos de ellos, en el sector urbano, para controlar la depresión del nivel freático inferior, a una distancia de unos 30 m hacia la zona urbana a partir de la línea de pozos drenantes. La profundidad y colocación se podrán precisar luego de tener actualizada la base topográfica del área.

#### **8.7. Restricción del Avance de la Urbanización en el Perímetro Cercano a la Barranca**

Como medida de control del desarrollo urbano es oportuno establecer claramente los alcances y delimitaciones del desarrollo edilicio. En líneas generales es conveniente limitar la construcción al menos a una distancia de dos veces la altura de la barranca.

Si se efectúan todas las acciones de control antes mencionadas, y éstas se mantienen en el tiempo, se puede llegar a un equilibrio límite, entre lo ya construido hasta una distancia, del borde, equivalente a la altura de la barranca, pero cumpliendo las normas constructivas de rigor, y desde ya excluyendo toda incorporación de infraestructura en este sector, de aquí en adelante.

### **9) Recomendaciones**

En primer lugar, se recomienda implementar cuanto antes los trabajos complementarios solicitados (trabajos de topografía y batimetría de detalle, además de la recopilación de información previa) y las acciones de control y mitigación propuestas. Se debe tener en claro que el movimiento que involucra a la barranca y a los suelos deslizados al pie, se está produciendo actualmente.

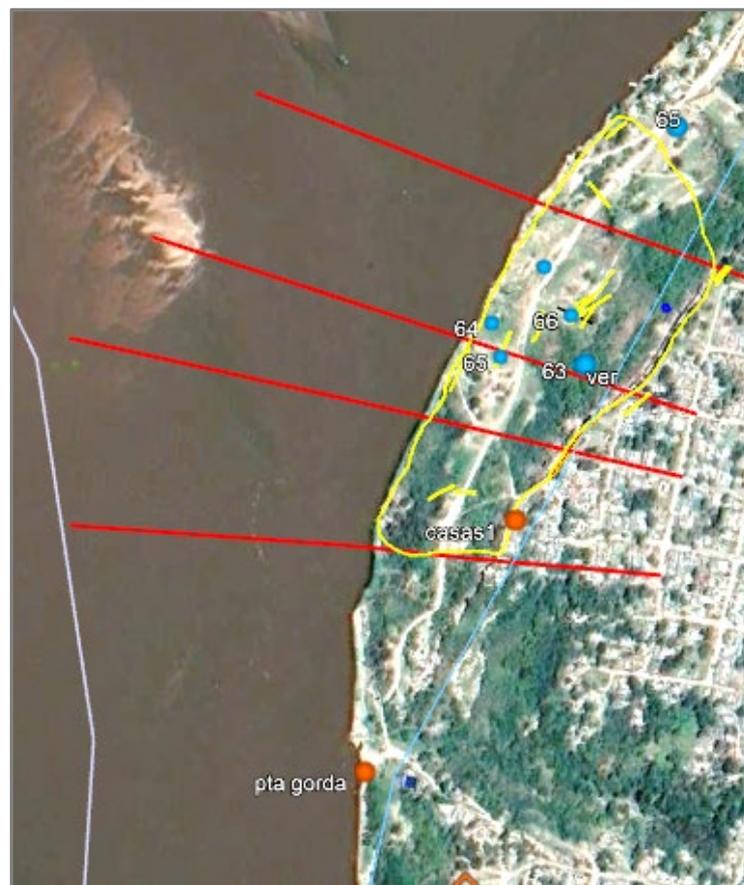
El movimiento no concluyó, es un movimiento lento de larga duración, condicionado por un flujo plástico profundo.

En relación a la recopilación de la información previa arriba mencionada, y

considerando la importancia de los trabajos y estudios ya realizados, sería muy útil que el Municipio pudiera contar con el “Proyecto Ejecutivo de Estabilización de Barrancas de la Ciudad de Diamante” elaborado por PROINSA (1999) para la SUPCE Entre Ríos. Dicha información ayudaría a parametrizar las características geológico-geotécnicas del sector de las barrancas analizado.

En cuanto al desarrollo ejecutivo de las distintas acciones de control y mitigación, particularmente la definición de la geometría definitiva de las trincheras/galerías drenantes, como de las descargas pluviales y cloacales, será sustancial disponer de una actualización de la topografía de detalle de la zona, tanto en la parte urbana superior como en la parte inferior del parque de La Ribera.

Al respecto se solicitó al Municipio (mediante mail a fecha 05/11/2018) la confección en primera instancia de cuatro perfiles topográficos, y de su continuidad en el cauce del río, por métodos batimétricos (Figura 24), como paso previo a cualquier estudio subsecuente.



**Figura 24.** Vista del área para la actualización topográfica, incluyendo la zona de Punta Gorda y la ubicación de los cuatro perfiles topográfico-batimétricos.

## 10) Bibliografía

- Chowdhury R.; Flenje P.; Battacharya G. 2010. "Geotechnical Slope Analysis" CRC Press/Balkema. Londres.
- Díaz, E.L., Dalla Costa, O.A. y Sanguinetti, J.A. 2005. "Relaciones entre niveles acuíferos y deslizamientos de barrancas en Entre Ríos. Soluciones mediante sistemas drenantes. Research Gate, Junio 2005.
- Fili MF., Dalla Costa O.A, Diaz E.L. y Giorgio E, 2002. "Estudios Hidrogeológicos para la estabilización de Deslizamientos de Barrancas en la Ciudad de Diamante. Provincia de Entre Ríos. Argentina" XXXII IAH & VI ALSHUD Congress "Groundwater and human Development". Mar del Plata.
- Franco J.M; Cassano A.M y Bolla G. L., 2002. "Estabilidad de Barrancas sobre el Rio Parana. Modelado por métodos numéricos. UTN (Proyecto CCPRPA 262H).
- PROINSA, 1999. "Proyecto Ejecutivo de estabilización de barrancas en la ciudad de Diamante" (Diamante City Landslides Stabilization Executive Project). SUPCE Entre Ríos. Tomo I. Inédito.
- Sanquinetti J.A. (1995) "Anteproyecto de Estabilización de Barrancas de la Ciudad de Diamante" SUPCE Entre Ríos. Inédito (Informe parcial-contenido incompleto).
- Varnes, D.J., 1978. Slope Movements Types and Processes. In Special Report 176: Landslides Analysis and Control (R.L. Schuster and R.J. Krizek, eds.), TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 11-33.