



OBRA: *Parque España Sur*
COMITENTE: *Municipalidad de Rosario*
UBICACION: *Rosario – Pcia de Santa Fe*
FECHA: *Julio de 2.005*

INFORME ESTUDIO GEOTECNICO

1. Objeto del Informe

Conocer las características del subsuelo en coincidencia con el área de emplazamiento de las instalaciones de un paseo que será reconstruido, que se encuentra sobre margen derecha del río Paraná en la ciudad de Rosario (Pcia. de Santa Fe), definiendo las cotas de cimentación de una alternativa de fundación indirecta, las tensiones admisibles aconsejables y otros parámetros de diseño, como así también toda medida constructiva especial que sea menester tener en cuenta tanto para la ejecución de las fundaciones, como para las etapas de obra posteriores.

2. Características de las Obras y aspectos licitatorios

Se trata de un parque aledaño a las instalaciones del colegio y a tinglados de uso público en la ribera del río Paraná, entre los límites aproximados definidos por la prolongación de las calles Mitre y Maipú. Las estructuras existentes se han cimentado sobre antiguos muelles de madera, que están sufriendo deterioros importantes, derivados de su obsolescencia. Se pretende reemplazar esas estructuras por otras nuevas, a cuyo efecto se realiza el estudio de suelos que permita diseñar las nuevas fundaciones. El estudio se extiende sobre 650 m de la línea de costa.

La licitación privada N° 060/05 incluída en el expediente 12458-C-05, convocó a firmas especializadas para la ejecución de un estudio de suelos involucrando la ejecución de 28 sondeos por un total de 756 metros de perforación, previéndose un plazo de 60 días para la conclusión de los trabajos.

El concurso fue adjudicado a Incociv S.R.L. por Resolución N° 0106/05, suscribiéndose el Acta de Inicio con fecha 27 de Mayo de 2.005.-



3. Trabajos realizados

a) Campaña

Entre los días Veintisiete de Mayo y 20 de Julio de 2.005, se ejecutaron las labores de campo, completándose la perforación de veintiocho sondeos de profundidad diversa. Su ubicación puede observarse en el plano adjunto, detallándose a continuación la identificación de los sondeos y sus profundidades , según el sector del parque en que se han ejecutado:

Sector	Sondeo	Profundidad efectiva (m)	Profundidad lecho (m)
Línea en el agua	P ₂₄	27.10	6.90
	P ₂₅	26.50	6.50
	P ₂₆	27.25	9.75
	P ₂₇	28.35	9.65
	P ₂₈	21.20	10.80
Línea sobre el frente Nor-Este del Parque	P ₁₅	24.10	5.-
	P ₁₆	28.30	5.05
	P ₁₇	25.-	4.-
	P ₁₈	24.25	8,75 m
	P ₁₉	25.-	10.-m
	P ₂₀	25.-	10.-m
	P ₂₁	27.90	10,10 m
	P ₂₂	27.95	10,05 m
	P ₂₃	25.45	9,55 m
1 ^a Línea Interior a 11 m del frente costero	P ₆	31.-	
	P ₇	31.-	
	P ₈	32.-	
	P ₉	26.50	5,50 m
	P ₁₀	31.-	
	P ₁₁	25.90	6,10 m
	P ₁₂	32.-	7.- m
	P ₁₃	29.40	5,60 m
	P ₁₄	25.-	
2 ^a Línea a 25 m del frente costero	P ₁	28.-	
	P ₂	32.-	
	P ₃	30.-	
	P ₄	32.-	2.- m
	P ₅	22.-	3.- m

Como se desprende del cuadro anterior, se ejecutaron 130.40 m en agua, y 641 m en tierra. Atento al remanente de aproximadamente 20.-m en los pozos de agua, respecto a lo contratado, se instruyó la ejecución de un sondeo adicional en la zona cercana de nuevos muelles de pesca, auscultación a la que se asignó el N° 29.-



Las auscultaciones ubicadas en el agua se ejecutaron desde un pontón propiedad de la firma, identificado como *Incociv I*, perforándose por medios manuales. En cambio, en las perforaciones realizadas desde tierra firme, tomando en cuenta la presencia de materias extrañas, tales como estructuras de hormigón, madera o acero, adoquines o piedras, fue necesario recurrir a equipo mecanizado, utilizándose una perforadora Craelius con motor Deutz, dotada de brocas diamantadas o de widia, y la ayuda de camisas metálicas con zapata de diamantina en el tramo superior. Una vez alcanzados los mantos más densos, se recurrió al auxilio de inyección de lodos bentoníticos para la contención de las paredes de la excavación. Se acompañan fotografías que documentan el proceso de perforación.

Los tirantes de agua al momento de la perforación de los sondeos en el río, se consignan en las Planillas individuales por auscultación.

En cada metro perforado se efectuaron ensayos de Penetración normalizada (S.P.T.) mediante la hinca de un sacamuestras bipartido del tipo Terzaghi, con el que se trajeron testigos indisturbados a efectos de evaluar los parámetros de corte de los estratos y su capacidad resistente.

Se recuperaron además muestras alteradas a efectos de reconstruir la secuencia estratigráfica, mediante ensayos de identificación física y química.

Se controló el nivel del agua sobre la boca de los sondeos a efectos de referirlo al cero del Puerto de Rosario.

A efectos de definir los niveles estratigráficos, se tomó como referencia un punto fijo ubicado en la explanada ubicada según se indica en el plano, al que se asignó cota IGM. También se dio a los sondeos niveles referidos al cero del Hidrómetro del puerto de Rosario.

b) Laboratorio

Ensayo de las muestras extraídas para la determinación de las siguientes características físicas:

- Límites de Atterberg LL-LP (s/normas IRAM 10501/68 y 10502/68)
- Humedad natural
- Granulometría (vía húmeda)



- Lavado sobre Tamiz Nº 200 (s/norma IRAM 10507/69)
- Módulos de Fineza de las arenas
- Densidad seca y húmeda
- Ensayos de compresión triaxial rápidos no drenados escalonados (UU) sobre muestras representativas, a fin determinar los valores de cohesión y ángulo de fricción interna φ
- Ensayo edométrico sobre muestras representativas
- Ensayos químicos de agresividad

Todos los ensayos en el terreno y laboratorio se encuentran representados en las planillas correspondientes a cada uno de los sondeos. En ellos se detallan además los perfiles geotécnicos y la clasificación de los suelos destacando el número de golpes N del ensayo de Penetración normalizado, consignándose en una columna de *Observaciones* las particularidades detectadas.

Se acompañan además nueve perfiles geotécnicos transversales, según las líneas de sondeos detalladas en el plano respectivo, y un perfil longitudinal por el borde costero.

4. Descripción de los perfiles hallados

Se efectuará la descripción de los perfiles transversales representados en las láminas adjuntas. La descripción se efectuará de acuerdo a niveles IGM.

- **Línea de Perforaciones P_5 , P_{14} , P_{23} y P_{28}**
 - * Desde el piso superior (cota aprox. + 10.-m) hasta una cota variable entre + 2.-m y -4.-m aproximadamente, se encontró capas de materiales varios: escombros, balasto, granito y restos metálicos, en una matriz de suelos arcillosos y limosos de clasificaciones CL y ML, con intercalaciones de arenas limosas mal graduadas (de clasificaciones SM, SP-SM SP en el sistema SUCS), de color castaño, o amarillo ocre. Su densificación varía en un rango amplio, y se va profundizando hacia el río.
 - * Desde cota +2.-m en P_5 y -4.-m en P_{28} (en el río) aparecen mantos naturales arenosos de clasificación SP-SM y SP (arenas limosas mal graduadas o mal graduadas más limpias) de densidad relativa suelta a



medianamente densa, y coloración amarillenta. Este manto se extiende hasta cota -4.-m en tierra firme y se profundiza hacia la costa, con la intercalación de una lente arcillosa hacia el río, que llega hasta cota aproximada -12.-m. Su consistencia está entre blanda y muy compacta.

- * Por debajo del manto anterior, se detectó una arena mal graduada o limosa mal graduada (SP ó SP-SM), de color amarillento con densidad relativa densa y muy densa. Ese manto va de las cotas indicadas antes hasta el fin de los sondeos: de cota -15.-m en el interior a - 25.-m en la costa.
- * Se destaca que en P₂₃ y P₂₈, se detectó en el manto antes descripto, una intercalación de arena medianamente densa, que está comprendida entre cotas -14 a -17.-m.

- **Línea de Perforaciones P₁₃ y P₂₂**

- * Desde la superficie del lecho (cotas 7 a +/-0.-m) hasta el nivel -2.-m, se hallaron materiales de aporte (balasto, escombros) con suelos arcillosos y limosos blandos de clasificación ML y CL, que se alternan con alguna lente de arena limosa mal graduada (SP-SM).
- * Desde el nivel antedicho hasta - 10.-m , se detectó la presencia de arenas limosas SP-SM o mal graduadas SP, de densificación media (aunque en P₁₃ es más densa), de coloración amarillento ocre o amarillento grisaceo.
- * Desde -10.-m a - 16.- m se halló arcillas y limos de clasificación CL y ML de color gris oscuro y consistencia media a compacta.
- * Desde la profundidad anterior hasta el nivel auscultado -28 m, se detectó arena mal graduada limosa SP-SM y SP, de color amarillento ocre, densa y muy densa, con una delgada lente arcillosa SC en P₂₂.

- **Línea de Perforaciones P₄, P₁₂, P₂₁ y P₂₇**

- * Desde la superficie hasta cota + 3.-m se halló arcilla blanda de clasificación CL y CH, de color gris oscuro. La consistencia es blanda.
- * En el nivel antedicho se encontró un manto de balasto y escombros con suelo arcilloso que se extiende hasta el río mismo, por debajo del que aparecen arcillas y limos en una capa espesa que llega hasta cota -14.-m



en el interior y - 23.-m en el río. Son suelos de clasificación CH, CL y ML, que en P₁₂, P₂₁ y P₂₇ tienen una intercalación de arena medianamente densas a densas de color amarillento, de clasificación SC, SM y SP-SM.

- * El manto inferior es arenoso (arenas SP-SM ó SP) que se extiende hasta el fin de los sondeos, con una transición de espesor variable menos densa y algo arcillosa, con un incremento de la densificación desde cotas -15.-m en el interior a -27.-m en el río.

- **Línea de Perforaciones P₁₁ y P₂₀**

- * Desde la superficie subyacente del lecho (entre cotas +5.- y +/-0.-m), se halló una capa de espesor variable de balasto, escombros y restos de madera, bajo el que se encontró un manto de arena limosa SM (a veces mal graduada SP-SM) de densidad suelta. La coloración es grisácea y amarillenta.
- * El manto anterior se extiende hasta un nivel prácticamente horizontal de cota -9.-m , debajo del cuál se detectó arcillas CL y CH de color gris oscuro, de consistencia blanda y medianamente compacta.
- * Prosigue por debajo de cota -18 a -20.-m un manto arenoso conformado por arenas limosas mal graduadas de color amarillento, SP-SM y SP, que en la transición es medianamente denso, y luego denso y muy denso.

- **Línea de Perforaciones P₃, P₁₀, P₁₉ y P₂₆**

- * Desde la superficie, y en espesor variable, aparece una capa de suelo arenoso con escombros, que en el cauce se continua como balasto con suelo arcilloso.
- * Por debajo de él, se halló un espeso manto arcilloso que se extiende hasta cota -18.-m , con diversos grados de consistencia (desde blandas a medianamente compactas en el tramo superior, hasta muy compactas y duras hacia abajo). Su coloración es gris oscura. Se destaca las intercalaciones de capas de arena de densificación variable, especialmente en P₁₉.



- * Por debajo del nivel antedicho, aparecen arenas densas a muy densas de color amarillento y grisáceo, de clasificación SM y SP-SM. Hay que destacar la intercalación de un grueso manto arcilloso en P₁₉.
- **Línea de Perforaciones P₉ y P₁₈**
 - * Desde la superficie del lecho (entre cotas + 5.- y + 3.-m), hasta cotas +3 a -3.-m, se halló una capa de arcilla blanda, por debajo de la que se observó una capa de espesor variable de balasto, escombros, hierros y restos de madera.
 - * Por debajo, entre la cota antes citada y -17.-m aproximadamente, se detectó arcillas de consistencia variable entre blandas y medianamente compacta, de color gris oscuro con intercalaciones en P₁₈ de lentes de arena limosa SM (a veces mal graduada SP-SM) de densidad medianamente densa. La coloración es gris y verdosa.
 - * Desde cota media - 17.-m se extiende un manto arenoso conformado por arenas limosas mal graduadas de color amarillento, SP-SM y SP, que en la transición es medianamente denso, y luego denso y muy denso.
- **Línea de Perforaciones P₂, P₈, P₁₇ y P₂₅**
 - * Existen dos sondeos apoyados en tierra firme (P₂ y P₈) en los que existe un manto superior arenoso de clasificación SP-SM ó SP, de densidad relativa variable entre muy suelta y medianamente densa. El mismo llega hasta cota +4.-m.
 - * Desde el nivel antedicho, aparecen suelos finos arcillosos CL y CH que se continúan hasta el río, pero que en P₈ sirven de matriz de contención a mantos de tosca y escombros de hormigón y restos de maderas. Su espesor es variable y existen intercalaciones de arenas limpias SP y limos ML. Todo el espeso manto que llega hasta cota -15.-m en el interior y -20.-m en el río, tiene consistencia blanda a medianamente compacta aunque hay capas arcillosas más compactas.
 - * Por debajo de las cotas antedichas, aparece arena limosa mal graduada SP-SM, a veces más limpia (SP), en la transición de 1 a 3.-m de espesor es



de densidad relativa medianamente densa, y más abajo densa a muy densa. Su coloración es amarillenta.

▪ **Línea de Perforaciones P₇ y P₁₆**

- * Desde la superficie de la plataforma en P₇, se detectan arenas limosas de densidad relativa suelta, en un espesor de 5,5 m (cotas 9,48 a 4.-m aproximadamente).
- * Por debajo subyace un manto de escombros, tosca con escombros y arena y tosca con arcilla (entre cotas + 4.- y -4.-m), la que se enlaza con una capa de fango arcilloso en el lecho en P₁₆.
- * A continuación, desde la cota extrema antes citada y -19.-m aproximadamente, se detectó arcillas y limos de clasificación CL y ML de consistencia variable entre blandas y medianamente compactas, de color grisácea castaña con intercalaciones de lentes de arena limosa SM o mal graduada SP de densidad medianamente densa. La coloración es ocre y castaña.
- * Desde cota media - 19.-m se extiende un manto de arenas limosas y mal graduadas (SM y SP) de color amarillento, que es denso a muy denso.

▪ **Línea de Perforaciones P₁, P₆, P₁₅ y P₂₄**

- * Se detectan dos auscultaciones apoyadas en tierra firme (P₁ y P₆) en los que existe un manto superior arenoso de clasificación SP-SM, SM ó SP, de densidad relativa variable entre muy suelta y medianamente densa. El estrato llega hasta cota +1.-m.
- * Desde el nivel antedicho, aparecen suelos finos limo-arcillosos que se continúan hasta el río con clasificaciones CL, CH y ML, pero que en P₆ y P₇ sirven de contención a tosca calcárea con arena. Su espesor es variable y existe una intercalación de arena limpia SP en P₆. El manto llega hasta cota -15.-m en el interior y -18.-m en el río, y tiene consistencia entre blanda a medianamente compacta. En el interior el tramo inferior es muy compacto a duro. La coloración es gris y ocre.



- * Por debajo del antes indicado, aparece arena limosa mal graduada SP-SM, y limpia (SP), que en P₆ y P₂₄ tiene intercalados espesores variables de arcilla muy compacta. La arena es de densidad relativa medianamente densa, a densa y la coloración ocre y amarillenta.

Perfil Longitudinal por el Borde Costero (Perforaciones P₁₅ a P₂₃)

Existe una marcada diferenciación entre P₂₃ y el resto de los sondeos, tanto por los materiales hallados, como por su densificación.

P₂₃

- * Desde el lecho (+0,55 m) hasta -4.-m, se presenta una arcilla CL blanda a muy blanda, de color gris oscuro, con una capa intermedia de balasto y escombros.
- * La capa subyacente es una arena limosa y mal graduada SP ó SP-SM que se extiende hasta el fin de la auscultación (cota -25.-m) con una intercalación de arcilla CL en el tramo superior. Su densidad relativa es densa a muy densa desde la cota -6.-m salvando una lente medianamente densa entre -14 y -15.-m. La coloración es amarillenta.

Resto de los sondeos.

- * En la parte superior se entremezclan capas de naturaleza diversa: sedimentos arcillosos blandos, recubriendo mantos de arena limosa o limpia, balasto con escombros y restos de maderas y hierros.
- * Por debajo y hasta una cota media -18.-m, continuan fundamentalmente arcillas y limos de clasificaciones CL, CH, ML y MH, con consistencia baja a media, , aunque con algunas lentes más compactas. En este grueso manto aparecen también arenas limosas y mal graduadas.
- * Debajo de -18.-m , aparece un manto arenoso que en la transición puede ser SC, pero más abajo es más limpio (SP ó SP-SM), con densidad relativa creciente en profundidad a densa y muy densa.
- * Es de destacar el hallazgo de un bolsón de 3,5 m de espesor de una arcilla dura, de clasificación CH, que se encontró en P₁₉, entre cotas -21 y -24,50 m.



Perfil Longitudinal por la segunda línea (Perforaciones P₆ a P₁₄)

Existe una diferencias significativas entre P₁₄ y el resto de los sondeos, tanto por el tipo de material hallado, y su densificación.

P₁₄

- * Desde el piso del paseo (+9.99 m) hasta +2.-m, se presenta un manto espeso de suelo arcilloso con escombro y balasto, o bloques de granito y restos metálicos, con una intercalación de suelos limosos ML y arena limpia.
- * Por debajo, y hasta la cota + 0,50 m, existe una delgada capa de arena fina, seguida por una arcilla blanda, de clasificación CL.
- * La capa ubicada por debajo es una arena limosa y mal graduada SP ó SP-SM que se extiende hasta el fin del sondeo (cota -15.-m) con densidad relativa densa a muy densa desde la cota -4.-m. La coloración es amarillenta.

Resto de los sondeos.

- * En la parte superior algunos sondeos se encuentran con ingresos de agua proveniente del río, y otros apoyan en capas de arena (limosa y mal graduada (SP ó SP-SM) que se sobreponen a material de aporte (durmientes, bloques de roca, balasto, tosca calcárea, escombros). Esta estratigrafía se extiende hasta cota variable entre +4.-m (P₁₀) y -4.-m (en P₇ y P₈).
- * Por debajo de esas capas antes descriptas, aparecen en P₁₁ a P₁₃ arenas SP ó SP-SM con densidad relativa variable, que se extiende hasta cota aproximada -10.-m recubriendo mantos de arena limosa o limpia, balasto con escombros y restos de maderas y hierros.
- * En dichos sondeos por debajo de la arena, y en el resto por debajo de la capa de material de aporte, se halló arcillas CL y CH y limos ML y MH, de consistencia blanda a medianamente compacta, la que se extiende hasta cota aproximada -18.-m.
- * Debajo de -18.-m , aparece un manto de arenas esencialmente limosas y mal graduadas (SP ó SP-SM), aunque en la transición puede ser arcillosa SC, con densidad relativa creciente en profundidad a densa y muy densa.



- * En el caso de P₆ y P₇ la arena está cortada por una arcilla limosa CL-ML muy compacta de color gris oscuro.



Perfil de P₂₉

En el emplazamiento indicado, se halló un tirante de agua de 4,10 m aproximadamente.

0.00 – 1.10 m: Suelo fangoso . Arcilla gris oscura.

1.10 – 2.40 m: Suelo arcilloso con escombros de demolición.

2.40 – 3.40 m : Suelo arcilloso poco consistente con lentes de arena.

3.40 – 7.90 m : Alternancia de arcillas y limos de baja compresibilidad CL y ML de consistencia compacta. Lentes de arena fina de espesor variable.

7.90 – 14.90 m : Arenas limosas y mal graduadas (SM y SP-SM) de color castaño claro, y densidad relativa medianamente densa.

14.90 – 20.90 m : Arenas mal graduadas y algo limosas (SP y SP-SM), de color castaño claro, de densidad relativa densa a muy densa.

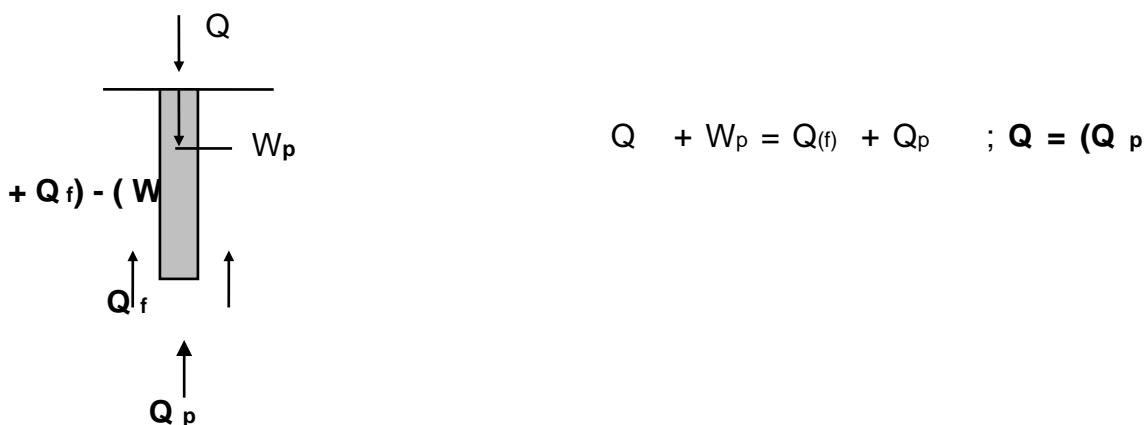
5. Recomendaciones

Como no se dispone información relativa al proyecto a erigir en el predio relevado, se ha supuesto que se implantará una estructura fundada sobre pilotes, y con la información disponible de campaña y laboratorio es posible definir con suficiente precisión la alternativa de *fundación indirecta*.

La evaluación de otras opciones de fundación o el análisis de otros problemas de carácter geotécnico (como empujes o eventuales asentamientos) podrán deducirse con la información recopilada que se acompaña.

Fundación Mediante Pilotes

Esquema de Cálculo de la Capacidad de Carga



Los símbolos anteriores significan:

Q = carga actuante sobre el pilote

Q_p = resistencia admisible de punta

Q_f = resistencia admisible por fricción
lateral

W_p = peso propio del pilote

- Resistencia admisible de punta

Las cotas adoptadas para la punta de pilotes contemplan la penetración de la misma en arenas limpias de densidad relativa densa a muy densa.

Para el cálculo de la capacidad de carga se ha utilizado un método de cálculo basado en los criterios desarrollados por Meyerhoff (1.976), según las planillas de cálculo específicas que se acompañan como Anexo.

El sistema de cálculo se basa en el aporte de los datos del sondeo, del que se infieren los valores de N , de c (cohesión) y de los pesos específicos necesarios para el cálculo. Se adopta un ángulo de fricción interna en función de los



valores de N, teniendo como referencia máxima el valor deducido del criterio de Peck, Hanson y Thorburn (1.974):

$$\varphi^0 = 16.3N^{0.235} \quad [\text{para } N \text{ entre 40 y 50 golpes}]$$

En suelos arenosos, la resistencia de punta última está expresada por :

$$q_{pu} = q' \cdot N^*_q , \text{ en la que:}$$

q' = esfuerzo vertical efectivo en la punta de pilotes

N^*_q = Factor de Capacidad de Carga que incluye los Factores de Forma y de Profundidad. Se ha graficado N^*_q en función de φ (Braja M. Das – Fundamentos de Ingeniería Geotécnica – pág. 514).

Pero de acuerdo a Meyerhof, estos valores están limitados por la relación de empotramiento del pilote, sugiriendo un valor último *límite q_l*

$$q_l \quad (kN/m^2) = 50 \times N^*_q \times \operatorname{tg} \varphi$$

Siempre que el q_l sea inferior a q_p , a partir del valor límite es posible inferir una tensión admisible de punta para un coeficiente de seguridad igual a 3.

Por otra parte, Meyerhof sugirió una correlación entre la resistencia de punta última y los valores de N de los ensayos SPT, lo que se usará para verificación.

Utiliza los valores de N corregidos por la presión efectiva de sobrecarga:

$$N_{cor} = C_N \times N_F$$

$$C_N \quad s/Skempton \quad (1.986) = 2/1 + 0,01 \sigma'_o$$

El valor de N_F es el valor promedio entre 10.D arriba y 4.D debajo de la punta del pilote.

- Resistencia admisible por fricción lateral

La fricción lateral a lo largo del fuste activo del pilote aporta a la resistencia como q_{fu} = resistencia unitaria por fricción

En arenas:

$$q_{fu} = K \times \sigma'_o \times \operatorname{tg} \delta , \text{ donde:}$$

K = coeficiente de presión de tierra

σ'_o = presión efectiva vertical

δ = ángulo de fricción suelo – pilote (0,5 a 0,8 x φ)

K = para pilotes perforados = $K_0 = 1 - \operatorname{sen} \varphi$

En arcillas:

$$q_{fu} = \alpha \cdot C_u$$



α = factor empírico de adhesión (graficado en Braja M. Das – pág. 519)

c_u = Cohesión no drenada

- Cálculo de la carga admisible

Se efectúa el cálculo de la capacidad de carga, según el siguiente esquema:

$$Q = Q_p + Q_f - W_p$$

Se adopta un diámetro de pilotes y con ello:

Carga de Punta: $Q_{pu} = A_p \times q_{pu}$ [A_p = área de punta]

Fricción lateral: $Q_{fu} = \Sigma (p \cdot \Delta L \cdot q_{fu})$ [p = perímetro del pilote, ΔL = longitud parcial con q_{fu} constante]

El coeficiente de seguridad habitual es $\nu = 3$.

- Possible Fricción Negativa

Si bien existen mantos superiores arcillosos saturados de escasa consistencia, la naturaleza de la obra, que no contempla la carga de los estratos por lo que no habrá consolidación de los estratos blandos, que por deformación relativa con el pilote transfieran esfuerzos tangenciales al fuste de los mismos generando la fricción negativa.

Alternativas analizadas

En base a la información que se ha volcado en los perfiles geotécnicos , es posible considerar como representativos a los sondeos Nº 9 y 20, y considerando la potencial ejecución de pilotes de $\Phi 1.-m$ que penetren en la arena densa a muy densa ($N > 40$ golpes) la punta de los pilotes alcanzarían la cota aproximada $-21.-m$.

En tales condiciones, como se desprende de las planillas anexadas, la capacidad de carga que se alcanzaría, se ubica entre **217 y 270.- t por pilote**.



- Esfuerzos Horizontales

A los efectos de evaluar la resistencia del pilote a las cargas horizontales debe preverse el siguiente esquema de distribución de los valores de K_h (*coeficiente de balasto*) analizados en un perfil-tipo como el de los sondeos citados

Cota (m)	K_h (Kg/cm ³)
Desde - 8.- a - 18.-m	1.-
Desde - 18.- m	6.-

Disponibilidad de valores de parámetros de corte (c y φ) por ensayos triaxiales

Las características del perfil, en el que los mantos superiores corresponden a material de aporte (escombros, balasto, tosca calcárea) o suelos finos de escasa consistencia, hacen perder significación a los ensayos triaxiales que en muchos casos no pueden ser practicados.

En los mantos inferiores arenosos (no cohesivos) es posible inferir los ángulos de fricción interna con adecuada aproximación a partir de correlaciones diversas con los valores N de los ensayos SPT [por ejm. la utilizada para el cálculo de capacidad de carga debida a *Peck, Hanson y Thorburn (1.974)*]. Estas relaciones arrojan en general valores de φ más precisos que los que pueden deducirse de los ensayos triaxiales.

Aspectos constructivos

En relación a la ejecución de los pilotes del área, la estratigrafía mostró una importante presencia de materias extrañas (restos de estructuras antiguas de madera, hierros) además de tosca calcárea y material pétreo grueso, lo que deberá ser tomado en cuenta para prever medidas de control durante la perforación de los fustes de pilotes. A ello se agrega la existencia de mantos arcillosos blandos en la parte superior, los que deberán ser considerados a efectos de su contención.



Resultados de los ensayos edométricos

Se ejecutaron ensayos de consolidación en muestras de P_3 entre 8,50 m a 9.-m ($N = 4$ golpes), y P_{10} entre 8,50 a 9.-m, con $N = 7$ golpes.

Los resultados de los ensayos muestran presiones de preconsolidación de 1,30 y 0,72 kg/cm^2 respectivamente, disponiéndose de todos los datos para un eventual cálculo de asentamientos, de ser necesario.

Agresividad hacia las estructuras de hormigón

De acuerdo a los resultados de los ensayos realizados sobre muestras de suelos y aguas obtenidas en las auscultaciones, surge que no existe agresividad potencial a las estructuras de hormigón.

Recomendaciones para P_{29} .

Se ha analizado la capacidad de carga de pilotes perforados fundados desde una profundidad de 17.-m, lo que arroja para pilotes de diámetro 1.-m, una capacidad de carga de 40 toneladas.

Para los esfuerzos horizontales podrá adoptarse el siguiente esquema de K_h (Coeficiente de Balasto)

Profundidad (m)	K_h (Kg/cm^3)
Desde 4 a 8.-m	2,50
Desde 8 a 15 .- m	3.50
Desde 15.-m	6.-



TORRES y VERCCELLI S.R.L.
CONSULTORES DE INGENIERIA
desde 1961

MECANICA DE SUELOS E INGENIERIA DE FUNDACIONES - MAIPU 548 - TEL/FAX (0341) 440 5979 - 424 1988 - S2000CGB ROSARIO
e-mail: tv@torresyvercelli.com.ar Web site: www.torresyvercelli.com.ar

ESTUDIO GEOTÉCNICO E INFORME DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

ORIGINAL	0	NGB	PLT	PLT	06/10/2021
DESCRIPCIÓN	REV	ELAB	CONTR	APR	FECHA

COMITENTE	Municipalidad de Rosario.
PROYECTO	Análisis de deslizamiento de talud y proyecto de reconstrucción.
UBICACIÓN	Centro Cultural Parque de España. Rosario.

REGISTRO DE DISTRIBUCIÓN				Nº TyV
Nombre y Apellido	Org.	Aut.	Fecha	
José Luis Conde	Municipalidad de Rosario	PLT	06/10/2021	
Federico Zegna Ratá	Municipalidad de Rosario	PLT	06/10/2021	
				3629



Contenido

1. Alcance	3
2. Trabajos en el terreno	5
3. Ensayos de laboratorio	6
4. Resultados.....	7
5. Perfil geotécnico	8
6. Nivel freático	9
7. Conclusiones	9
 7.1. Análisis de antecedentes.....	9
7.1.1. Antecedentes geotécnicos.....	9
7.1.2. Niveles del río Paraná.....	12
7.1.3. Relevamiento topográfico y batimétrico	14
7.1.4. Reconstrucción aproximada del perfil original del terreno y volumen deslizado	15
 7.2. Parámetros geotécnicos.....	17
 7.3. Análisis del deslizamiento producido.....	18
7.3.1. Hipótesis y criterios adoptados.....	18
7.3.2. Factores de seguridad	19
 7.4. Análisis de las condiciones actuales	21
7.4.1. Hipótesis y criterios adoptados.....	21
7.4.2. Factores de seguridad	22
7.4.3. Conclusiones	32
 7.5. Recomendaciones para la remediación y reconstrucción	33
7.5.1. Acciones inmediatas	34
7.5.2. Estudios geotécnicos complementarios.....	35
7.5.3. Proyecto de reconstrucción integral	36

ANEXO I: Ubicación de perforaciones

ANEXO II: Planillas de perforaciones

ANEXO III: Ensayos triaxiales

ANEXO IV: Análisis granulométrico de muestras representativas

ANEXO V: Documentación fotográfica



1. Alcance

Este informe se refiere a los resultados del estudio geotécnico realizado para conocer las características del terreno, determinar sus propiedades y establecer criterios geotécnicos en el sector estudiado. En este sector, el día viernes 23 de julio de 2021 cerca de las 18:00 hs. se produjo un deslizamiento de talud en la zona ubicada al pie del auditorio del Centro Cultural Parque de España. El deslizamiento ocurrió de forma relativamente rápida, aunque se han registrado algunos reportes de manera informal de movimientos y sonidos ocurridos desde la mañana del mismo día.

El deslizamiento se produjo en una longitud de ribera de aproximadamente entre 40 m. de longitud, ubicado entre el borde del muelle existente en la zona del Colegio Parque de España, y dejó a la vista un talud expuesto por encima del nivel del río de aproximadamente 60° con respecto a la horizontal y una altura del orden de 6,60 m. En la Figuras 1 y 2 se muestran imágenes posteriores al deslizamiento que fueron tomadas el día sábado 24 de julio de 2021 (el día posterior al deslizamiento) y el miércoles 11 de agosto de 2021 (el día en que se realizó el relevamiento topográfico) respectivamente.

Como antecedente inmediatamente próximo se destaca el deslizamiento ocurrido el sábado 25 de abril de 2020 en el Club de Pesca Mitre, que afectó un frente de ribera de aproximadamente 50 m. de longitud y dejó a la vista un talud expuesto por encima del nivel del río de aproximadamente 40° con respecto a la horizontal y una altura del orden de 6,50 m. En la Figura 3 se muestra el aspecto de dicho sector al día miércoles 11 de agosto de 2021.



Figura 1 Situación de la zona deslizada al 24/07/21

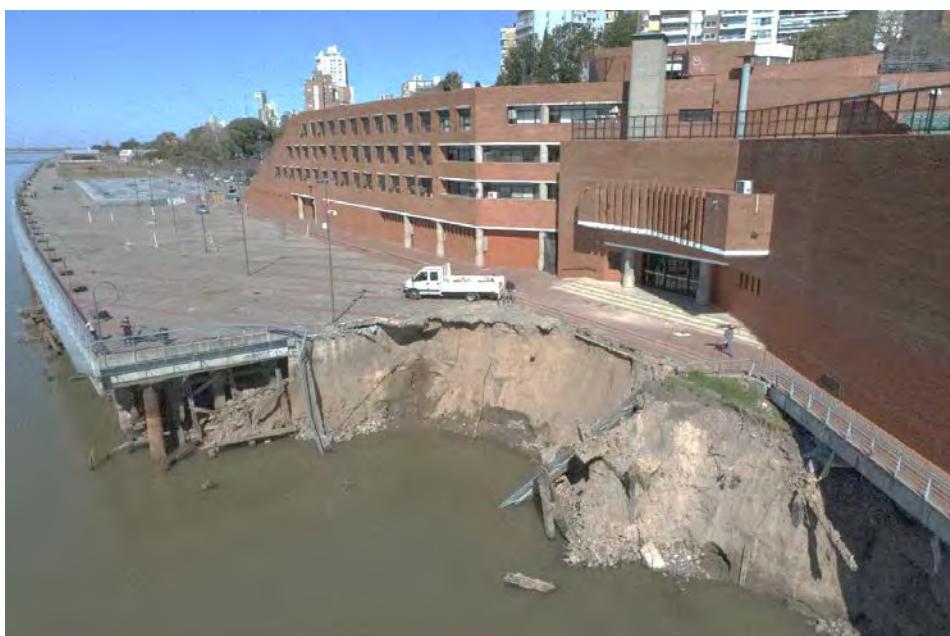


Figura 2 Situación de la zona deslizada al 11/08/21

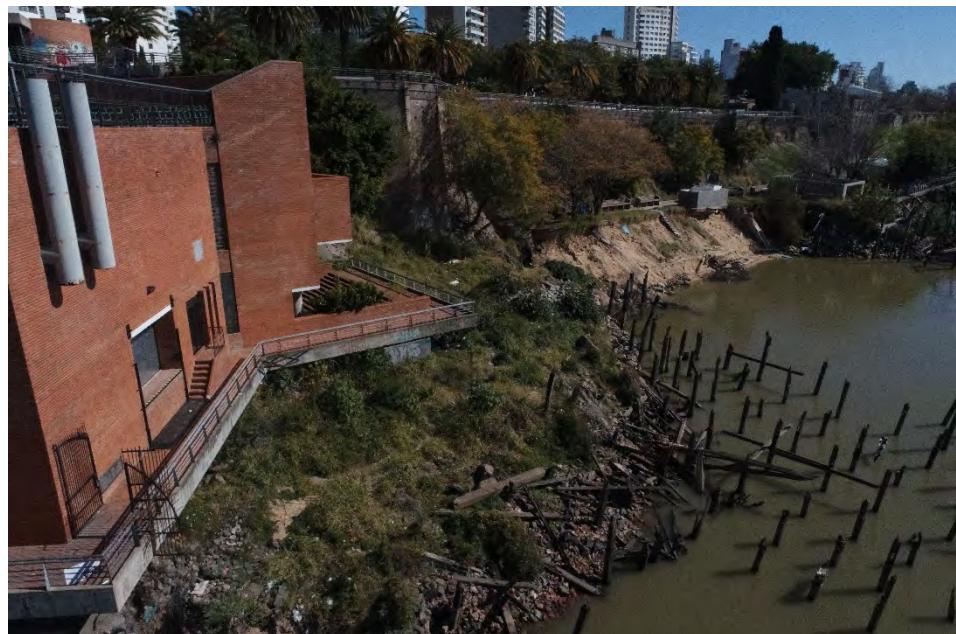


Figura 3 Situación en el Club de Pesca Mitre al 11/08/21

2. Trabajos en el terreno

De acuerdo a lo establecido por el Comitente se ejecutaron 3 perforaciones cuyas ubicaciones están indicadas en croquis del Anexo I con las designaciones P1 a P3, las que alcanzaron las cotas y profundidades indicadas en la Tabla 1.

Perf.	Cota TN IGN (m.)	Cota fondo IGN (m.)	Profundidad (m.)	Coordenadas	
				N	E
P1	+10,41	-9,67	20,08	6.355.919,108	5.440.419,532
P2	+8,60	-11,12	19,72	6.355.956,216	5.440.375,001
P3	+10,50	-9,43	19,93	6.355.970,969	5.440.334,554

Tabla 1 Cotas, profundidades y coordenadas de perforaciones

El sistema de referencia utilizado en este estudio es el POSGAR 07 Faja 5. Las cotas se refieren al Sistema de Referencia Vertical Nacional (SRVN16) del IGN y fueron obtenidas a partir del relevamiento aerofotogramétrico realizado por nuestra



firma en el sector en agosto de 2021. En este informe se cita tanto el sistema del IGN como la escala de Prefectura Naval Argentina para el Puerto de Rosario. La relación entre ambos sistemas es tal que el $\pm 0,00$ m. de la escala de PNA en el Puerto de Rosario corresponde a $+2,92$ m. en la escala IGN.

En todas las perforaciones se extrajeron muestras de suelos realizando ensayos de penetración con intervalos de aproximadamente un metro. Estos ensayos se realizaron empleando el tomamuestras Terzaghi y el tomamuestras Moretto, siempre con caída de la pesa completamente libre. Los ensayos en los que se empleó el tomamuestras Terzaghi se realizaron de acuerdo a la norma ASTM D1586-11 del ensayo de penetración standard. Cuando se empleó el tomamuestras Moretto, se corrigió la energía del ensayo para tener en cuenta la mayor dimensión de este tomamuestras de modo de tener los mismos resultados que se obtienen con el tomamuestras standard. Cuando la cantidad de golpes aplicada alcanzó el límite indicado por la norma se midió la penetración efectiva y el resultado se extrapoló para referirlo la penetración standard de 30 cm. Se extrajeron además muestras inalteradas en suelos cohesivos mediante tomamuestras de pared delgada. Se extrajeron además 7 muestras Clase 1 en suelos de consistencia blanda y media mediante el tomamuestras de pared delgada.

Se midió el nivel de la napa de agua freática.

3. Ensayos de laboratorio

Con las muestras de suelo recuperadas se determinó la humedad natural y se realizaron las determinaciones necesarias para proceder a su clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), a saber:

- Límite líquido (LL).
- Límite plástico (LP).
- Porcentaje de partículas menores que las mallas de tamices n°40 y n° 200 mediante lavado.



- Con las muestras arenosas se realizó el análisis granulométrico empleando los tamices n° 10, 20, 40, 60, 100 y 200.

Sobre muestras inalteradas de suelos cohesivos obtenidas mediante el tomamuestras de pared delgada se ejecutaron 3 ensayos triaxiales CU (Consolidado No drenado con medición de presiones) según la Norma ASTM D 4767-11.

4. Resultados

Los resultados de los ensayos realizados se presentan en los gráficos de los siguientes Anexos:

- Anexo II: Planillas de perforaciones
- Anexo III: Ensayos triaxiales

En la Tabla 2 se resumen los resultados de los ensayos triaxiales CU. En la Tabla 3 se resumen los resultados de los ensayos triaxiales escalonados ejecutados sobre muestras obtenidas mediante el tomamuestras Moretto.

Muestra	P1 M2 PDA	P1 M2 PDb	P2 M6 PDA	P2 M6 PDb	P3 M7 PDA	P3 M7 PDb
Cota (m.)	+5,16		+3,80		+4,25	
ω_n (%)	21,5	19,19	22,5	22,8	21,8	21,0
γ_h (kN/m ³)	19,50	20,74	20,79	20,49	20,82	20,64
e	0,663	0,543	0,573	0,600	0,562	0,565
c' (kPa)	11		5		9	
ϕ' (°)	29,3		29,5		30,2	

Tabla 2 Resultados de ensayos triaxiales CU



Muestra	Cota (m.)	ω_n (%)	γ_h (kN/m ³)	e	ϵ_r (%)	σ_3 (kPa)	σ_d (kPa)	c_u (kPa)	ϕ_u (°)
P1M4	+7,19	24,6	18,46	0,77	1,9	51	25	6	7
					4,9	101	43		
					6,9	201	65		
P1M6	+5,19	27,1	17,56	0,90	-	-	-	-	-
P3M9	+3,28	23,0	20,83	0,55	5,4	51	127	38	13
					9,7	101	144		
					16,3	201	208		

Tabla 3 Resultados de ensayos triaxiales escalonados rápidos

Nota: los valores indicados en la Tabla 3 deben ser considerados como orientativos por la posible alteración del suelo durante el muestreo, traslado y la confección de las probetas.

ω_n : Humedad natural

γ_h : Peso unitario húmedo

e : Índice de vacíos

ϵ_r : Deformación específica en rotura

σ_3 : Presión de confinamiento

σ_{df} : Desviador en rotura

σ'_{30} : Presión efectiva de cámara inicial

σ'_{3f} : Presión efectiva de cámara en rotura

u_f : Presión de poros en rotura

A_f : Parámetro A de Skempton en rotura

c ; ϕ : Parámetros de corte drenados

c_u ; ϕ_u : Parámetros de corte no drenados

5. Perfil geotécnico

La descripción del perfil del terreno se detalla en los gráficos de las perforaciones, para cada lugar auscultado, donde figuran además los resultados de las determinaciones de humedad natural, plasticidad y granulometría, así como también los registros de los ensayos de penetración realizados.



En la Tabla 4 se resume el perfil geotécnico estimado en función de los resultados obtenidos en la ejecución de las perforaciones geotécnicas.

Estrato	Cotas IGN (m.)			Color	SUCS	Plasticidad	Consistencia / Densidad relativa	Observaciones
	P1	P2	P3					
A	+10,41 +5,50	+8,60 +5,00	+10,50 +5,80	Marrón o marrón amarillento	ML SM SP-SM	Baja o nula	Variable	Relleno heterogéneo.
B	+5,50 +0,20	+5,00 +0,90	+5,80 +1,80	Marrón o marrón gris verdoso	CL ML CL-ML	Baja	Firme	Zonas no plásticas duras a muy duras en P1.
C	+0,20 -9,67	+0,90 -11,12	+1,80 -9,43	Marrón amarillento a amarillo	SM ML	--	Medianamente densa a muy densa	Arena limosa o limo arenoso (50% a 80% de arena)

Tabla 4 Perfil geotécnico

6. Nivel freático

El nivel de la napa de agua freática fue detectado entre cotas +2,60 m. y +3,51 m. en el momento de ejecución del estudio. Este nivel fluctúa influenciado por el nivel del río Paraná, que se encontró entre +2,64 m. y +3,47 m.

7. Conclusiones

7.1. Análisis de antecedentes

7.1.1. Antecedentes geotécnicos

Como antecedentes geotécnicos se cuenta con una serie de estudios realizados por nuestra firma para el proyecto de las estructuras del Centro Cultural Parque de España. El detalle de estos estudios junto con las perforaciones relevantes para el sector analizado se indican a continuación:



- Estudio de Febrero de 1986, con base en las perforaciones P1, P2, P3, P9 y P10. Comitente: Fundación Centro Cultural Parque de España.
- Estudio de Enero de 1987, con base en las perforaciones P1, P2 y P3. Comitente: Geosiemes S.A.

Las perforaciones citadas fueron ubicadas en el plano de planta para determinar su posición aproximada y su relevancia en cuanto a los deslizamientos registrados.

Las perforaciones más cercanas a los sectores de interés son la perforación P1 del estudio del año 1986 y las perforaciones P1 y P2 del estudio del año 1987, tal como se indica en la Figura 4. En la Tabla 5 se resume el perfil geotécnico estimado según estos antecedentes.

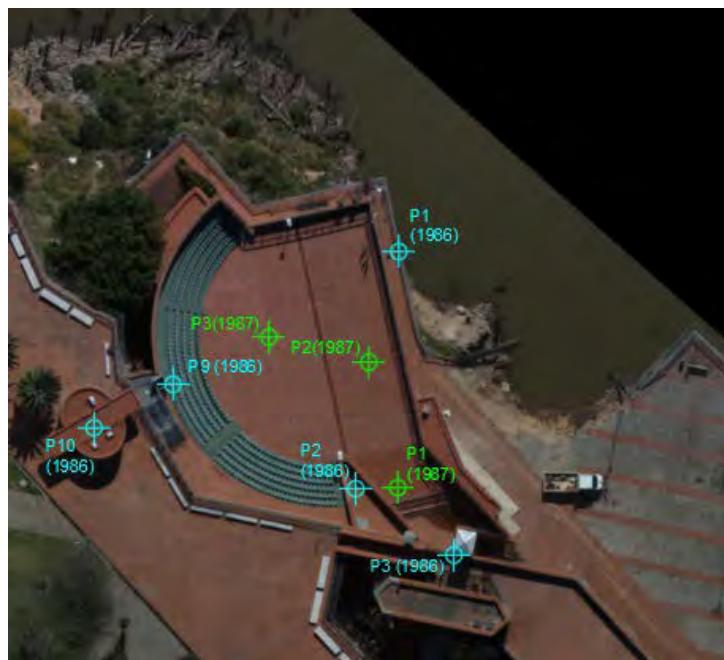


Figura 4 Antecedentes geotécnicos



Estrato	Entre cotas (m.)			SUCS	Plasticidad	Consistencia / Densidad relativa	Observaciones
	P1 (1986)	P1 (1987)	P2 (1987)				
A	+4,26 +0,50	+9,95 +5,50	+7,27 +2,50	SP SP-SM CL	Baja o nula	Blanda a media	Relleno
B*	+0,50 -6,50	--	+2,50 +1,50	CL	Baja	Blanda o muy blanda	Arcillas blandas
B	-6,50 -9,00	+5,50 +1,50	--	CL	Baja	Firme	Arcillas firmes
C	-9,00 -19,25	+1,50 -13,37	+1,50 -15,18	SP-SM	--	Medianamente densa a densa	Arena fina a mediana

Tabla 5 Perfil geotécnico según antecedentes

Los antecedentes geotécnicos muestran ciertas coincidencias y diferencias con respecto a los resultados obtenidos en las perforaciones ejecutadas en este estudio. Éstas se resumen a continuación:

- Se verifica la heterogeneidad del relleno no controlado perteneciente a las antiguas estructuras portuarias presentes en el sector, conformado por una mezcla de suelos finos, arena y escombros de distinta naturaleza y de espesor variable. La cota de apoyo de este relleno sobre el suelo natural en los puntos auscultados es similar a la registrada en la perforación P1 de 1986, aunque esto no es así para las perforaciones de 1987, que se encuentran más cerca de la barranca. Esto significa que el espesor de relleno aumenta al acercarse al río.
- La presencia de arcillas blandas normalmente consolidadas (estrato B*) inmediatamente por debajo del relleno, que se verificó en las perforaciones P1 de 1986 y P2 de 1987, y no así en P1 de 1987 ni en ninguna de las 3 perforaciones ejecutadas como parte de este



estudio. Este punto es fundamental, ya que la conclusión inmediata es que estas arcillas blandas aparecen al acercarse al río, y además su espesor aumenta en dicha dirección.

- Como consecuencia de lo expresado en el punto anterior, es de destacar que cualquier análisis de estabilidad requiere conocer el espesor y propiedades geotécnicas de las arcillas blandas en el lecho del río, ya que su baja resistencia al corte puede ser clave para explicar los deslizamientos observados. Esto requiere de la ejecución de perforaciones con apoyo en agua.
- Otro aspecto a tener en cuenta es que el techa de arenas del estrato D también se ubica a mayor profundidad al acercarse al río.

7.1.2. Niveles del río Paraná

Como información relevante para llevar adelante el análisis de las condiciones de estabilidad, es necesario conocer la evolución del nivel del río Paraná a lo largo del tiempo. En base a la información registrada por Prefectura Naval Argentina en el Puerto de Rosario es posible construir un diagrama de evolución temporal. En la Figura 5 se muestra la evolución del nivel del río (cotas IGN) desde el 1º de enero de 2006 hasta el 29 de agosto de 2021, donde se puede apreciar la magnitud de la bajante histórica que se desarrolla desde el año 2019 hasta la actualidad.

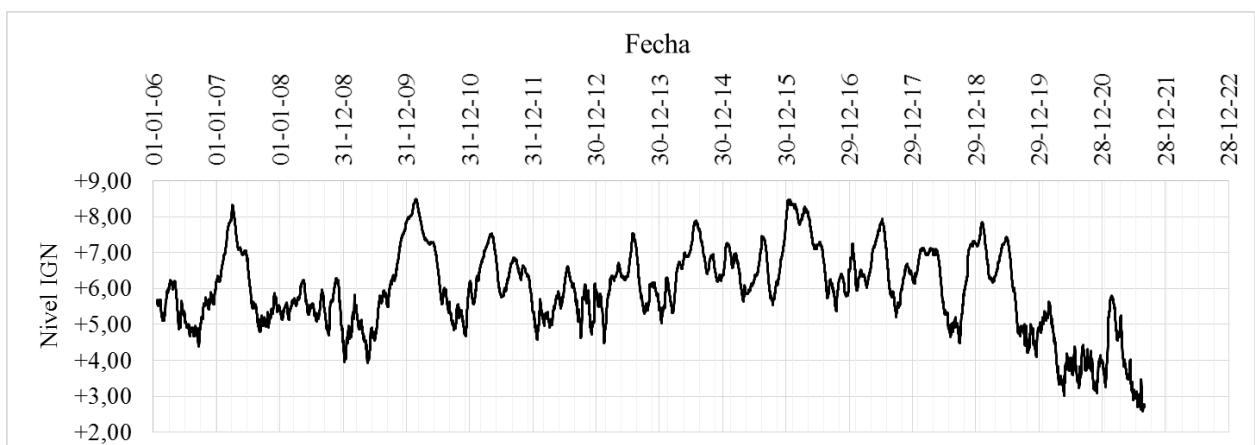


Figura 5 Nivel del río Paraná (IGN) en el período 2006-2021 según PNA



En la Figura 6 se observa en detalle la evolución del nivel del río en coincidencia con los eventos de deslizamiento observados y que constituyen el objeto principal del análisis. En la misma Figura se observan los dos períodos previos a los deslizamientos, indicando la tendencia de bajante observada.

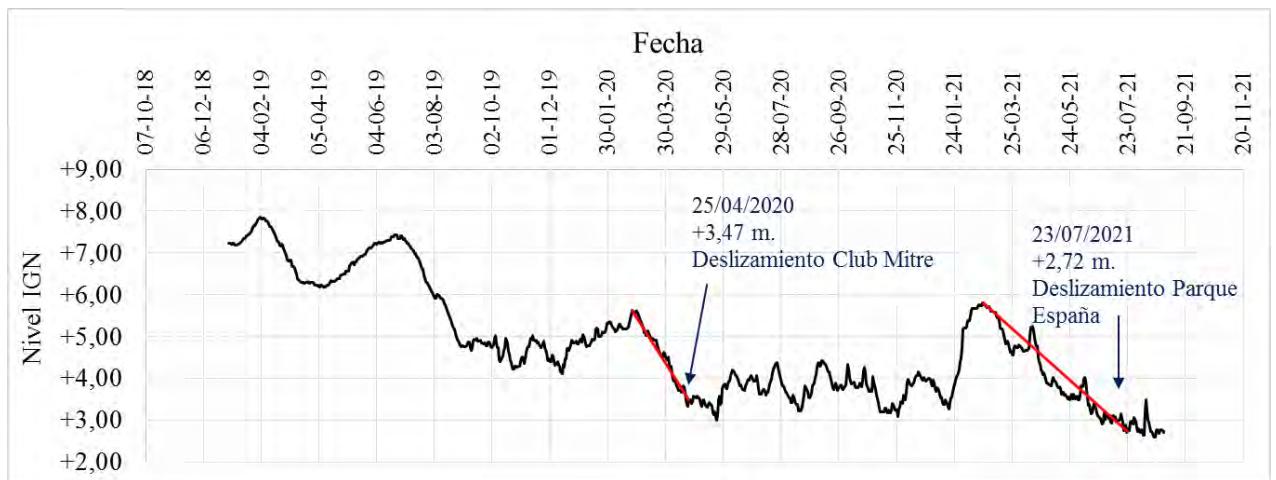


Figura 6 Bajante sostenida y eventos de deslizamientos observados

De la Figura 6 se obtienen conclusiones de interés:

- La bajante producida entre febrero y abril de 2020 (previa al deslizamiento en el Club Mitre) se produjo de forma sostenida durante un período de aproximadamente 60 días, con un descenso promedio diario de 3,5 cm. Al final de este período el nivel del río se ubicaba en ese momento en cota +3,47 m.
- La bajante producida entre febrero y julio de 2020 (previa al deslizamiento en el Parque España) se produjo de forma sostenida durante un período de aproximadamente 150 días, con un descenso promedio diario 2 cm. Al final de este período el nivel del río se ubicaba en cota +2,72 m. Este sector no había deslizado cuando el nivel del río alcanzó una cota levemente superior (+3,00 m.) a fines de mayo de 2020.
- Los eventos de deslizamiento se encuentran bien correlacionados con esta tendencia, en la cual se produce un descenso sostenido del nivel del río, sin períodos en los que el nivel se mantenga en un nivel más o menos constante.



- Entre julio y septiembre de 2019 se produjo una bajante sostenida de entre 2 y 3 meses, donde el nivel se redujo de aproximadamente +7,50 m. a aproximadamente +4,80 m. Sin embargo, no se produjo ningún evento como consecuencia de esta bajante, posiblemente debido a que el nivel del río no era lo suficientemente bajo como para motivar un deslizamiento en este sector.
- Como consecuencia, se concluye que los deslizamientos en la zona analizada presentan una fuerte correlación con escenarios de bajante sostenida que producen niveles de río por debajo de aproximadamente cota +3,50 m., es decir cuando el nivel en el hidrómetro del puerto de Rosario desciende por debajo de 0,60 m.

7.1.3. Relevamiento topográfico y batimétrico

A partir del relevamiento topográfico realizado mediante aeronave no tripulada y GNSS realizada por nuestra firma y la batimetría del fondo del río realizada por la firma Cura & Jordán, se obtuvieron curvas de nivel y se trazaron 3 perfiles representativos:

- Perfil 1: en coincidencia con el deslizamiento ocurrido en el Centro Cultural Parque de España en 2021.
- Perfil 2: en coincidencia con la zona ubicada por detrás del Centro Cultural Parque de España, en la que no se produjo deslizamiento.
- Perfil 3: en coincidencia con el deslizamiento ocurrido en el Club Mitre de Pesca en 2020.

Estos 3 perfiles permiten conocer el perfil del lecho del río y el talud expuesto en condiciones actuales.

Además de la citada información, se destaca la situación actual de las curvas de nivel del fondo del río en la zona del deslizamiento, que permite identificar la masa deslizada como consecuencia del evento en el Centro Cultural Parque de España. En la Figura 7 se muestran las curvas de nivel junto con la zona que tentativamente ha sido



ocupada por el deslizamiento. La zona marcada en rojo es aproximada, obtenida a partir de la comparación de las elevaciones del fondo del río en comparación con el talud del lecho a ambos lados del deslizamiento. Según esta aproximación, el deslizamiento podría haber alcanzado una distancia casi 75 m. desde el borde del muelle existente, o 100 m. desde el muro del Centro Cultural Parque de España.

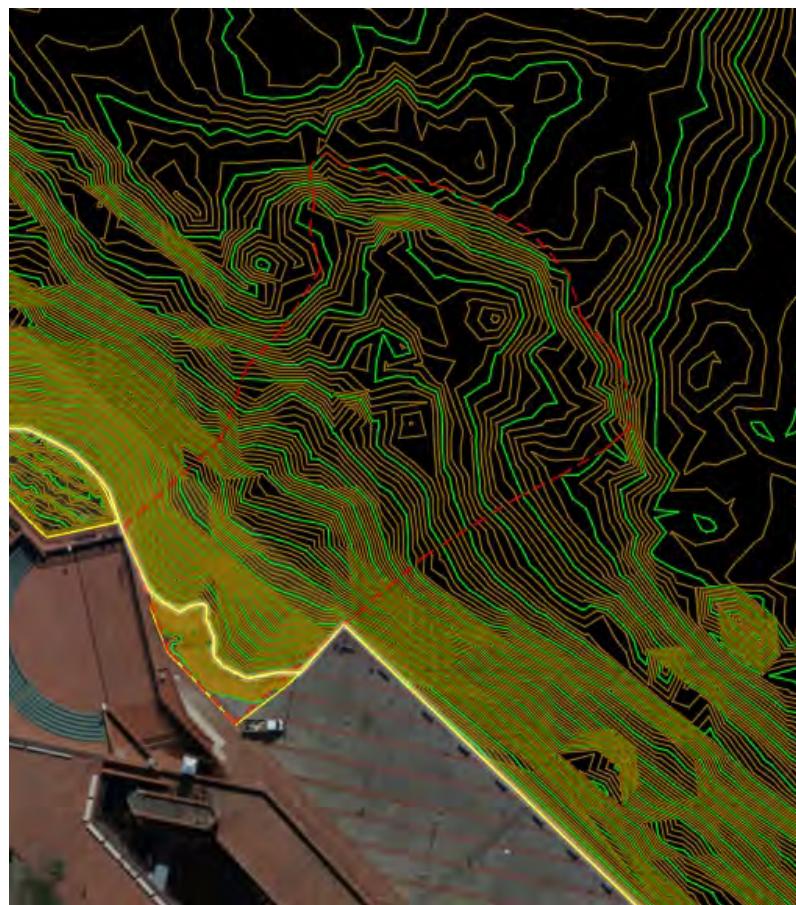


Figura 7 Interpretación aproximada de la zona deslizada

7.1.4. Reconstrucción aproximada del perfil original del terreno y volumen deslizado

Para poder formular conclusiones sobre los deslizamientos ocurridos es necesario conocer al menos de forma aproximada el perfil del terreno de forma previa a la ocurrencia de los mismos.



Como información adicional a lo indicado en el punto anterior, se cuenta con un perfil batimétrico del año 2005 aportado por la firma Cura & Jordán en la zona deslizada del Parque España que también permite determinar de forma aproximada el perfil del lecho del río previo al evento ocurrido. Este relevamiento batimétrico no incluye el perfil del terreno en coincidencia con la zona de relleno deslizada.

Para poder reconstruir de forma aproximada el perfil completo previo al deslizamiento, es posible utilizar imágenes satelitales de libre acceso. Para ello se utilizaron 6 imágenes satelitales disponibles en la plataforma Google Earth, correspondientes al período 2006-2021, que se consideraron lo suficientemente nítidas como para distinguir la línea de ribera y otros elementos relevantes del sector. Estas imágenes corresponden a fechas en las cuales los niveles del río se encontraron entre +3,34 m. y +7,94 m.

Para cada imagen se midió la distancia en planta entre el borde superior de la barranca (a cota +24,00 m. aproximadamente) y la línea de ribera. Posteriormente se determinó la cota del nivel del río en la fecha en que fue tomada la imagen, y de esta manera se ubicaron puntos representativos del perfil original del terreno previo a la falla, de forma aproximada.

En base a esta información se obtuvieron perfiles tentativos previos a los deslizamientos tanto para el caso del Centro Cultural Parque de España como para el Club de Pesca Mitre.

En el caso del Centro Cultural Parque de España, ya que el tiempo transcurrido entre el deslizamiento y el relevamiento posterior fue pequeño, se puede asumir sin mayor error que el perfil actual del lecho coincide con la superficie de deslizamiento. En base a esta hipótesis y por comparación con el perfil indicado por Cura y Jordán en 2005 y la reconstrucción aproximada de la superficie del relleno se obtiene el esquema indicado en la Figura 8. Esta Figura permite estimar que el volumen del deslizamiento fue de aproximadamente entre 500 m³ y 800 m³.



En el caso del Club de Pesca Mitre no es posible realizar el mismo análisis debido al tiempo transcurrido entre el deslizamiento y el relevamiento, ya que se ha producido erosión y deposición en forma significativa. Por esta razón tampoco se realizó un análisis del perfil previo al deslizamiento.

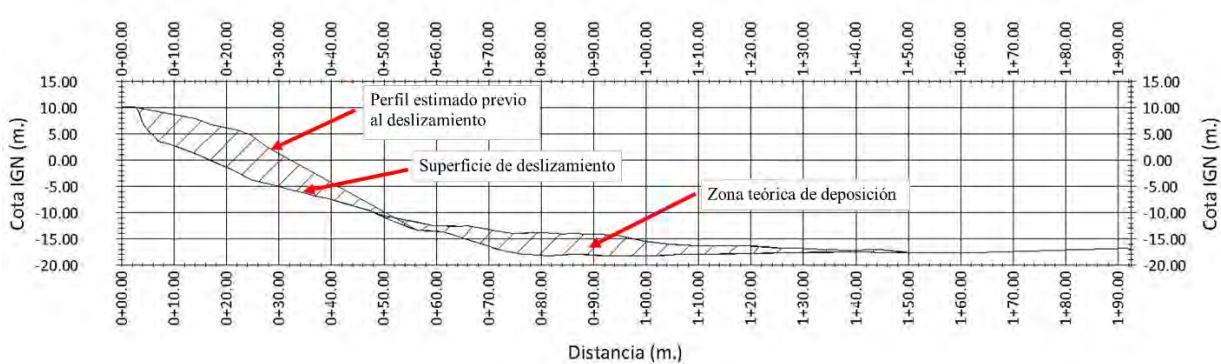


Figura 8 Superficie de deslizamiento y perfil estimado para el CC Parque de España

7.2. Parámetros geotécnicos

Para llevar adelante los análisis de estabilidad propuestos en el alcance de este estudio, se deben definir parámetros geotécnicos de resistencia al corte y pesos específicos.

En la Tabla 6 se resumen los parámetros geotécnicos adoptados en base a los resultados de este estudio.

Perf.	Estrato	Entre cotas (m.)	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ' (°)
P1	A	+10,41 y +5,50	19,00	10	30
	B	+5,50 y +0,20	19,00	15	32
	C	+0,20 y -9,67	20,00	1	35
P2	A	+8,60 y +5,00	19,00	5	33
	B	+5,00 y +0,90	19,00	10	30
	C	+0,90 y -11,12	20,00	1	35



Perf.	Estrato	Entre cotas (m.)	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ' (°)
P3	A	+10,50 y +5,80	19,00	1	34
	B	+5,80 y +1,80	19,00	10	31
	C	+1,80 y -9,43	20,00	1	35

Tabla 6 Parámetros geotécnicos estimados

Los valores indicados en la Tabla 6 no son suficientes para llevar a cabo diferentes análisis de estabilidad, ya que éstos deben incluir a las arcillas blandas detectadas en la perforación P1 de 1986 entre cotas +0,50 m. y -6,50 m. El perfil auscultado en esta perforación se debe agregar a los datos obtenidos en este estudio geotécnico para completar los análisis de estabilidad. A falta de mayor información, se asume la siguiente hipótesis sobre el comportamiento de estos suelos:

- Debido a su baja permeabilidad, se asume que estas arcillas tendrán una resistencia gobernada por condiciones no drenadas.
- Al tratarse de una arcilla normalmente consolidada, se asume que su resistencia al corte no drenada aumenta linealmente en profundidad, desde un valor mínimo de 15 kPa y una tasa de crecimiento 4,2 kPa/m en profundidad. Estos parámetros son compatibles con el tipo de suelo y nuestra experiencia sobre suelos de similares características.

7.3. Análisis del deslizamiento producido

7.3.1. Hipótesis y criterios adoptados

En base a lo expuesto, se establecen las siguientes hipótesis para el análisis del deslizamiento producido:

- Se utilizó la geometría obtenida a partir de:
 - El relevamiento mediante aeronave no tripulada realizado por nuestra firma.



- La batimetría realizada por la firma Cura y Jordán de forma posterior al relevamiento, como así también el perfil batimétrico informado en el año 2005.
- La reconstrucción aproximada del perfil original previo al deslizamiento.
- Se utilizaron niveles del río Paraná ubicados entre +6,00 m. y ±0,00 m. (-2,92 m. y +5,08 m.) según el Hidrómetro de Prefectura Naval Argentina en el Puerto de Rosario) para analizar distintas condiciones de borde sobre el perfil del terreno. Los análisis realizados se llevan a cabo de forma quasi estática (suponiendo un nivel constante de agua para cada escenario) sin tener en cuenta un análisis acoplado hidromecánico, ya que el nivel de información geotécnica disponible hasta el momento y las aproximaciones realizadas no lo justifican. Teniendo en cuenta que la mayor porción de terreno que deja de estar sumergida por la bajante corresponde al relleno y que su permeabilidad se supone relativamente elevada, el error cometido es poco relevante frente al resto de las aproximaciones realizadas.
- Se utilizó la información geotécnica obtenida en este estudio, junto con la hipótesis indicada sobre las arcillas blandas. Su espesor y posición se determinaron en base a los resultados de la perforación P1 ejecutada en 1986 para dicha ubicación aproximada.
- La posición y espesor del estrato de arcillas blandas se asumió de forma aproximada y se ajustó de forma tal de que permita explicar un factor de seguridad igual a 1 en coincidencia con el nivel del río para el cual se produjo el deslizamiento (+2,72 m.).
- Se adoptó como superficie de deslizamiento la superficie relevada luego de dicho evento.

7.3.2. Factores de seguridad

En la Figura 9 se presentan los factores de seguridad obtenidos para distintos niveles del río, tanto en términos del sistema del IGN como para la escala del hidrómetro de Prefectura Naval Argentina en el Puerto de Rosario. Se observa que para el rango adoptado el factor de seguridad se reduce desde valores cercanos a 1,40 hasta hacerse



prácticamente igual a 1 para el nivel +2,72 m., lo cual permite explicar la ocurrencia del deslizamiento como consecuencia de la bajante. En la Figura 10 se muestra la cuña potencial de falla asociada a esta situación crítica.

El modelo así obtenido y calibrado para esta situación se puede utilizar para analizar la situación presente y evaluar las medidas a adoptar a futuro. Si bien este modelo permite explicar el deslizamiento, las aproximaciones realizadas sobre las propiedades y espesor de los suelos arcillosos blandos y el perfil original del terreno podrían ser ajustadas y obtener una configuración similar que también permitiera explicar el evento.

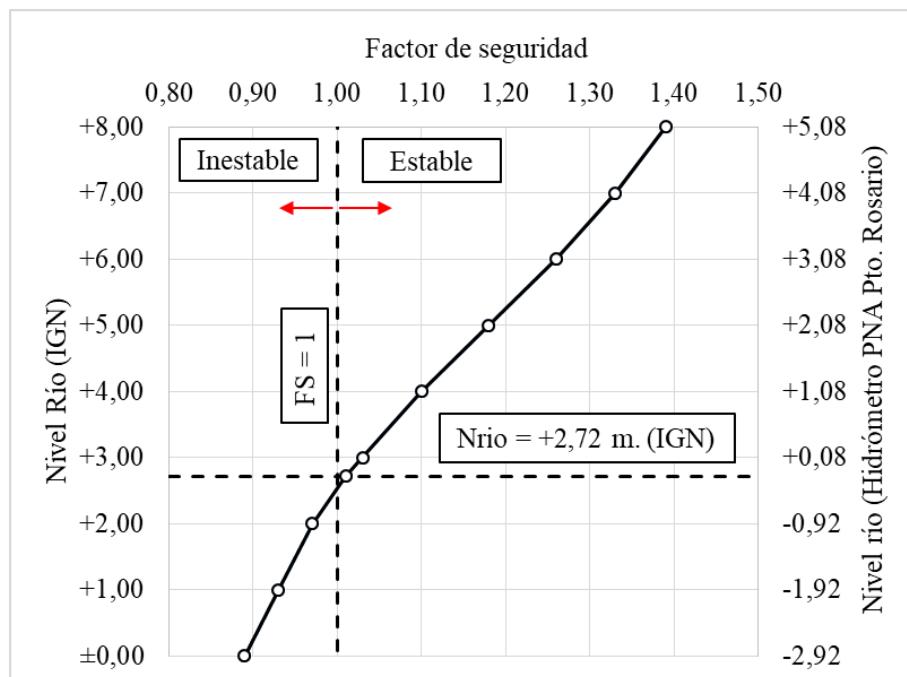


Figura 9 Factor de seguridad vs. Nivel del río para la situación previa al deslizamiento
(Perfil 1)

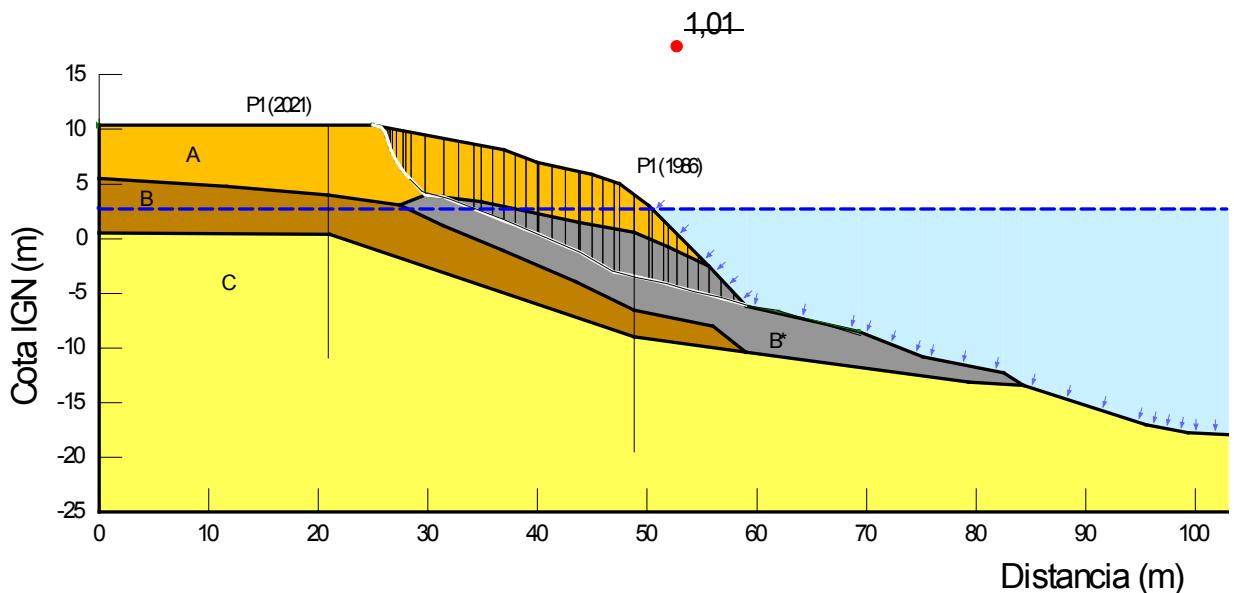


Figura 10 Cuña de deslizamiento

Como primera conclusión, y considerando válidas las hipótesis adoptadas, el deslizamiento se produjo como consecuencia de la reducción del efecto estabilizador del agua de río sobre la cara del talud del relleno, y la reducida resistencia de las arpillas blandas sobre la cual se apoya el mismo.

7.4. Análisis de las condiciones actuales

En base al modelo desarrollado, es posible determinar el estado de situación actual luego de la falla, y establecer escenarios a futuro, con distintos niveles de río. Se analizan los 3 perfiles obtenidos por separado.

7.4.1. Hipótesis y criterios adoptados

- En el Perfil 1 (Centro Cultural Parque de España), se asume que la zona ubicada por debajo de la superficie de falla se encuentra compuesta por material de relleno en estado remoldeado, y se le asignan como parámetros una cohesión nula y un ángulo de fricción igual a 28° .



- En el Perfil 2, donde no ha existido deslizamiento, se asumen idénticas hipótesis que para el análisis del deslizamiento en la zona del Perfil 1, aunque considerando los parámetros estimados para la perforación P2 en la zona superior del talud, que se indican en la Tabla 6.
- En el Perfil 3 se asumen idénticas hipótesis que en los casos anteriores, teniendo en cuenta los parámetros geotécnicos estimados para la perforación P3 que se indican en la Tabla 6 y la presencia de material remoldeado bajo el pie del talud, con cohesión nula y un ángulo de fricción a 28°.

7.4.2. Factores de seguridad

- Perfil 1:

En la Figura 11 se indican los factores de seguridad obtenidos para la situación actual, para los diferentes niveles del río analizados. Se observa que la situación es estable, aunque los factores de seguridad son bajos, particularmente para niveles del río ubicados entre +5,00 m. y +3,00 m. El factor de seguridad aumenta levemente para niveles del río más altos, debido al efecto estabilizador sobre la cara del talud, y también para niveles más bajos debido al aumento de la presión efectiva en la zona de menor pendiente que emerge al pie de la zona deslizada. En las Figuras 12, 13 y 14 se observan las cuñas potenciales de falla para niveles del río iguales a +8,00 m., +5,00 m. y ±0,00 m. (+5,08 m., +2,08 m. y -2,92 m. según hidrómetro de PNA en el Puerto de Rosario).

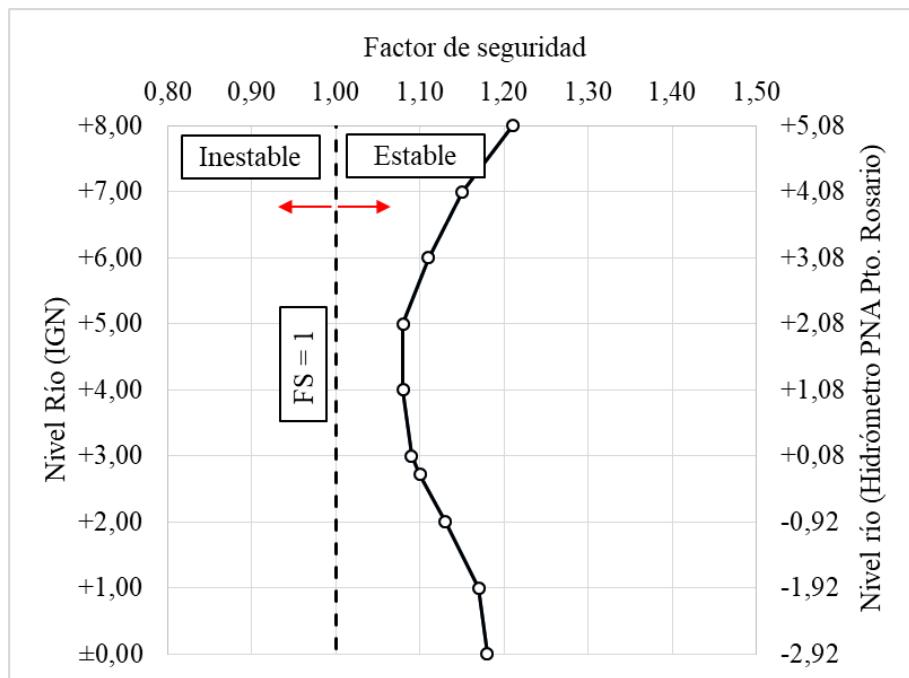


Figura 11 Factor de seguridad vs. Nivel del río para la situación actual (Perfil 1)

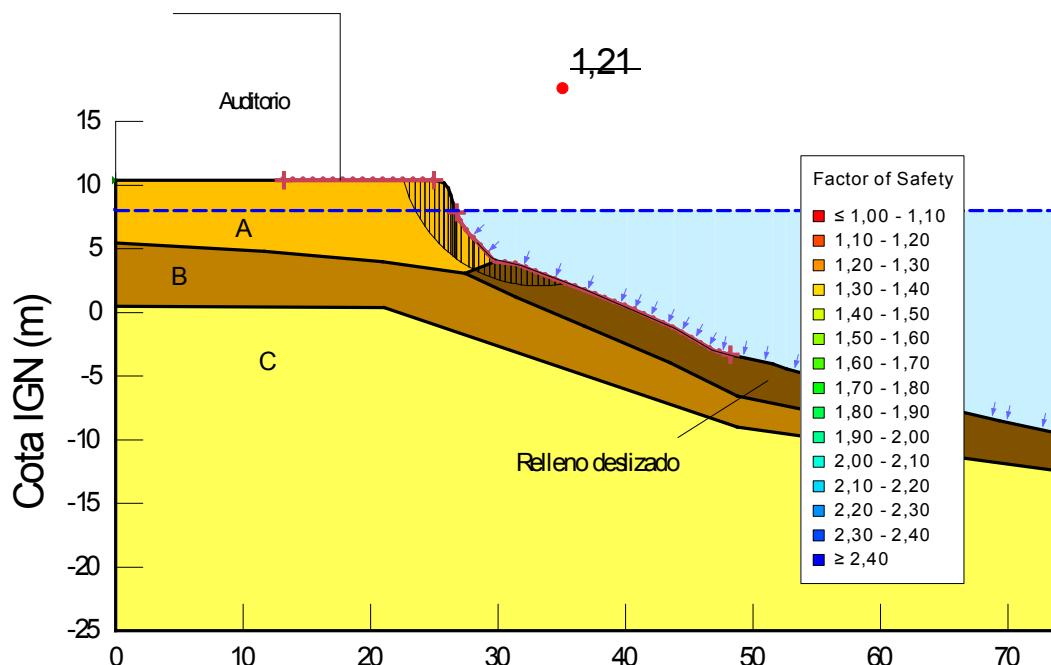


Figura 12 Cuña potencial de falla para la situación actual del Perfil 1 ($N_{\text{rio}} = +8,00 \text{ m.}$)

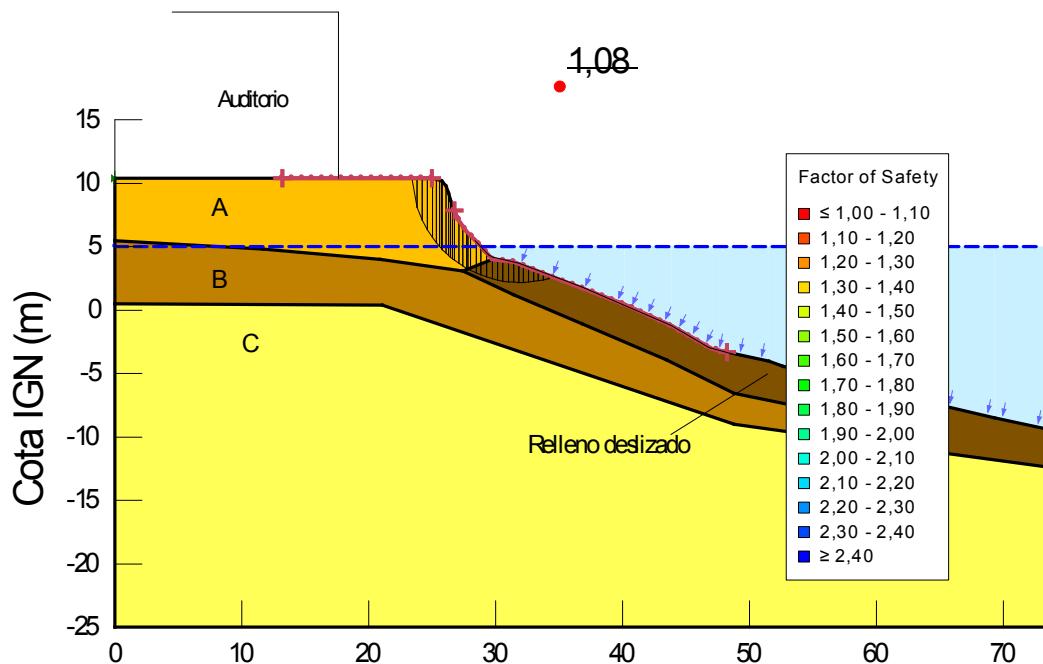


Figura 13 Cuña potencial de falla para la situación actual del Perfil 1 ($N_{rio} = +5,00 \text{ m.}$)

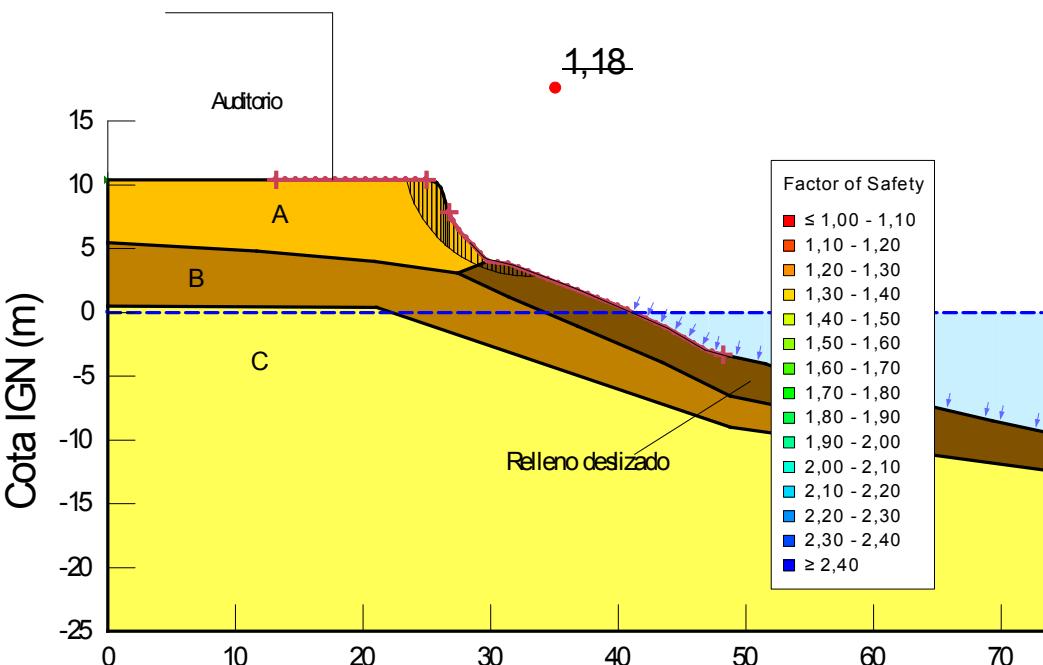


Figura 14 Cuña potencial de falla para la situación actual del Perfil 1 ($N_{rio} = \pm 0,00 \text{ m.}$)



En general se observa que las cuñas potenciales asociadas a los valores de FS más bajos corresponden a desprendimientos de menor volumen que no deberían afectar la zona ocupada por el auditorio. Aquellos deslizamientos más profundos, que podrían afectar a la zona del auditorio presentan factores de seguridad que en general son mayores a 1,30.

- **Perfil 2:**

En la Figura 15 se indican los factores de seguridad obtenidos para la situación actual, para los diferentes niveles del río analizados. La extensión de la zona de arcilla blanda se asume de forma simplificada, a falta de mayor información geotécnica, tal como se observa en la Figura 16.

Se observa que bajo las hipótesis adoptadas la situación es estable, aunque los factores de seguridad son bajos, particularmente cuando el nivel del río se ubica por debajo de +4,00 m. La curva de variación del factor de seguridad obtenida, si bien es aproximada, permite explicar que en este sector no se hayan producido deslizamientos, ya que el factor de seguridad para los niveles mínimos experimentados en los últimos meses es mayor a la unidad. Según el modelo utilizado, la situación se tornaría inestable a medida que el nivel del río sigue descendiendo por debajo de +2,00 m. (-0,92 m. según hidrómetro de PNA en el Puerto de Rosario). Esto significa que de experimentarse nuevas bajantes, se podría producir un deslizamiento en esta zona.

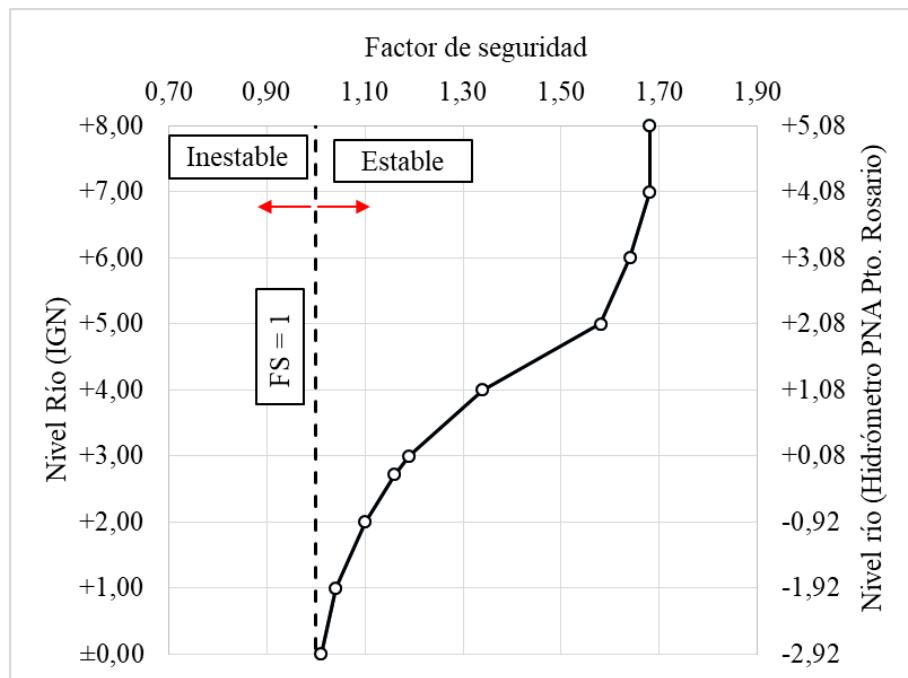


Figura 15 Factor de seguridad vs. Nivel del río para la situación actual (Perfil 2)

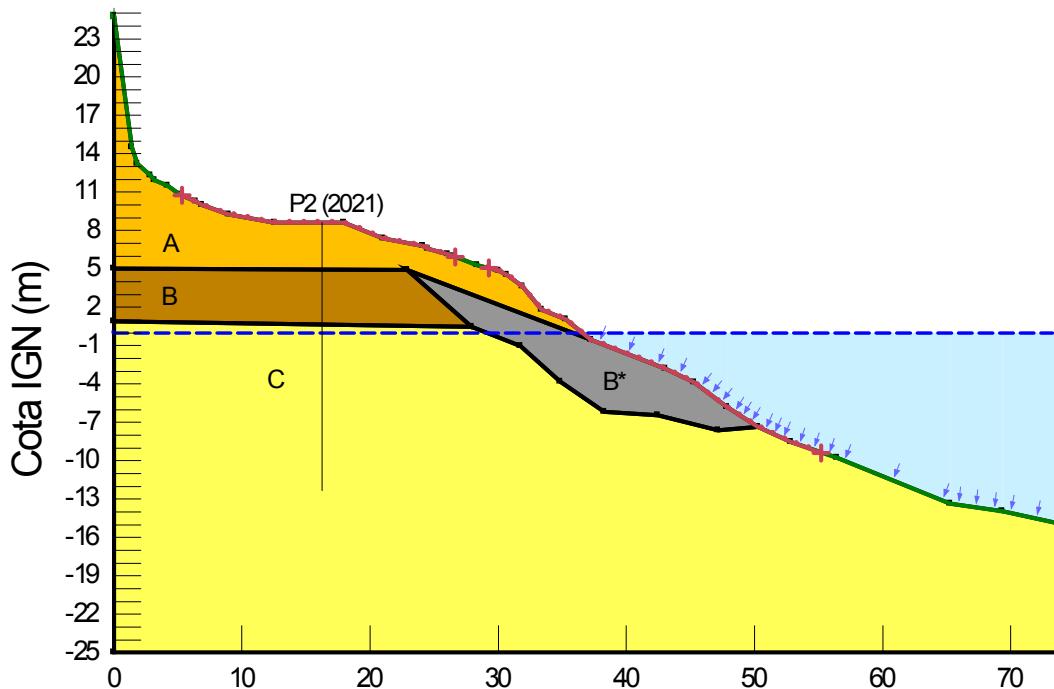


Figura 16 Estratigrafía aproximada adoptada para el Perfil 2



En las Figuras 17, 18 y 19 se observan las cuñas potenciales de falla para niveles del río iguales a +8,00 m., +5,00 m. y $\pm 0,00$ m. (+5,08 m., +2,08 m. y -2,92 m. según hidrómetro de PNA en el Puerto de Rosario).

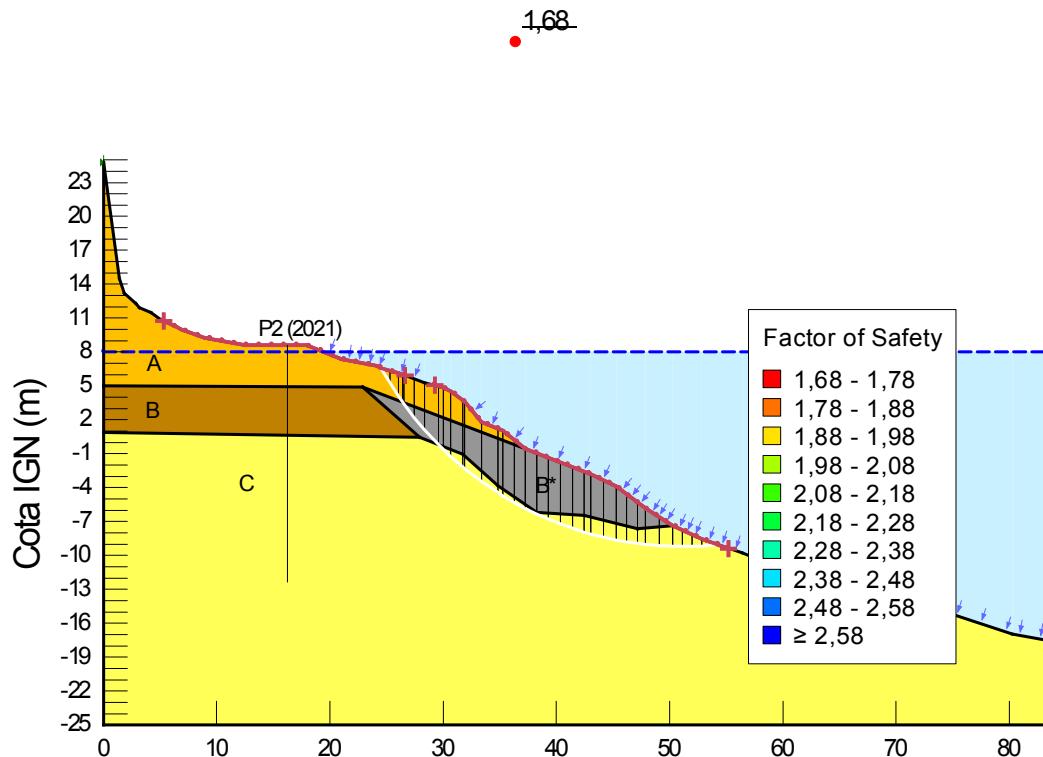


Figura 17 Cuña potencial de falla para la situación actual del Perfil 2 ($N_{\text{rio}} = +8,00$ m.)

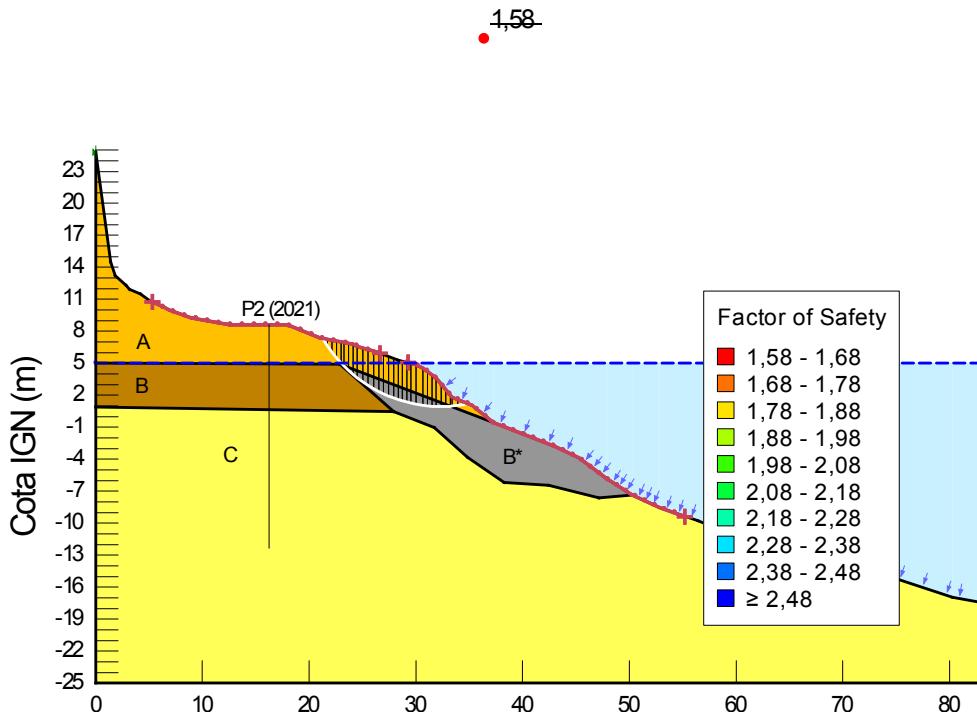


Figura 18 Cuña potencial de falla para la situación actual del Perfil 2 ($N_{\text{rio}} = +5,00 \text{ m.}$)

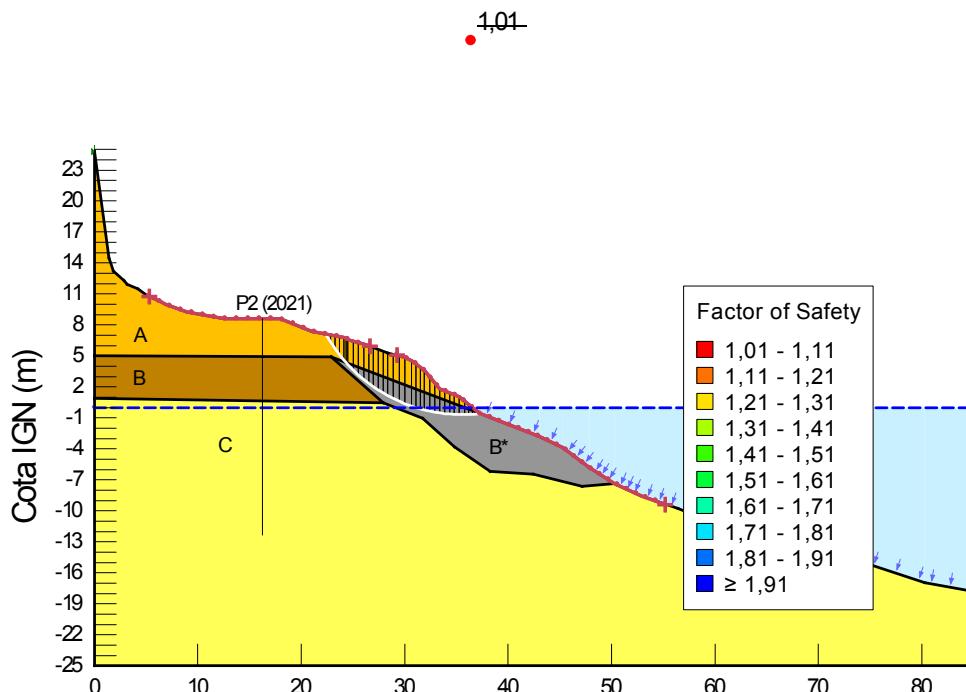


Figura 19 Cuña potencial de falla para la situación actual del Perfil 2 ($N_{\text{rio}} = \pm 0,00 \text{ m.}$)



- Perfil 3:

En la Figura 20 se indican los factores de seguridad obtenidos para la situación actual, para los diferentes niveles del río analizados.

En este perfil no se tiene evidencia de la presencia de arcillas blandas, por lo cual se adopta el perfil indicado en la Figura 21, que consta de los estratos identificados en la perforación P3 y una zona teórica de material deslizado remoldeado.

Se observa que bajo las hipótesis adoptadas la situación es estable y depende poco del nivel del río, ya que la pendiente del talud es más suave. Las cuñas potenciales asociadas a los factores de seguridad indicados corresponden a volúmenes de deslizamiento pequeños, mientras que para cuñas de falla potenciales más profundas los factores de seguridad crecen significativamente. Esto significa que en esta zona no es probable que se produzcan nuevos deslizamientos de gran magnitud, siempre y cuando no exista presencia de arcillas blandas no detectadas.

En las Figuras 22, 23 y 24 se observan las cuñas potenciales de falla para niveles del río iguales a +8,00 m., +5,00 m. y $\pm 0,00$ m. (+5,08 m., +2,08 m. y -2,92 m. según hidrómetro de PNA en el Puerto de Rosario).

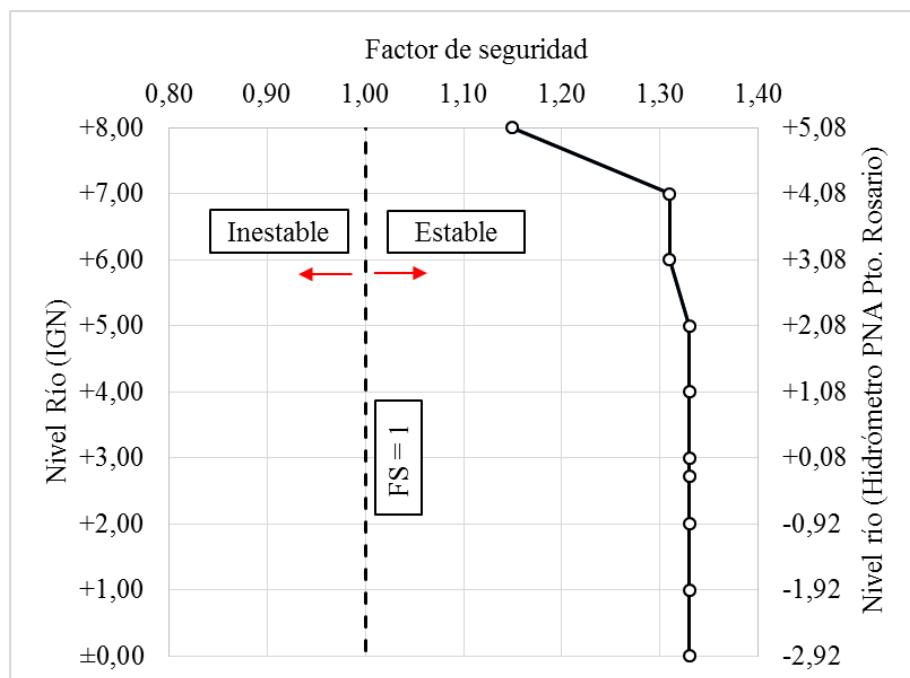


Figura 20 Factor de seguridad vs. Nivel del río para la situación actual (Perfil 3)

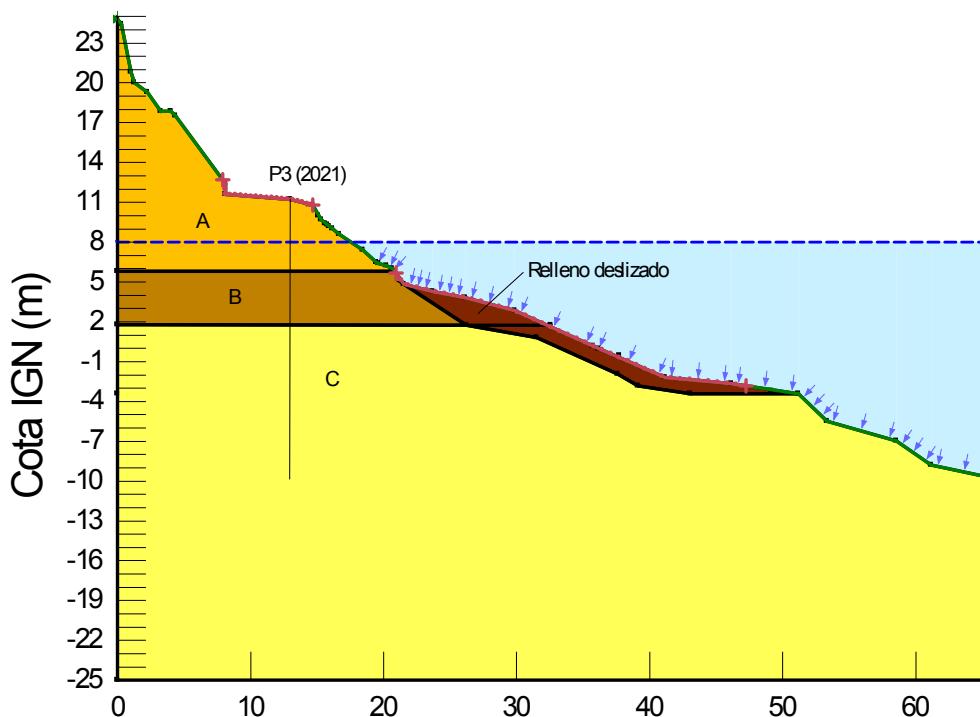


Figura 21 Estratigrafía aproximada adoptada para el Perfil 3

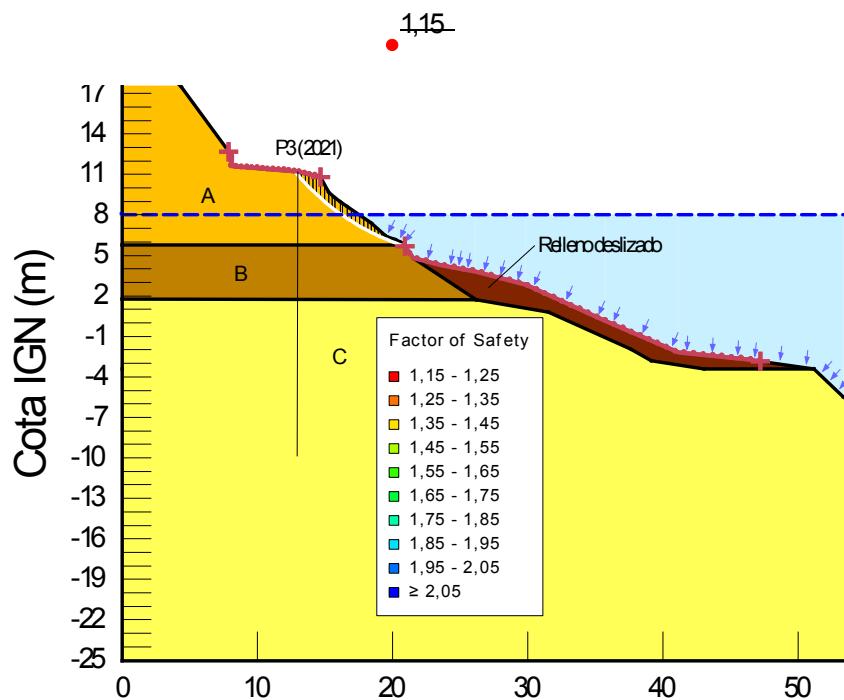


Figura 22 Cuña potencial de falla para la situación actual del Perfil 3 ($N_{\text{rio}} = +8,00 \text{ m.}$)

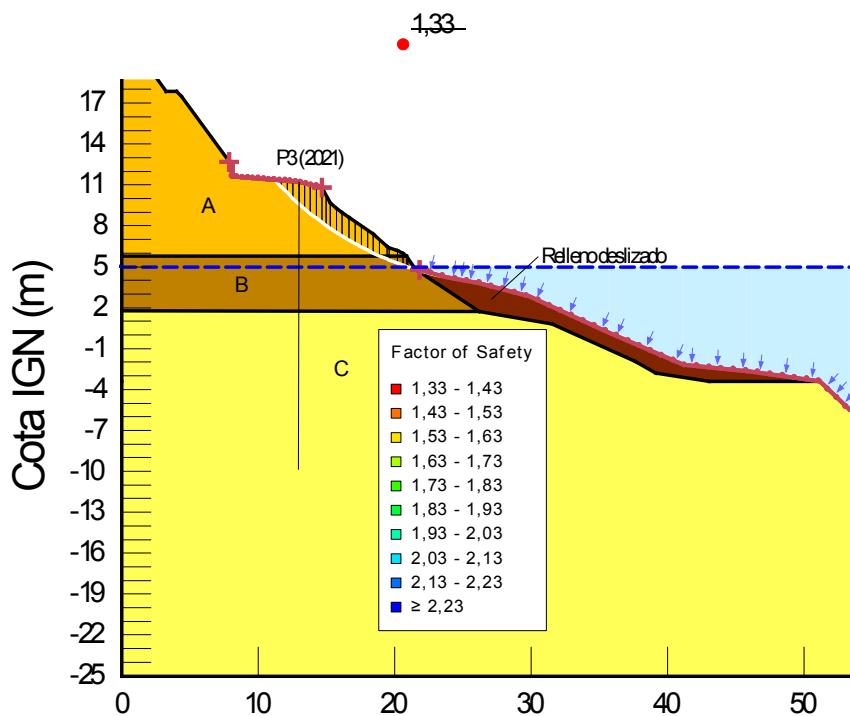


Figura 23 Cuña potencial de falla para la situación actual del Perfil 3 ($N_{\text{rio}} = +5,00 \text{ m.}$)

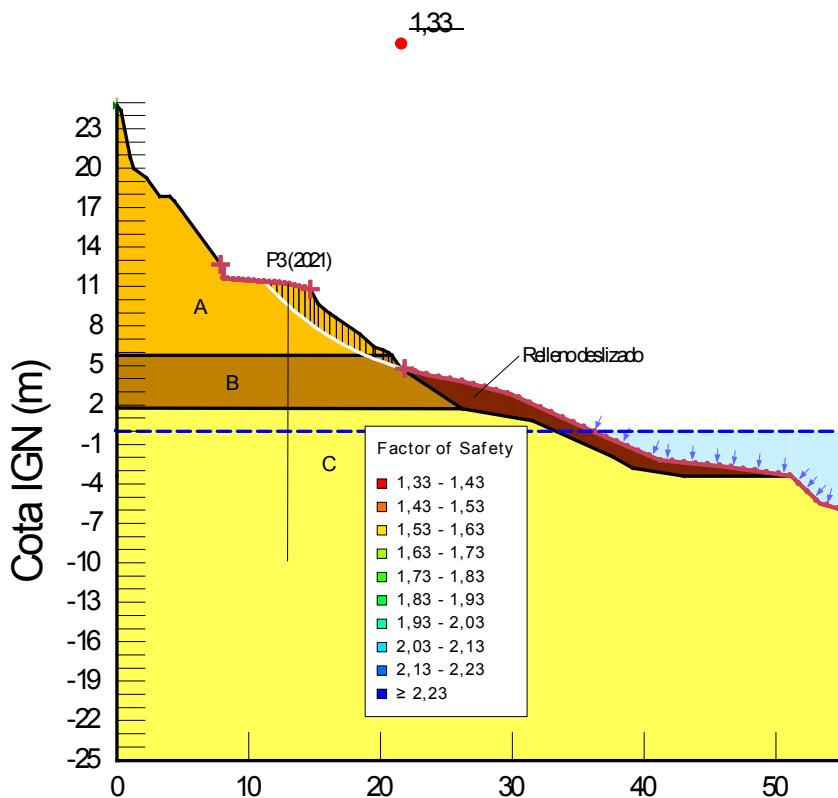


Figura 24 Cuña potencial de falla para la situación actual del Perfil 3 ($N_{\text{rio}} = \pm 0,00 \text{ m.}$)

7.4.3. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos, surgen las siguientes conclusiones:

- La información geotécnica disponible hasta la fecha sólo permite realizar un análisis aproximado de las condiciones actuales de seguridad con respecto a futuros deslizamientos. En el caso del Perfil 1, se utilizó el perfil estratigráfico obtenido a partir de los antecedentes disponibles y la perforación P1 ejecutada como parte de este estudio, y calibrado a partir de la reconstrucción aproximada del perfil original de barranca y la falla observada. Para los perfiles P2 y P3 se realizó un análisis similar aunque con menor información disponible.



- Para el Perfil 1 se observa una situación actual con valores mínimos del factor de seguridad para niveles del río de entre +3,00 m. y +5,00 m. El grado de seguridad es bajo, y las fallas asociadas a los menores valores de factor de seguridad corresponden a cuñas que pueden ampliar la zona deslizada aunque en principio no es probable que ocurra un deslizamiento de grandes volúmenes en el corto plazo. Por otra parte, debe tenerse en cuenta que la acción del oleaje y los agentes climáticos sobre la superficie expuesta de la zona deslizada puede ocasionar erosión y desprendimientos locales que con el tiempo produzcan una modificación del perfil y la ocurrencia de nuevos deslizamientos.
- Para el Perfil 2, donde no se han experimentado deslizamientos, se realizó un análisis aproximado, asumiendo hipótesis similares a las del Perfil 1. Según el modelo utilizado, la situación se tornaría inestable en caso de que el nivel del río descienda por debajo de +2,00 m. (-0,92 m. según hidrómetro de PNA en el Puerto de Rosario). Dadas las incertidumbres presentes, este valor de cota de río no es preciso, y la conclusión es que de experimentarse nuevas bajantes por debajo del nivel mínimo experimentado hasta el momento, se podría producir un deslizamiento en esta zona.
- Para el Perfil 3, donde se cuenta con menor información, se realizó un análisis aproximado teniendo como hipótesis que no existen arcillas blandas en el pie del talud, lo cual debe ser verificado a futuro. En esta zona se verifica una situación más estable y menos dependiente del nivel del río, dada la naturaleza del relleno y la menor pendiente de talud. Esta zona, sin embargo, está sometida a un proceso continuo de erosión que puede generar retrocesos del frente del talud frente a procesos alternativos de creciente y bajante.

7.5. Recomendaciones para la remediación y reconstrucción

En base a los análisis realizados y conclusiones obtenidas, se plantea en este punto una serie de aspectos a tener en cuenta para la remediación y reconstrucción del sector analizado. En primer lugar se establecen algunos criterios para analizar



las acciones inmediatas a adoptar y luego se plantean los estudios y criterios de proyecto a adoptar para la reconstrucción integral.

7.5.1. Acciones inmediatas

En las condiciones actuales, la zona deslizada se encuentra desprotegida frente a los efectos del oleaje del río Paraná y el clima, tanto en el sector del Perfil 1 como del Perfil 3. Esto hace que a medida que transcurre el tiempo se produzca una modificación paulatina del perfil de la costa, que puede desencadenar deslizamientos locales en distintos sectores.

Para atenuar esta situación, es recomendable realizar una protección provisoria en los sectores expuestos. Esta protección se puede materializar de diferentes maneras:

- Mediante la colocación de mallas de acero tipo SIMA y hormigón proyectado.
- Mediante la colocación de geotextiles que cumplan la función de filtro, es decir que permitan el paso del agua de uno a otro lado del talud, pero que retengan las partículas de suelo. La especificación sobre el tamaño de apertura en la trama de este material se podrá definir una vez se decida por esta solución para cada sector particular.

Más allá de la materialidad elegida, la protección se debe extender en toda la zona que se estime que estará sometida al oleaje, aunque puede resultar complejo bajo agua. En el caso de los geotextiles, estos se deben anclar correctamente para garantizar que no se produzcan cambios en su posición.

De manera adicional a la protección superficial, una opción posible es colocar materiales de elevada resistencia que produzcan peso adicional sobre el pie de las zonas deslizadas. Esto se puede realizar mediante material grueso de cantera tipo Rip-Rap o bien mediante elementos prefabricados de hormigón, como pueden ser tetrápolos. El material elegido debe ser resistente a la erosión y debe tener una adecuada trabazón como para garantizar pendientes pronunciadas de forma prolongada, incluso bajo agua.



La colocación de materiales de protección y peso en el pie de las zonas deslizadas debe limitarse debido a que su aplicación indiscriminada puede ocasionar dos efectos indeseados:

- La generación de nuevas fallas profundas motivadas por la presencia de arcillas blandas en el lecho del río. Esto puede desencadenar deslizamientos que provoquen una nueva desestabilización, por lo tanto de manera previa a aplicar estas medidas se debe verificar la naturaleza del perfil geotécnico en el pie de las zonas deslizadas.
- La ocupación de zonas del lecho en las que a futuro se deban ejecutar defensas como pilotajes o tablestacados, lo cual puede generar dificultades o incluso imposibilidad constructiva a futuro.

7.5.2. Estudios geotécnicos complementarios

En base a las incertidumbres citadas, resulta imprescindible completar la información geotécnica disponible hasta el momento, de forma tal de poder ajustar los modelos utilizados, planificar adecuadamente las medidas de mitigación y proyectar las obras de reconstrucción.

Para ello, se considera necesaria la ejecución de como mínimo 3 perforaciones con apoyo en agua hasta cota -20,00 m., para establecer el perfil geotécnico actual bajo el pie de las zonas deslizadas. Estas perforaciones se deben ubicarse sobre la línea en la cual se proyecte el nuevo frente de costa.

El objetivo de estas perforaciones es:

- Detectar posibles interferencias que dificulten o impidan la ejecución de las obras de reconstrucción.
- Definir el perfil geotécnico bajo el lecho del río Paraná, y poder así ajustar los análisis llevados a cabo en este informe, y proyectar las futuras obras de reconstrucción.



7.5.3. Proyecto de reconstrucción integral

Para llevar adelante la rehabilitación integral de los sectores deslizados es posible analizar una serie de alternativas, entre las cuales se proponen de forma preliminar:

- Ejecutar un nuevo relleno a modo de avance sobre el cauce del río y generar una estructura de cierre tipo tablestacado que permita contener el nuevo relleno.
- Ejecutar un muelle pilotado independiente de la costa para recuperar el espacio perdido, y proyectar adecuadamente las protecciones necesarias para asegurar la estabilidad del terreno por detrás del nuevo muelle.

Las dos alternativas planteadas se esquematizan en la Figura 24, donde se muestra además la posibilidad de ejecutar anclajes como medida para reducir la profundidad de empotramiento necesaria de tablestaca. En la misma Figura se esquematiza la distancia aproximada entre la nueva estructura de frente costero y la parte superior del talud actual en el Perfil 1, que correspondería adoptar para mantener la línea actual del frente que presenta toda la zona del Parque España. En la Figura 25 se esquematiza en planta la zona propuesta a recuperar, de forma aproximada. Esta zona podrá ser modificada o ampliada a futuro en base al criterio adoptado en el proyecto.

La elección de una de las opciones planteadas u otras alternativas posibles deberá ser definida por el proyectista.

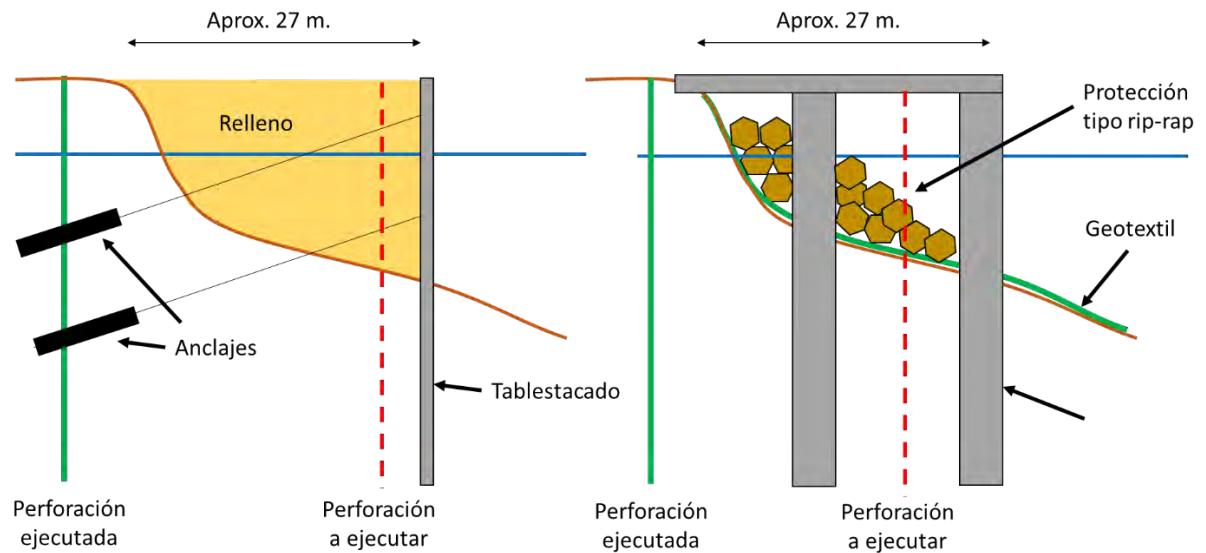


Figura 25 Alternativa relleno y tablestacado (izquierda) y muelle pilotado (derecha)

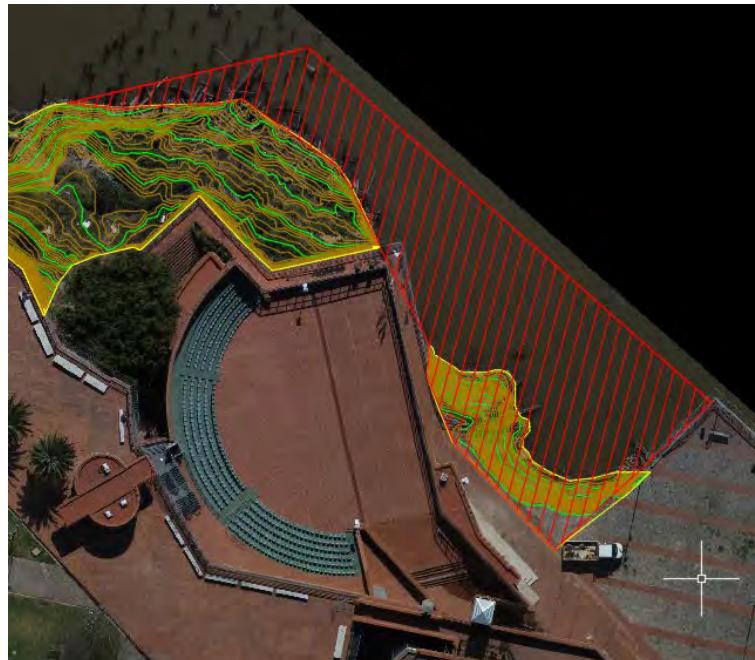


Figura 26 Zona esquemática a recuperar

Para el anteproyecto de cualquiera de las alternativas es posible adoptar los parámetros que se indican en la Tabla 7.



Perf.	Estrato	Descripción	Cotas (m.)	γ (kN/m ³)	E' (MPa)	c' (kPa)	Φ' (°)
P1	A	Relleno	+10,41 y +5,50	19,00	20	10	30
	B	Arcillas firmes	+5,50 y +0,20	19,00	60	15	32
	C	Arenas	+0,20 y -9,67	20,00	80	1	35
P2	A	Relleno	+8,60 y +5,00	19,00	30	5	33
	B	Arcillas firmes	+5,00 y +0,90	19,00	50	10	30
	C	Arenas	+0,90 y -11,12	20,00	80	1	35
P3	A	Relleno	+10,50 y +5,80	19,00	25	1	34
	B	Arcillas firmes	+5,80 y +1,80	19,00	45	10	31
	C	Arenas	+1,80 y -9,43	20,00	80	1	35

Tabla 7 Parámetros geotécnicos estimados para verificación de tablestacado

Una vez definida la solución a adoptar, y a partir de la información geotécnica complementaria necesaria, será posible establecer esquemas de cálculo para el proyecto de las nuevas estructuras.

TORRES y VERCILLI S. R. L.
ING. PABLO L. TORRES
SOCIO GERENTE

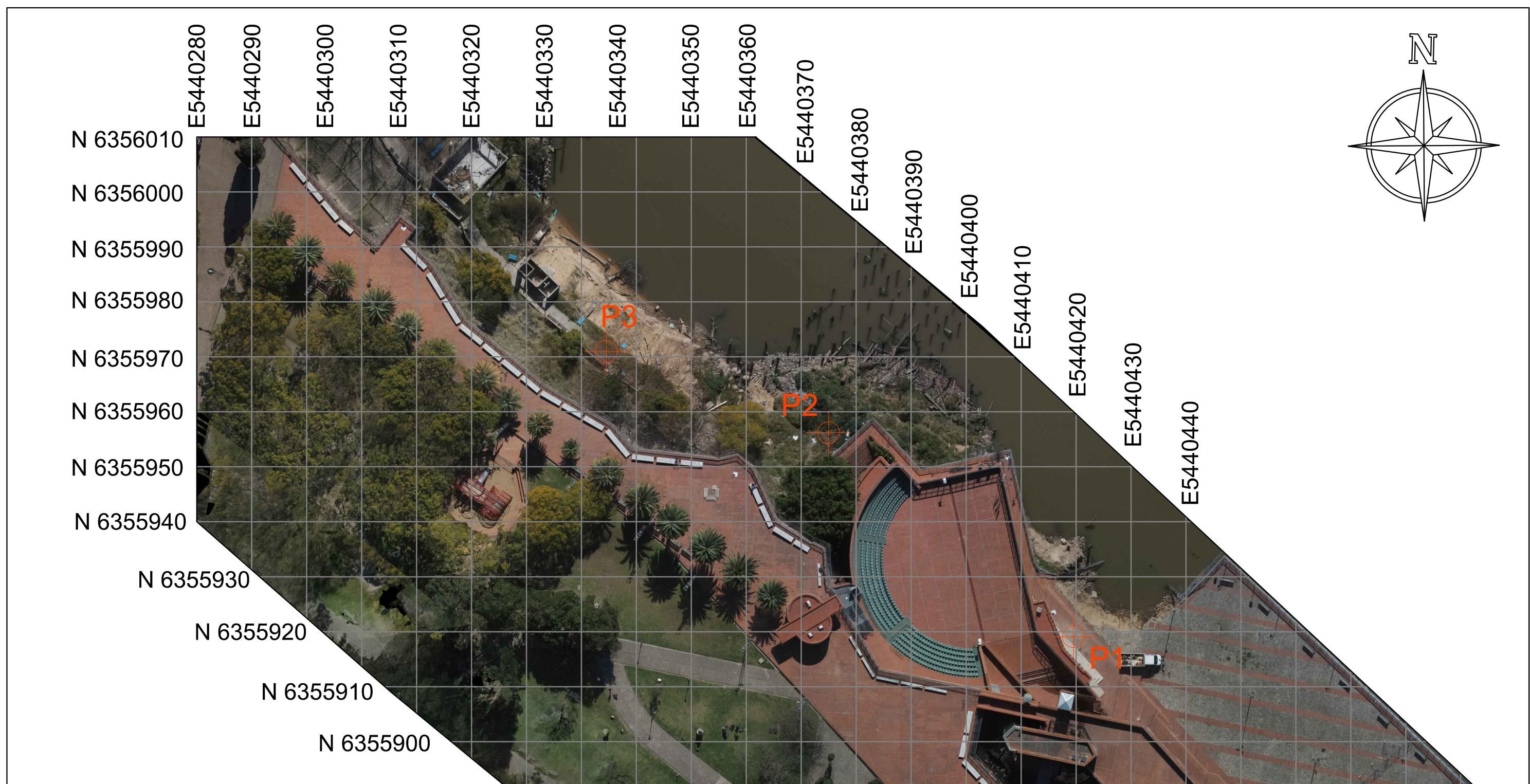
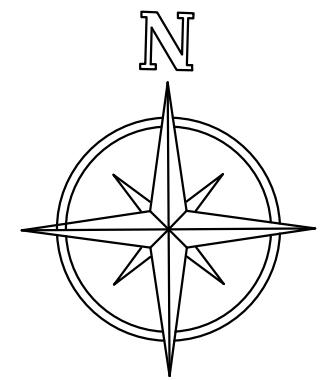


TORRES y VERCELLI S.R.L.
CONSULTORES DE INGENIERIA
desde 1961

MECANICA DE SUELOS E INGENIERIA DE FUNDACIONES - MAIPU 548 - TEL/FAX (0341) 440 5979 - 424 1988 - S2000CGB ROSARIO
e-mail: tv@torresyvercelli.com.ar Web site: www.torresyvercelli.com.ar

ANEXO I

UBICACIÓN DE PERFORACIONES



TORRES y VERCCELLI S.R.L.
CONSULTORES DE INGENIERÍA

REV	ELAB	CONTR	APR	FECHA
0	NGB	MMO	MMO	05/10/2021
COMITENTE	Municipalidad de Rosario			
PLANO: Croquis de ubicación.	OBRA			
Escala: 1:1000. Medidas en m.	UBICACION	Análisis de desl. de talud y proy. de reconst.		
		Centro Cultural Parque de España. Rosario		

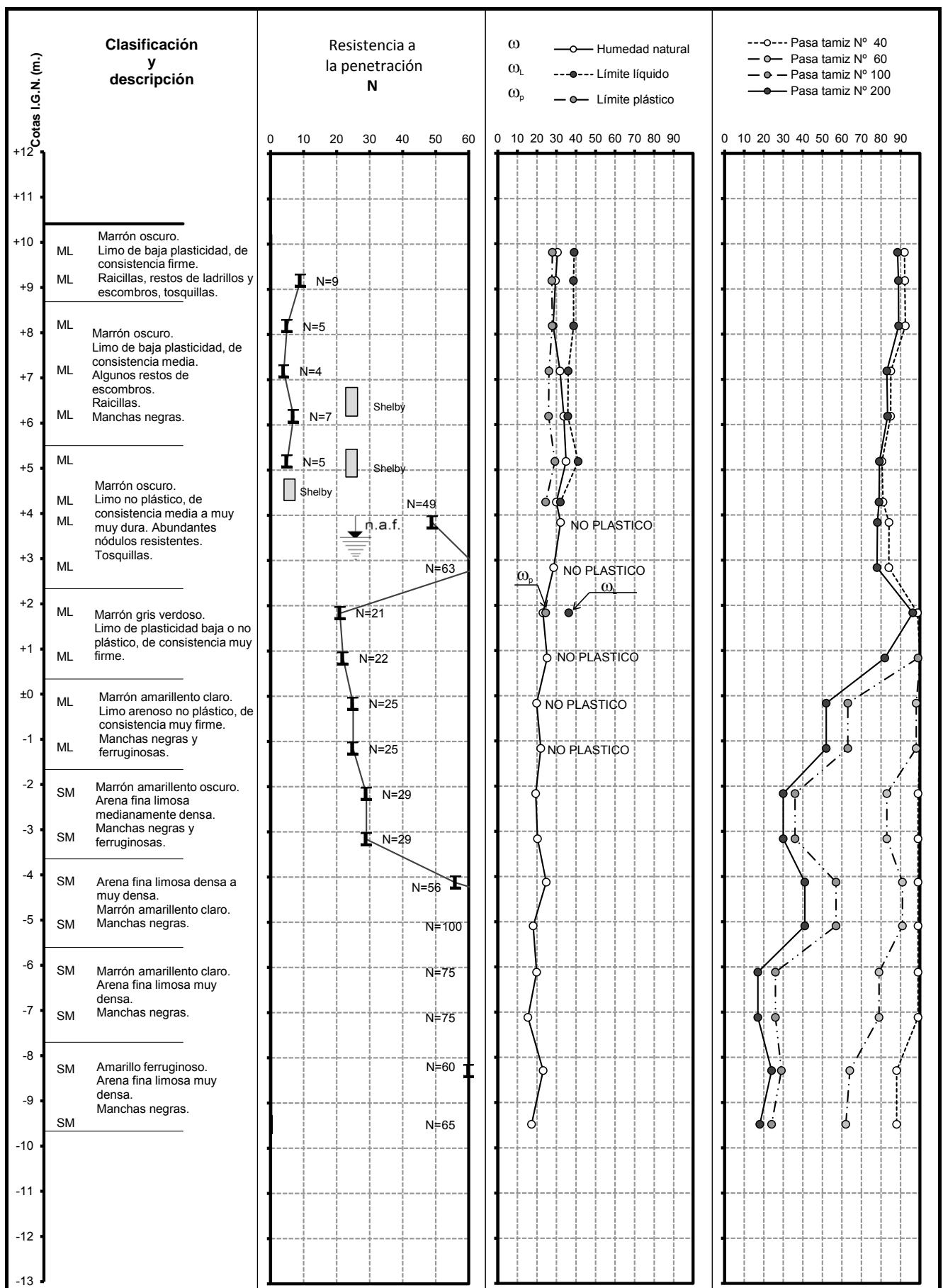


TORRES y VERCELLI S.R.L.
CONSULTORES DE INGENIERIA
desde 1961

MECANICA DE SUELOS E INGENIERIA DE FUNDACIONES - MAIPU 548 - TEL/FAX (0341) 440 5979 - 424 1988 - S2000CGB ROSARIO
e-mail: tv@torresyvercelli.com.ar Web site: www.torresyvercelli.com.ar

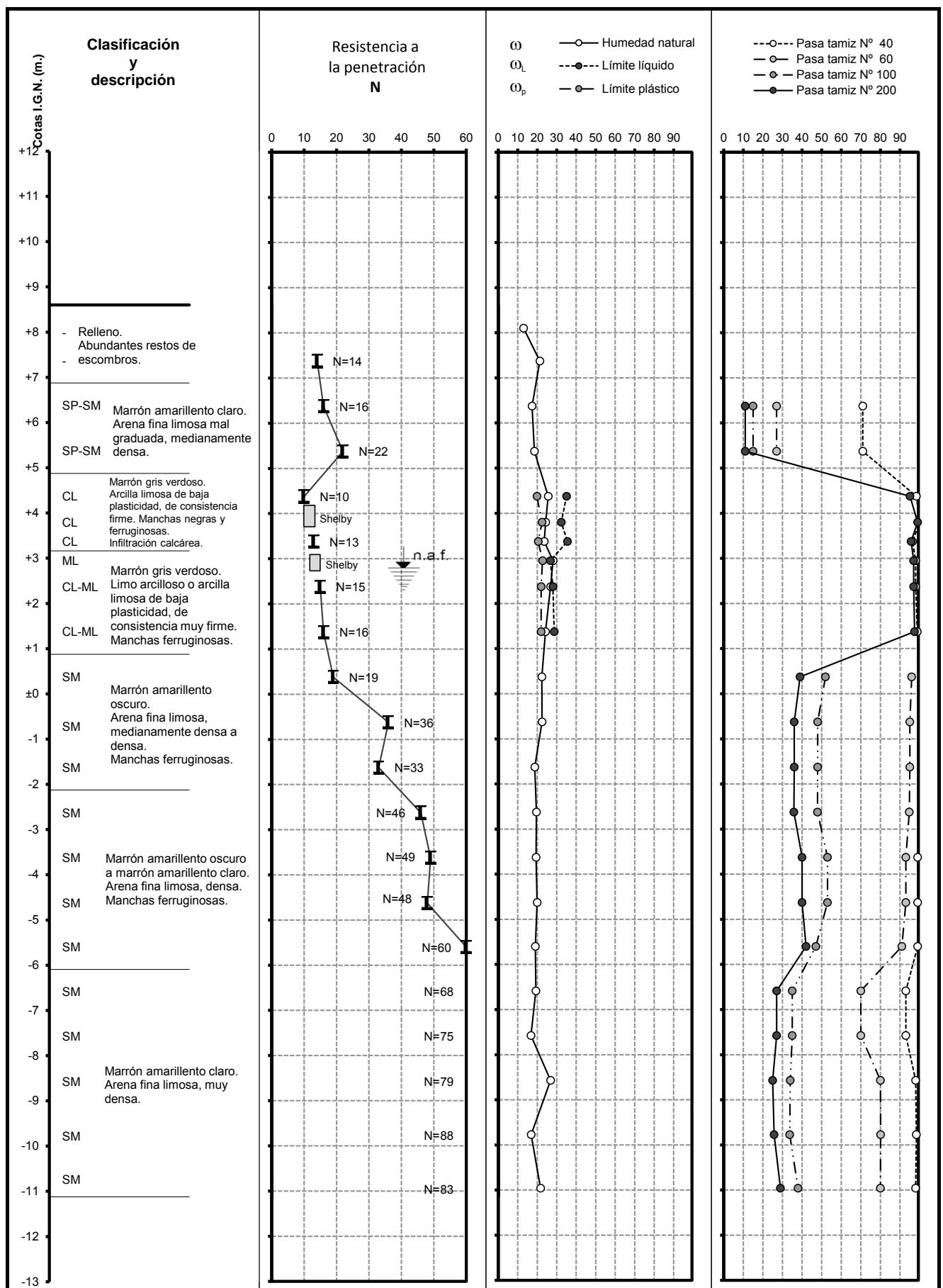
ANEXO II

PLANILLAS DE PERFORACIONES

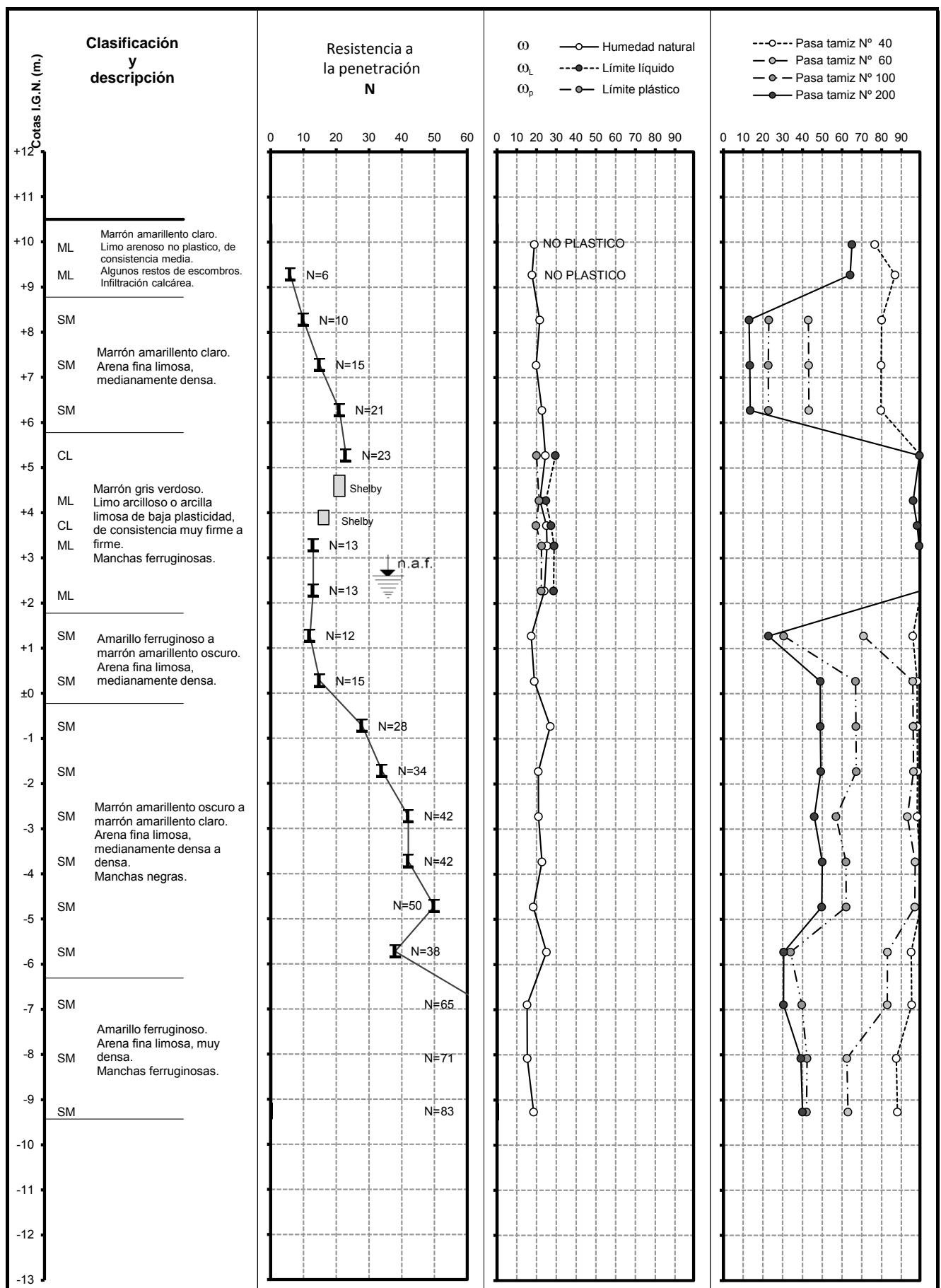


Cotas I.G.N. (m.)	Boca : +10,41 m.	Fondo: -9,67 m.	Napa : +3,51 m.	Perforación nº : P1
Operador:	Ortiz Olivera, Carlos	Comienzo : 09/08/2021	Fin : 10/08/2021	REV : 0
Método:	Percusión y rotación con recirculación de lodo	Diámetro Caño Camisa:	6 pulgadas	Coord: N: 6.355.919,108
Diámetro de Perforación:	4 Pulgadas	Caño Camisa penetra hasta:	+9,91 m.	E: 5.440.419,532
		ELAB	CONTR	Hoja:
		NBM	NGB	1 de 1
		APR	Fecha	
		NGB	13/09/2021	
Comitente :		Municipalidad de Rosario		
Obra:		Análisis de deslizamiento de talud y proyecto de reconstrucción		
Ubicación:		Centro Cultural Parque de España. Rosario.		

TORRES y VERCELLI S.R.L.



Cotas I.G.N. (m.)	Boca : +8,60 m.	Fondo : -11,12 m.	Napa : +2,80 m.	Perforación nº : P2
Operador: Orrego, Mario	Comienzo : 12/08/2021	Fin : 14/08/2021	REV : 0	
Método: Percusión y rotación con recirculación de lodo	Diámetro Caño Camisa: 6 pulgadas		Coord: N: 6.355.956,216	
Diámetro de Perforación: 4 Pulgadas	Caño Camisa penetra hasta: +8,10 m.		E: 5.440.375,001	
	ELAB CONTR APR Fecha		Hoja: 1 de 1	
	NBM NGB NGB 13/09/2021			
TORRES y VERCELLI S.R.L.	Comitente : Municipalidad de Rosario			
	Obra: Análisis de deslizamiento de talud y proyecto de reconstrucción			
	Ubicación: Centro Cultural Parque de España. Rosario.			



Cotas I.G.N. (m.)	Boca : +10,50 m.	Fondo: -9,43 m.	Napa : +2,60 m.	Perforación nº : P3
Operador: Ortiz Olivera, Carlos	Comienzo : 17/08/2021	Fin : 18/08/2021	REV : 0	
Método: Percusión y rotación con recirculación de lodo	Diámetro Caño Camisa: 6 pulgadas		Coord: N: 6.355.970,969	
Diámetro de Perforación: 4 Pulgadas	Caño Camisa penetra hasta: +10,00 m.		E: 5.440.334,554	
	ELAB CONTR APR Fecha		Hoja:	1 de 1
	NBM NGB NGB 13/09/2021			
TORRES y VERCELLI S.R.L.	Comitente : Municipalidad de Rosario			
	Obra: Análisis de deslizamiento de talud y proyecto de reconstrucción			
	Ubicación: Centro Cultural Parque de España. Rosario.			



TORRES y VERCELLI S.R.L.
CONSULTORES DE INGENIERIA
desde 1961

MECANICA DE SUELOS E INGENIERIA DE FUNDACIONES - MAIPU 548 - TEL/FAX (0341) 440 5979 - 424 1988 - S2000CGB ROSARIO
e-mail: tv@torresyvercelli.com.ar Web site: www.torresyvercelli.com.ar

ANEXO III
RESULTADOS DE
ENSAYOS TRIAXIALES

ENSAYO TRIAXIAL

SATURADO CONSOLIDADO NO DRENADO (CU)

Muestra : P1M2 PD

Cota : +5,41 m. / +4,91 m.

Profundidad : 5,00 m. / 5,50 m.

Límite Líquido : 40,0

Límite Plástico : 27,9

Índice de Plasticidad : 12,1

Pasa Tamiz # 40 : 88 %

Pasa Tamiz # 200 : 86 %

Clasificación : ML

Probeta : P1M2 PDa

P1M2 PDb

Humedad natural : 21,5 %

19,9 %

Peso específico húmedo : 1,950 t/m³

2,074 t/m³

Peso específico seco : 1,605 t/m³

1,731 t/m³

Gravedad específica (adoptada) : 2,67

2,67

Relación de vacíos : 0,663

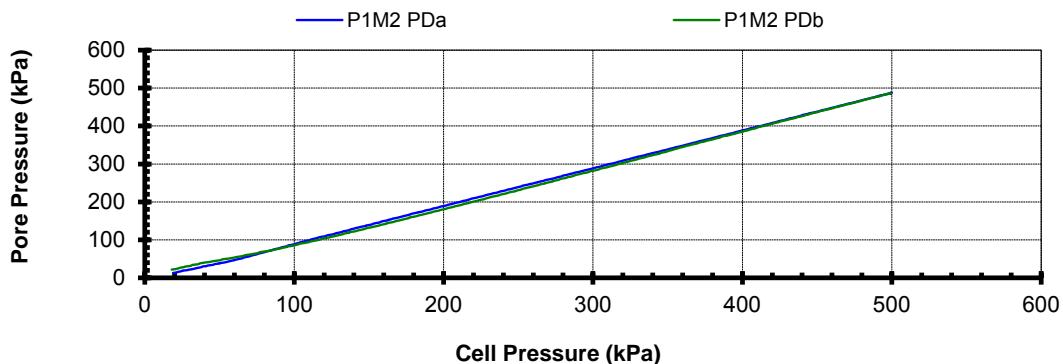
0,543

Grado de saturación : 86 %

98 %

Saturación por contrapresión :

Probetas con drenes laterales helicoidales



Consolidación :

Probeta : P1M2 PDa

P1M2 PDb

Cell Pressure (σ_3) : 554 kPa

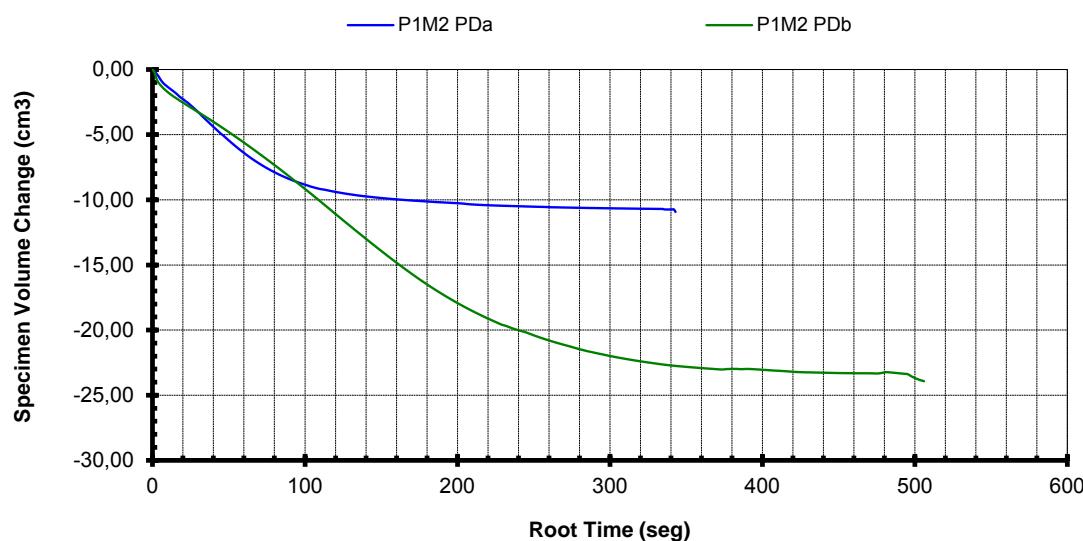
701 kPa

Back Pressure : 499 kPa

499 kPa

Effective Pressure (σ'_3) : 55 kPa

202 kPa



TORRES y VERCELLI S.R.L.

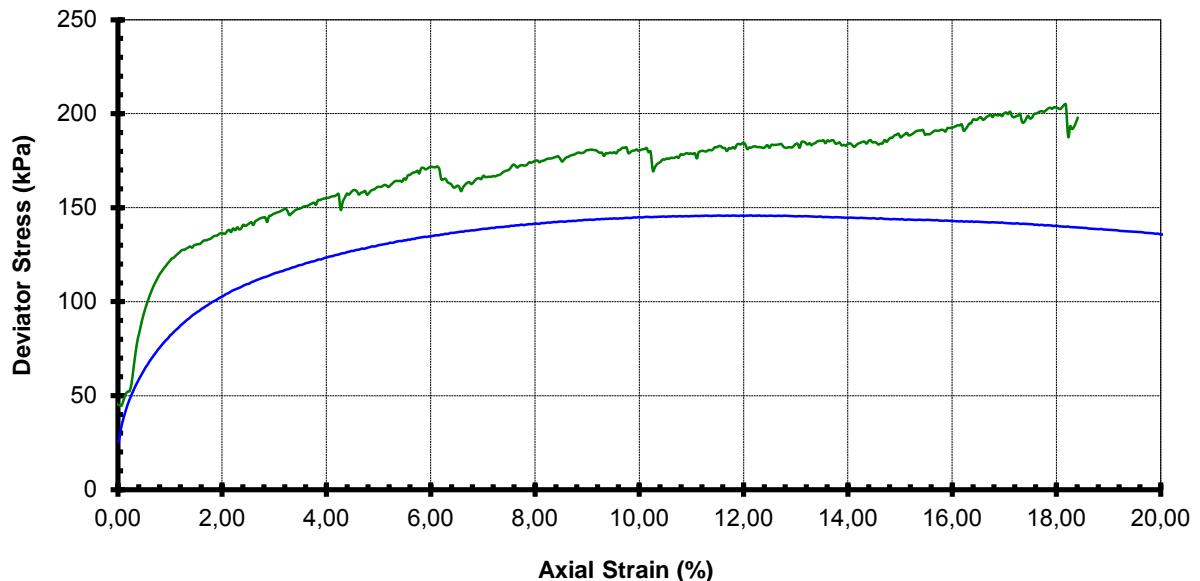
Comitente :	Municipalidad de Rosario
Obra :	Análisis de desi. de talud y proyecto de reconstrucción
Ubicación :	Centro Cultural Parque de España. Rosario.

ENSAYO TRIAXIAL
SATURADO CONSOLIDADO NO DRENADO (CU)

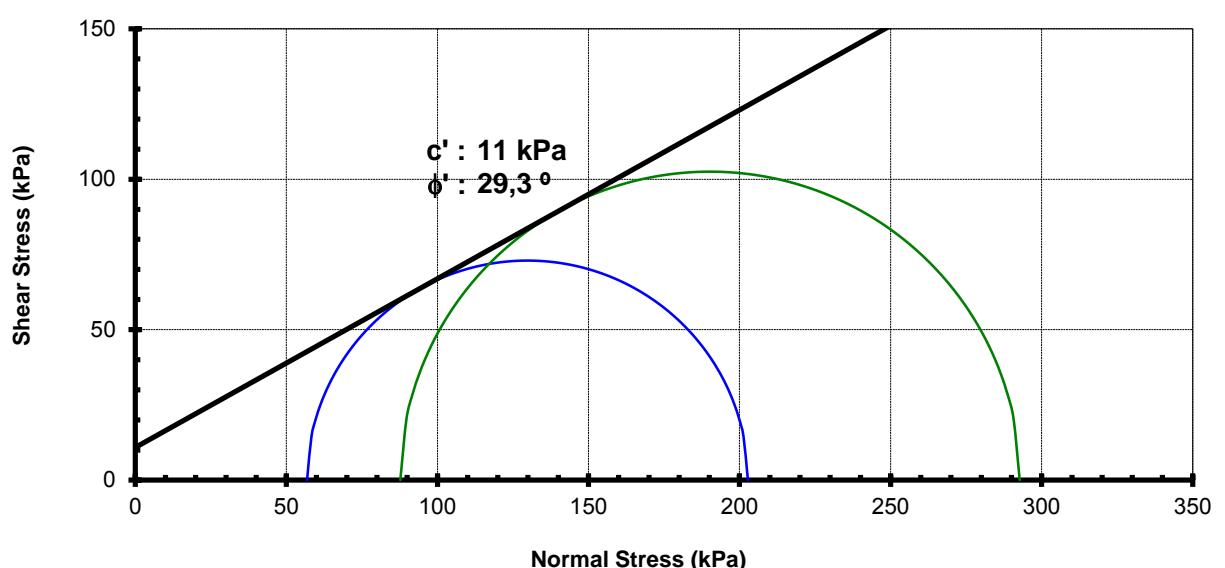
Muestra :	P1M2 PDa	P1M2 PDb
Initial Effective Pressure (σ'_3) :	50 kPa	182 kPa
Rate of strain :	2,39 %/hr.	0,28 %/hr.
Failure Pore pressure (u_f) :	-5 kPa	114 kPa
Failure Effective Pressure (σ'_{3f}) :	57 kPa	88 kPa
Failure Deviator stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) :	146 kPa	205 kPa
Failure Axial strain (ϵ_f) :	12,15 %	18,18 %
Failure Effective Stress Ratio :	3,57	3,34

— P1M2 PDa

— P1M2 PDb



Effective Stress

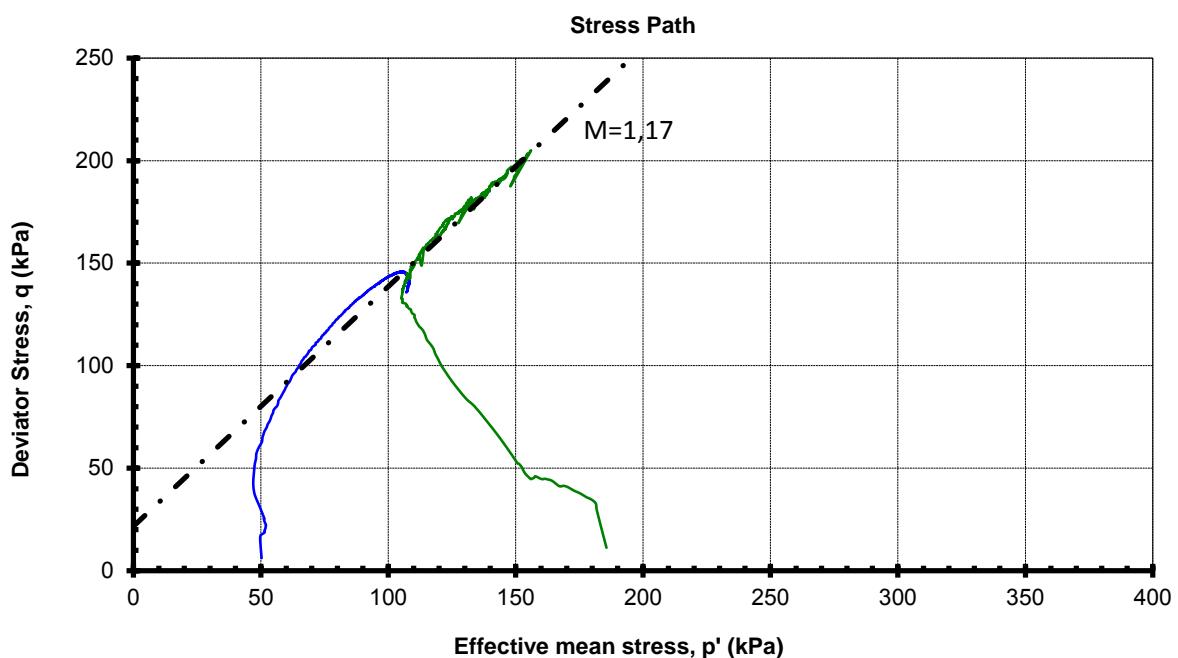
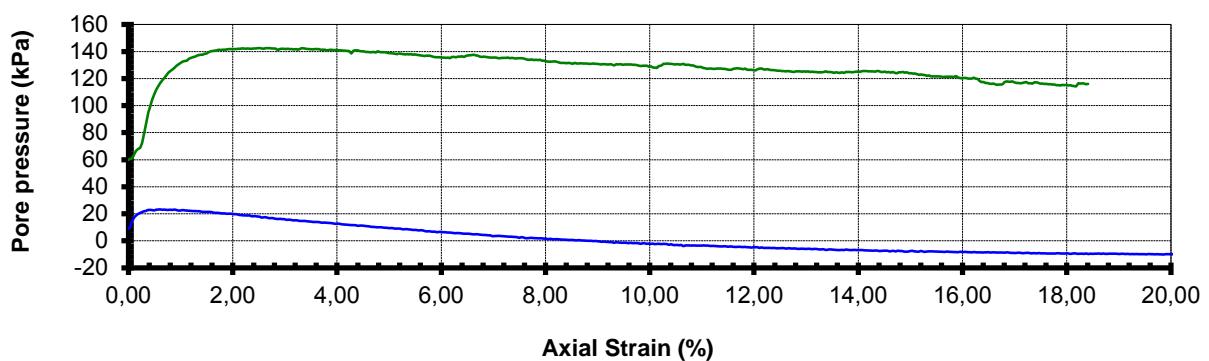
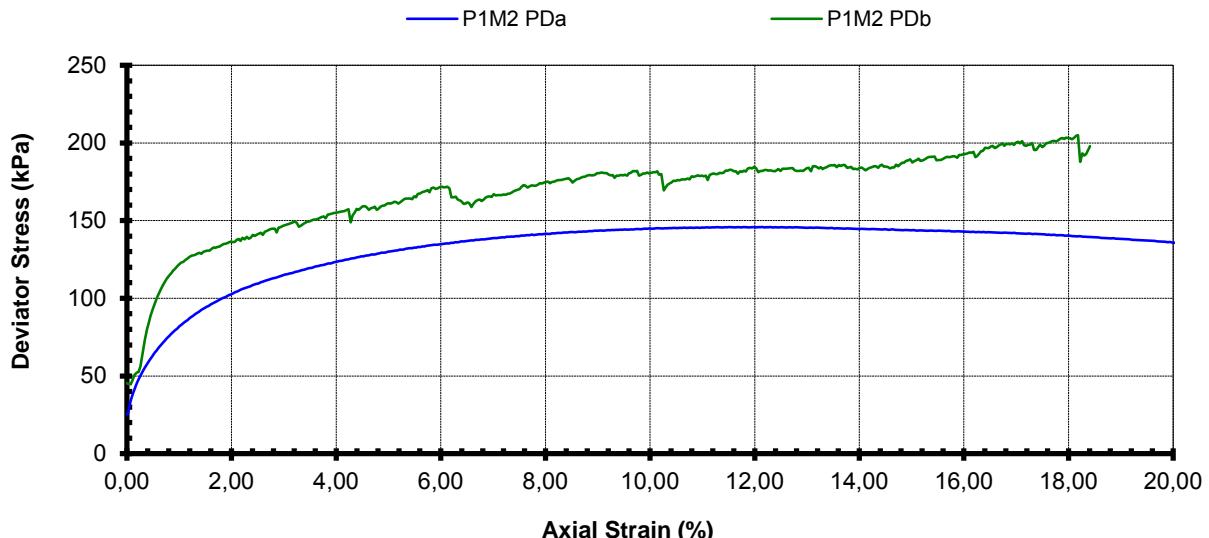


TORRES y VERCELLI S.R.L.	Comitente :	Municipalidad de Rosario
	Obra :	Análisis de desl. de talud y proyecto de reconstrucción
	Ubicación :	Centro Cultural Parque de España. Rosario.

ENsayo TRIAXIAL
SATURADO CONSOLIDADO NO DRENADO (CU)

Muestra : P1M2 PD

Cota : +5,41 m. / +4,91 m.
 Profundidad : 5,00 m. / 5,50 m.



TORRES y VERCELLI S.R.L.	Comitente :	Municipalidad de Rosario
	Obra :	Análisis de desl. de talud y proyecto de reconstrucción
	Ubicación :	Centro Cultural Parque de España. Rosario.

ENSAYO TRIAXIAL

SATURADO CONSOLIDADO NO DRENADO (CU)

Muestra : P2M6 PD

Cota : +4,00 m. / +3,60 m.

Profundidad : 4,60 m. / 5,00 m.

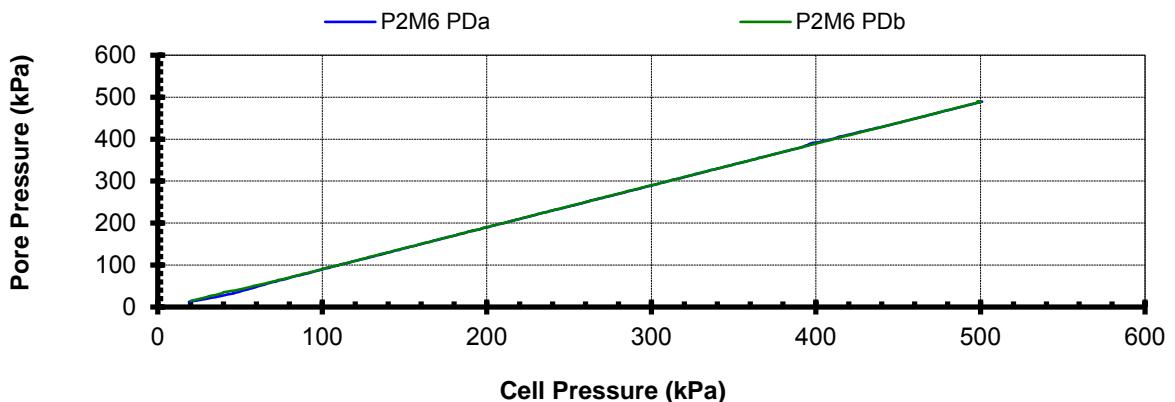
Límite Líquido : 32,3
 Límite Plástico : 22,5
 Índice de Plasticidad : 9,8

Pasa Tamiz # 40 : 100 %
 Pasa Tamiz # 200 : 99 %
 Clasificación : CL

Probeta :	P2M6 PDa	P2M6 PDb
Humedad natural :	22,5 %	22,8 %
Peso específico húmedo :	2,079 t/m ³	2,049 t/m ³
Peso específico seco :	1,698 t/m ³	1,668 t/m ³
Gravedad específica (adoptada) :	2,67	2,67
Relación de vacíos :	0,573	0,600
Grado de saturación :	105 %	101 %

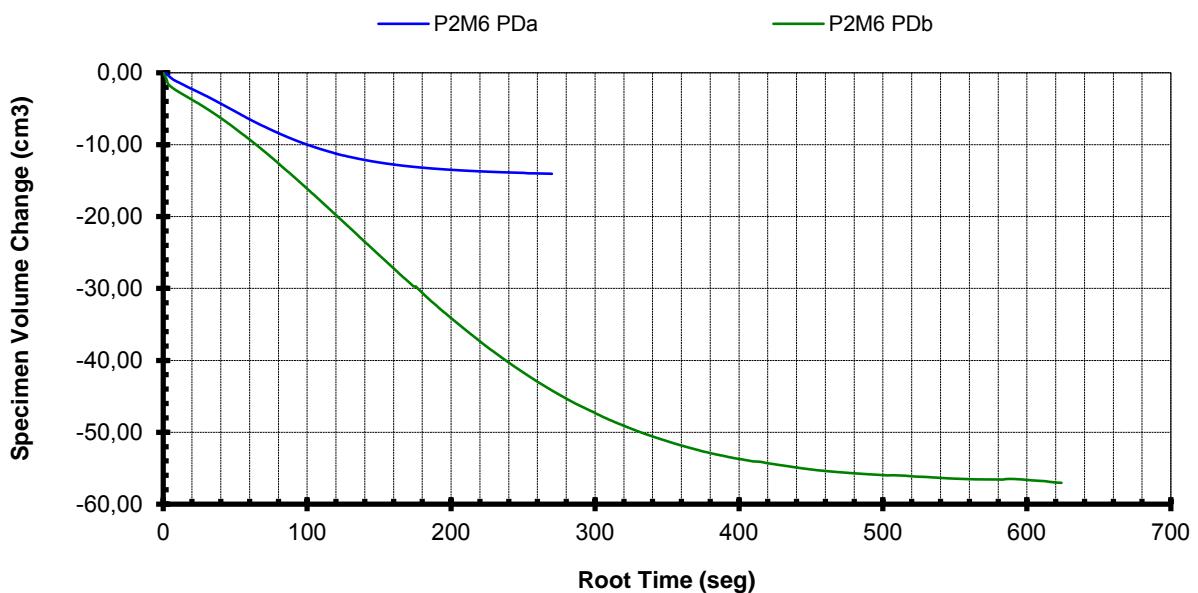
Saturación por contrapresión :

Probetas con drenes laterales helicoidales



Consolidación :

Probeta :	P2M6 PDa	P2M6 PDb
Cell Pressure (σ_3) :	551 kPa	701 kPa
Back Pressure :	500 kPa	499 kPa
Effective Pressure (σ'_3) :	51 kPa	202 kPa



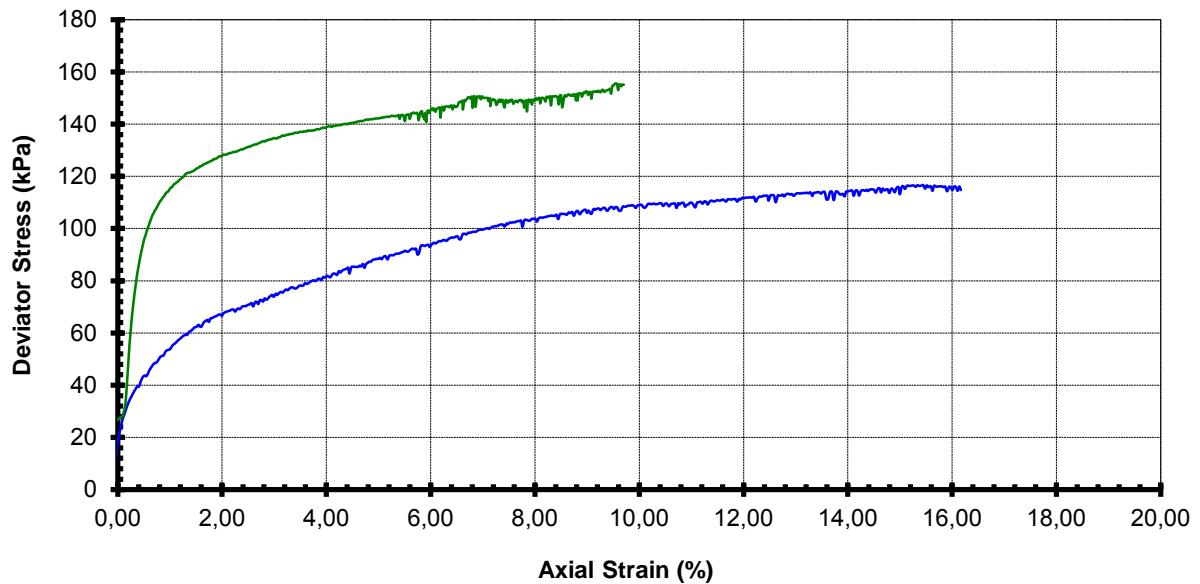
TORRES y VERCELLI S.R.L.	Comitente :	Municipalidad de Rosario
	Obra :	Análisis de desl. de talud y proyecto de reconstrucción
	Ubicación :	Centro Cultural Parque de España. Rosario.

ENSAYO TRIAXIAL
SATURADO CONSOLIDADO NO DRENADO (CU)

Muestra :	P2M6 PDa	P2M6 PDb
Initial Effective Pressure (σ'_3i) :	48 kPa	203 kPa
Rate of strain :	0,82 %/hr.	0,14 %/hr.
Failure Pore pressure (u_f) :	-2 kPa	129 kPa
Failure Effective Pressure (σ'_{3f}) :	51 kPa	71 kPa
Failure Deviator stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) _f :	117 kPa	156 kPa
Failure Axial strain (ε_f) :	15,45 %	9,55 %
Failure Effective Stress Ratio :	3,27	3,18

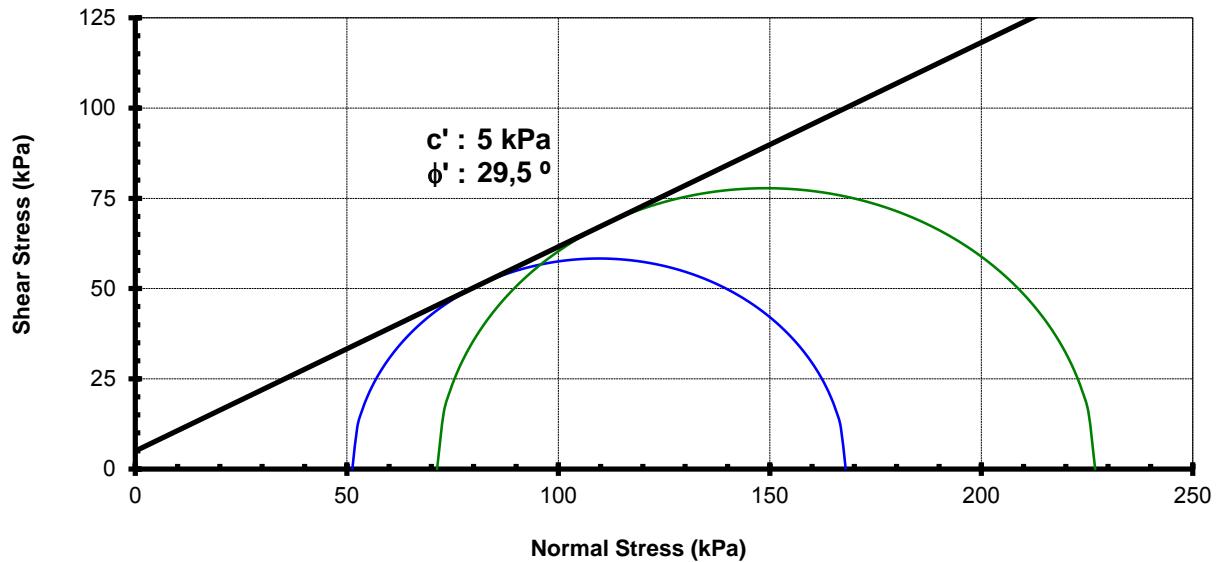
— P2M6 PDa

— P2M6 PDb



Axial Strain (%)

Effective Stress



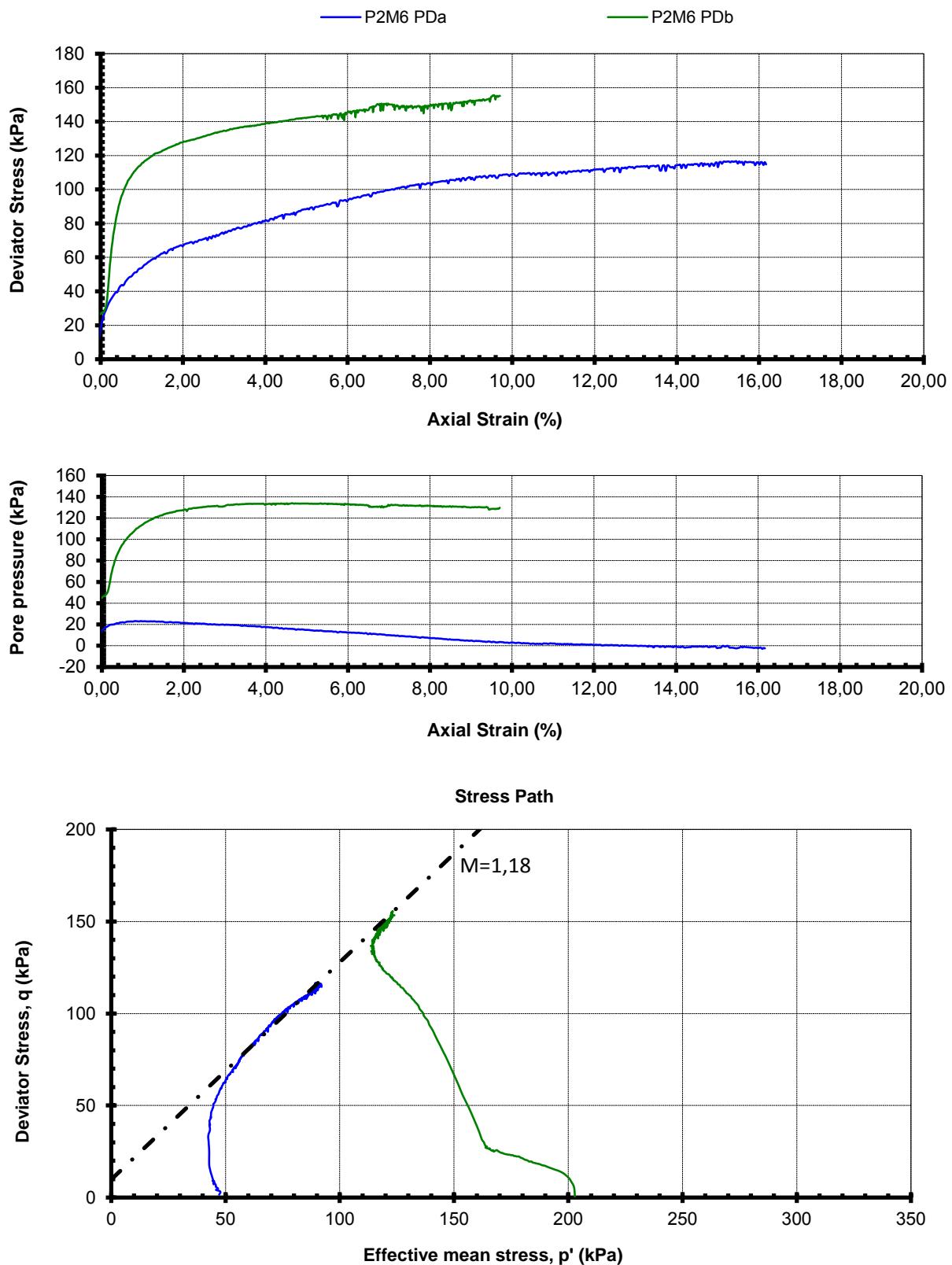
Normal Stress (kPa)

TORRES y VERCELLI S.R.L.	Comitente :	Municipalidad de Rosario
	Obra :	Análisis de desl. de talud y proyecto de reconstrucción
	Ubicación :	Centro Cultural Parque de España. Rosario.

ENsayo TRIAXIAL
SATURADO CONSOLIDADO NO DRENADO (CU)

Muestra : P2M6 PD

Cota : +4,00 m. / +3,60 m.
 Profundidad : 4,60 m. / 5,00 m.



TORRES y VERCELLI S.R.L.	Comitente :	Municipalidad de Rosario
	Obra :	Análisis de desl. de talud y proyecto de reconstrucción
	Ubicación :	Centro Cultural Parque de España. Rosario.

ENSAYO TRIAXIAL

SATURADO CONSOLIDADO NO DRENADO (CU)

Muestra : P3M7 PD

Cota : +4,50 m. / +4,00 m.

Profundidad : 6,00 m. / 6,50 m.

Límite Líquido : 24,7

Límite Plástico : 21,3

Índice de Plasticidad : 3,4

Pasa Tamiz # 40 : 100 %

Pasa Tamiz # 200 : 96 %

Clasificación : ML

Probeta : P3M7PD**b**

P3M7 PD**a**

Humedad natural : 21,0 %

21,8 %

Peso específico húmedo : 2,064 t/m³

2,082 t/m³

Peso específico seco : 1,706 t/m³

1,709 t/m³

Gravedad específica (adoptada) : 2,67

2,67

Relación de vacíos : 0,565

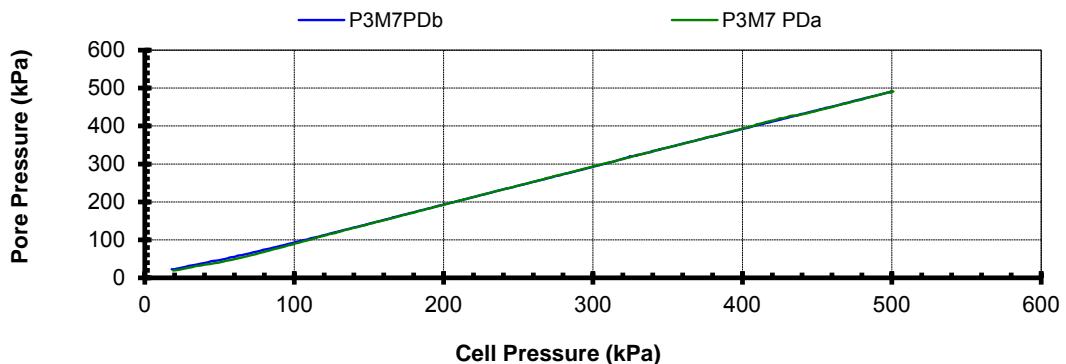
0,562

Grado de saturación : 99 %

104 %

Saturación por contrapresión :

Probetas con drenes laterales helicoidales



Consolidación :

Probeta : P3M7PD**b**

P3M7 PD**a**

Cell Pressure (σ_3) : 551 kPa

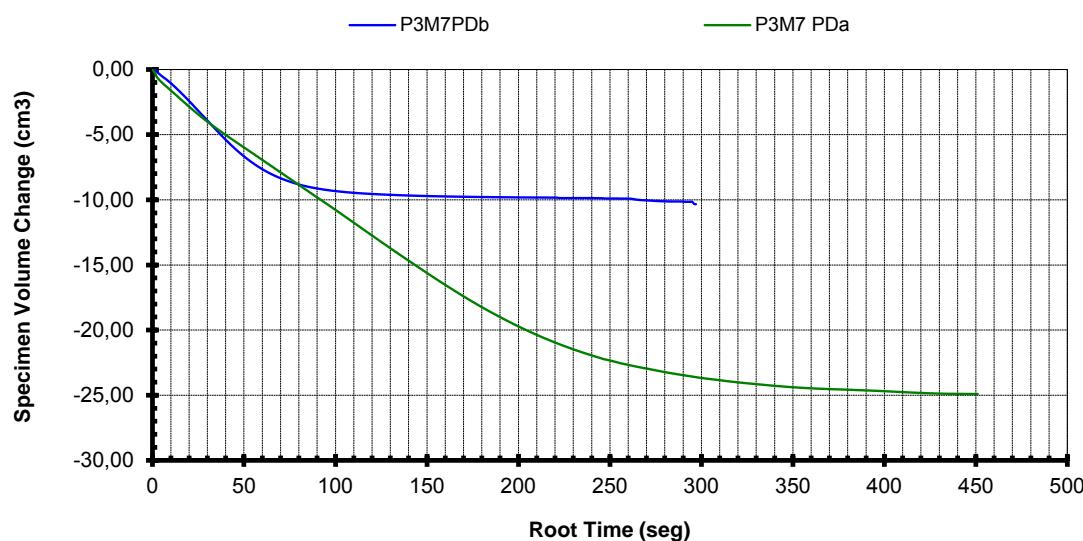
701 kPa

Back Pressure : 499 kPa

499 kPa

Effective Pressure (σ'_3) : 52 kPa

202 kPa



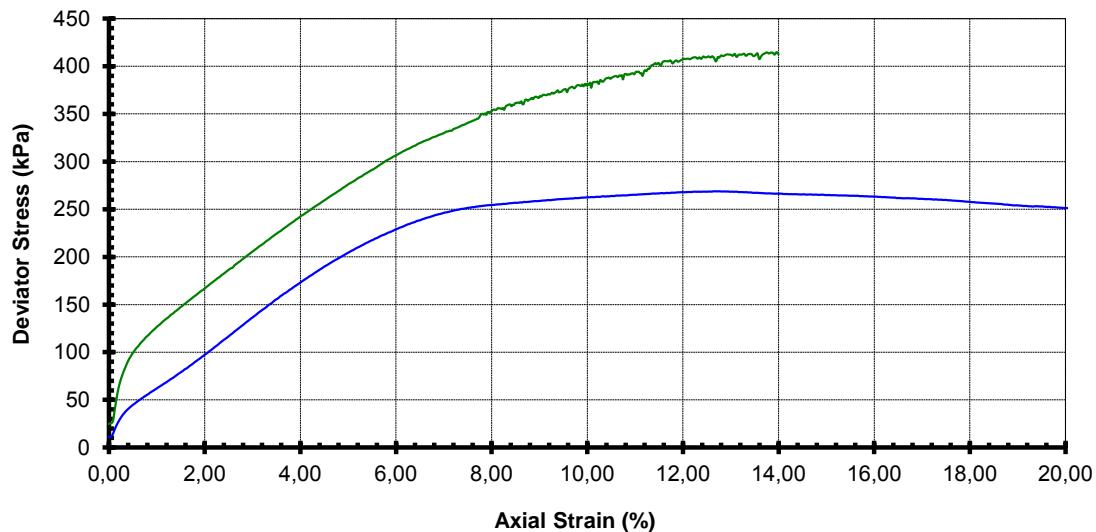
TORRES y VERCELLI S.R.L.

Comitente :	Municipalidad de Rosario
Obra :	Análisis de desi. de talud y proyecto de reconstrucción
Ubicación :	Centro Cultural Parque de España. Rosario.

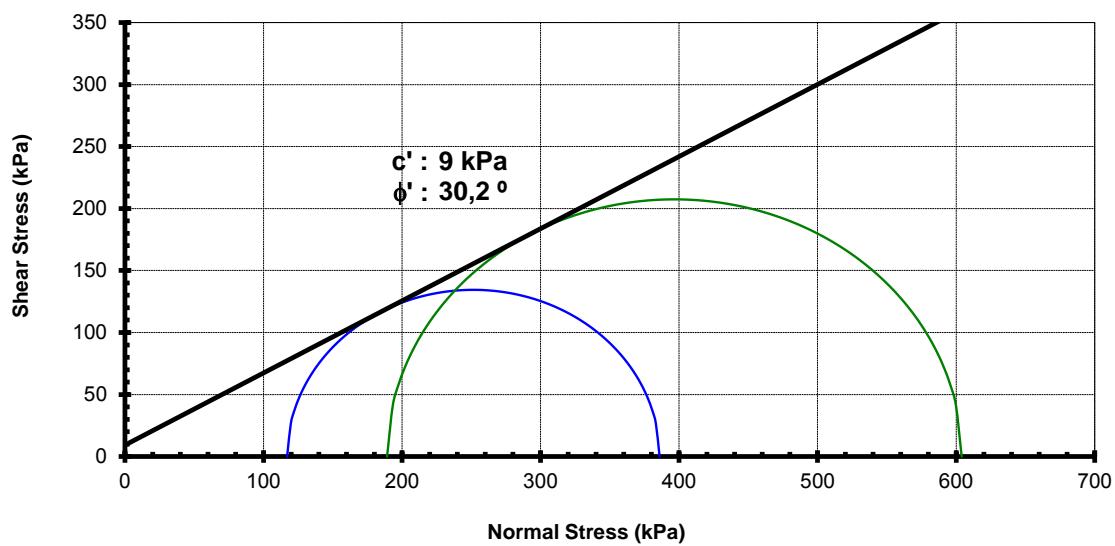
ENSAYO TRIAXIAL
SATURADO CONSOLIDADO NO DRENADO (CU)

Muestra :	P3M7PD b	P3M7 PD a
Initial Effective Pressure (σ'_{3i}) :	53 kPa	202 kPa
Rate of strain :	2,00 %/hr.	0,21 %/hr.
Failure Pore pressure (u_f) :	-65 kPa	13 kPa
Failure Effective Pressure (σ'_{3f}) :	117 kPa	189 kPa
Failure Deviator stress ($\sigma_1 - \sigma_3$) _f :	269 kPa	415 kPa
Failure Axial strain (ϵ_f) :	12,67 %	13,96 %
Failure Effective Stress Ratio :	3,30	3,19

— P3M7PD**b** ————— P3M7 PD**a**



Effective Stress

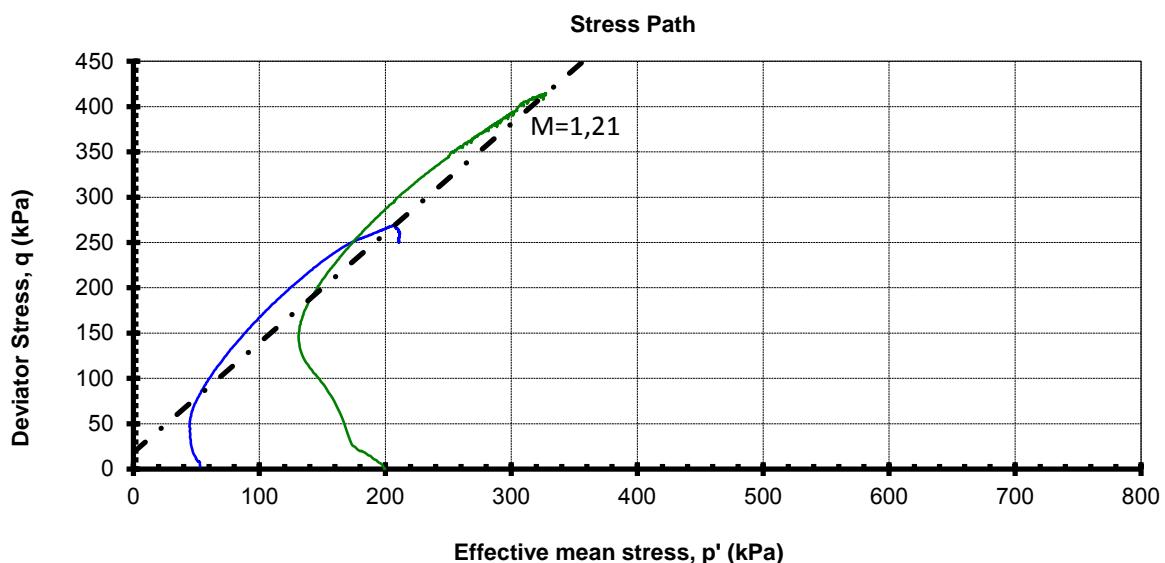
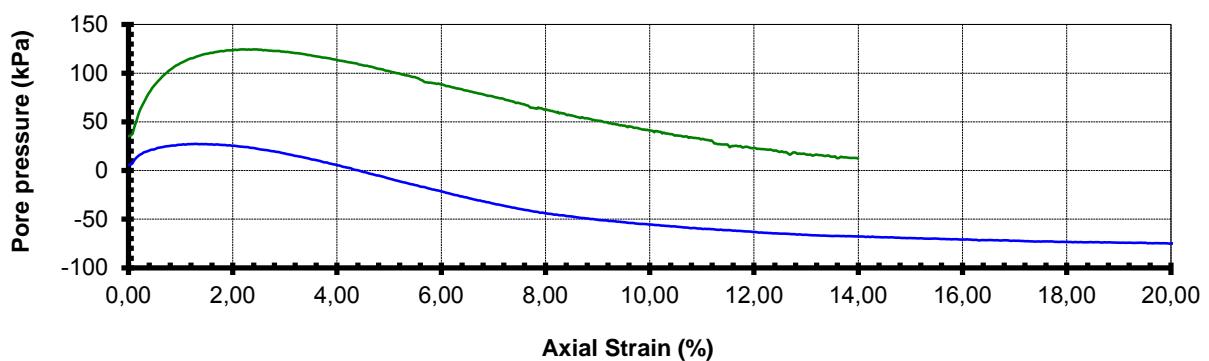
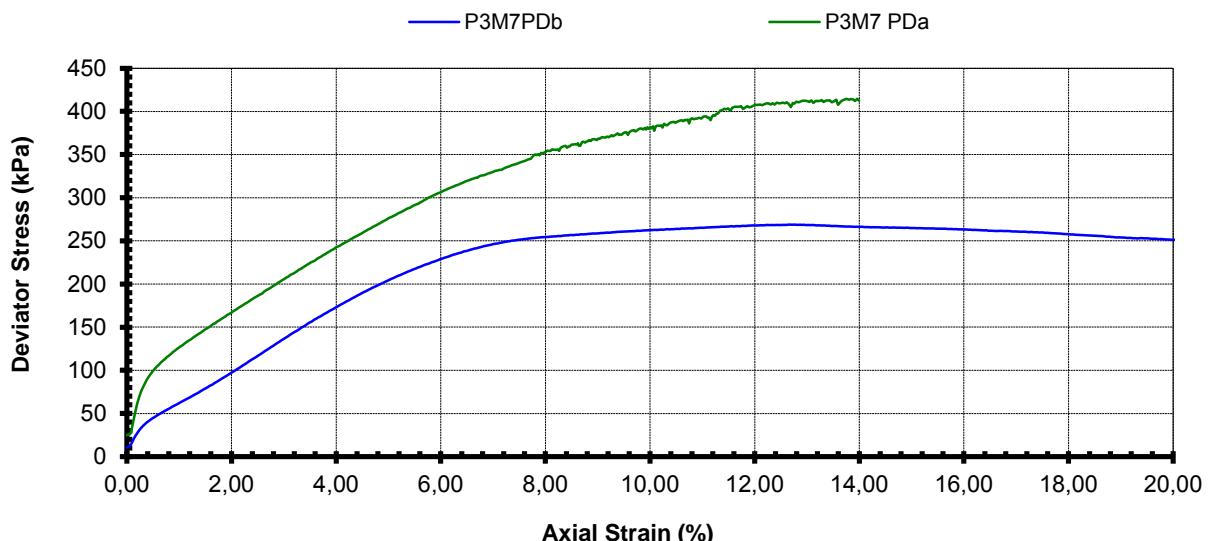


TORRES y VERCCELLI S.R.L.	Comitente :	Municipalidad de Rosario
	Obra :	Análisis de desl. de talud y proyecto de reconstrucción
	Ubicación :	Centro Cultural Parque de España. Rosario.

ENsayo TRIAXIAL
SATURADO CONSOLIDADO NO DRENADO (CU)

Muestra : P3M7 PD

Cota : +4,50 m. / +4,00 m.
 Profundidad : 6,00 m. / 6,50 m.



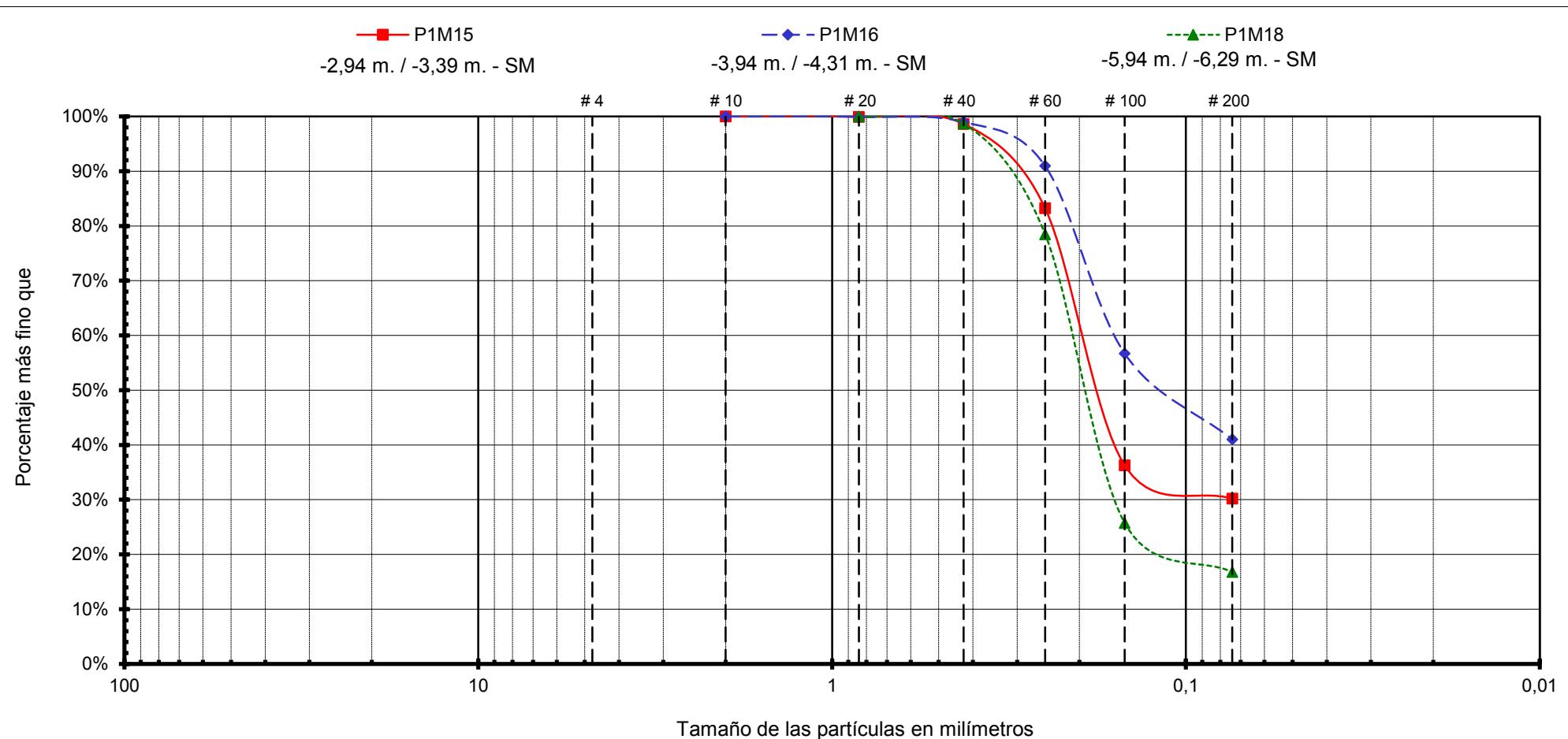
TORRES y VERCELLI S.R.L.	Comitente :	Municipalidad de Rosario
	Obra :	Análisis de desl. de talud y proyecto de reconstrucción
	Ubicación :	Centro Cultural Parque de España. Rosario.



TORRES y VERCELLI S.R.L.
CONSULTORES DE INGENIERIA
desde 1961

MECANICA DE SUELOS E INGENIERIA DE FUNDACIONES - MAIPU 548 - TEL/FAX (0341) 440 5979 - 424 1988 - S2000CGB ROSARIO
e-mail: tv@torresyvercelli.com.ar Web site: www.torresyvercelli.com.ar

ANEXO IV
CURVAS
REPRESENTATIVAS
DE ANÁLISIS
GRANULOMÉTRICO



Guijarros	Grava		Arena			Limos y Arcillas
	Gruesa	Fina	Gruesa	Mediana	Fina	

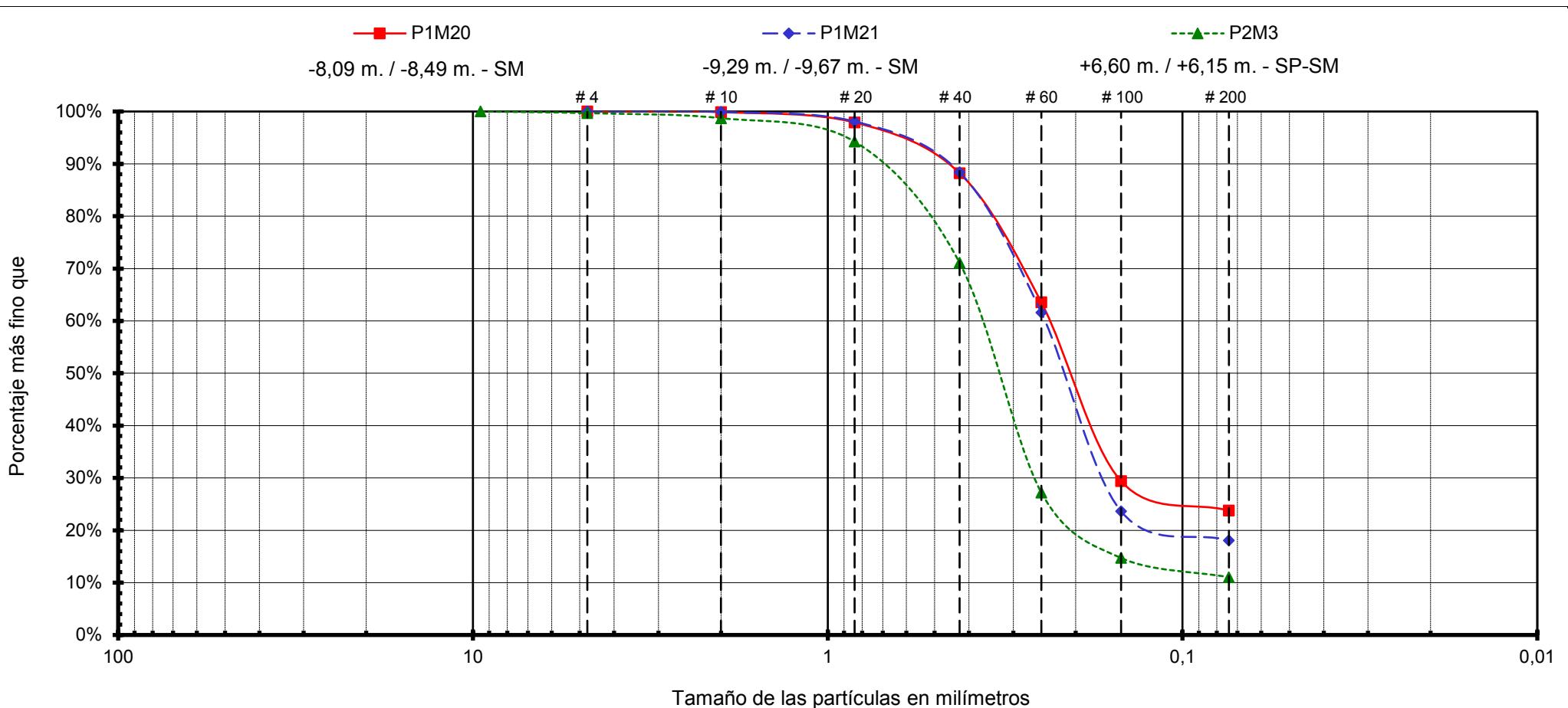
TORRES Y VERCELLI S.R.L.

Granulometría

Comitente : Municipalidad de Rosario

Obra : Análisis de deslizamiento de talud y proyecto de reconstrucción

Ubicación : Centro Cultural Parque de España. Rosario.



Guijarros	Grava		Arena			Limos y Arcillas
	Gruesa	Fina	Gresosa	Mediana	Fina	

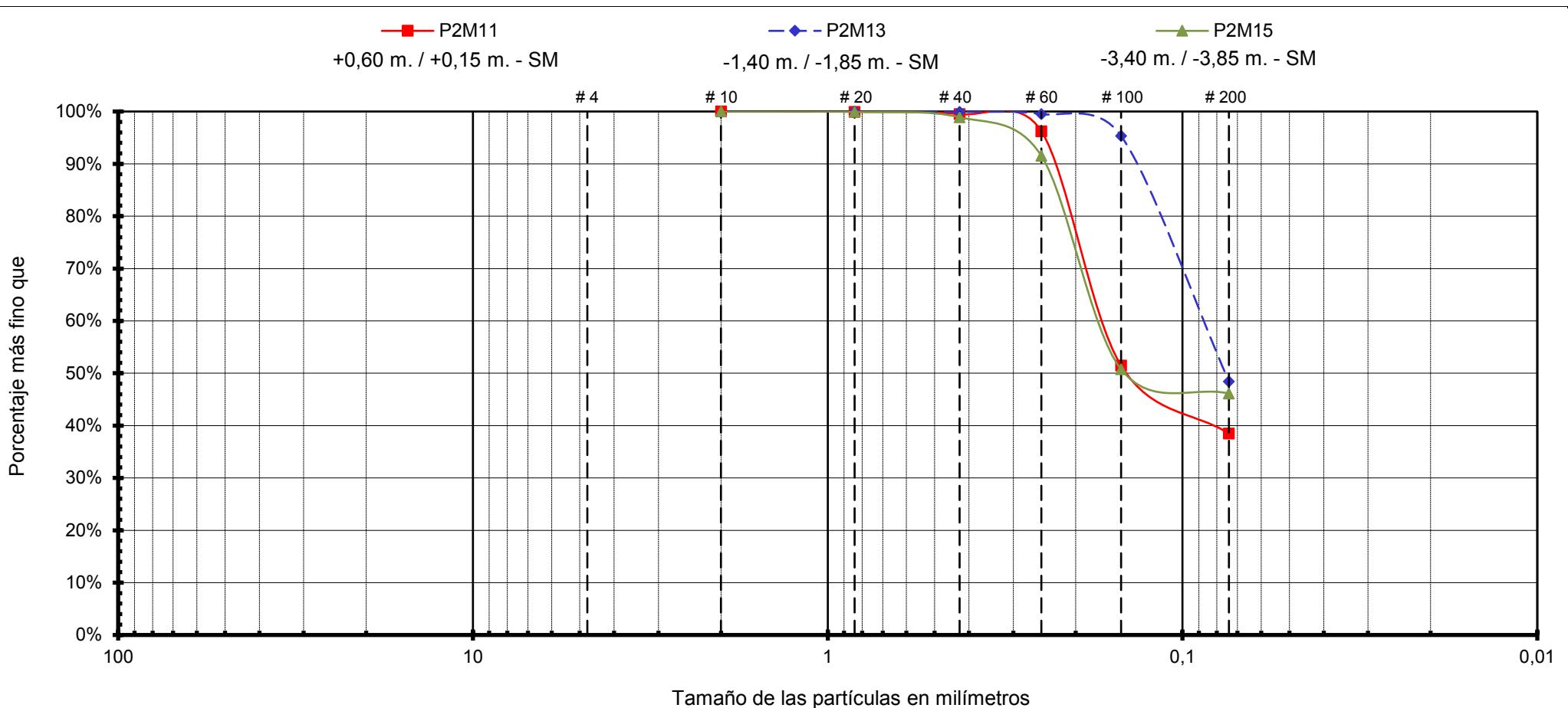
TORRES Y VERCCELLI S.R.L.

Granulometría

Comitente : Municipalidad de Rosario

Obra : Análisis de deslizamiento de talud y proyecto de reconstrucción

Ubicación : Centro Cultural Parque de España. Rosario.



Guijarros	Grava		Arena			Limos y Arcillas
	Gruesa	Fina	Gresosa	Mediana	Fina	

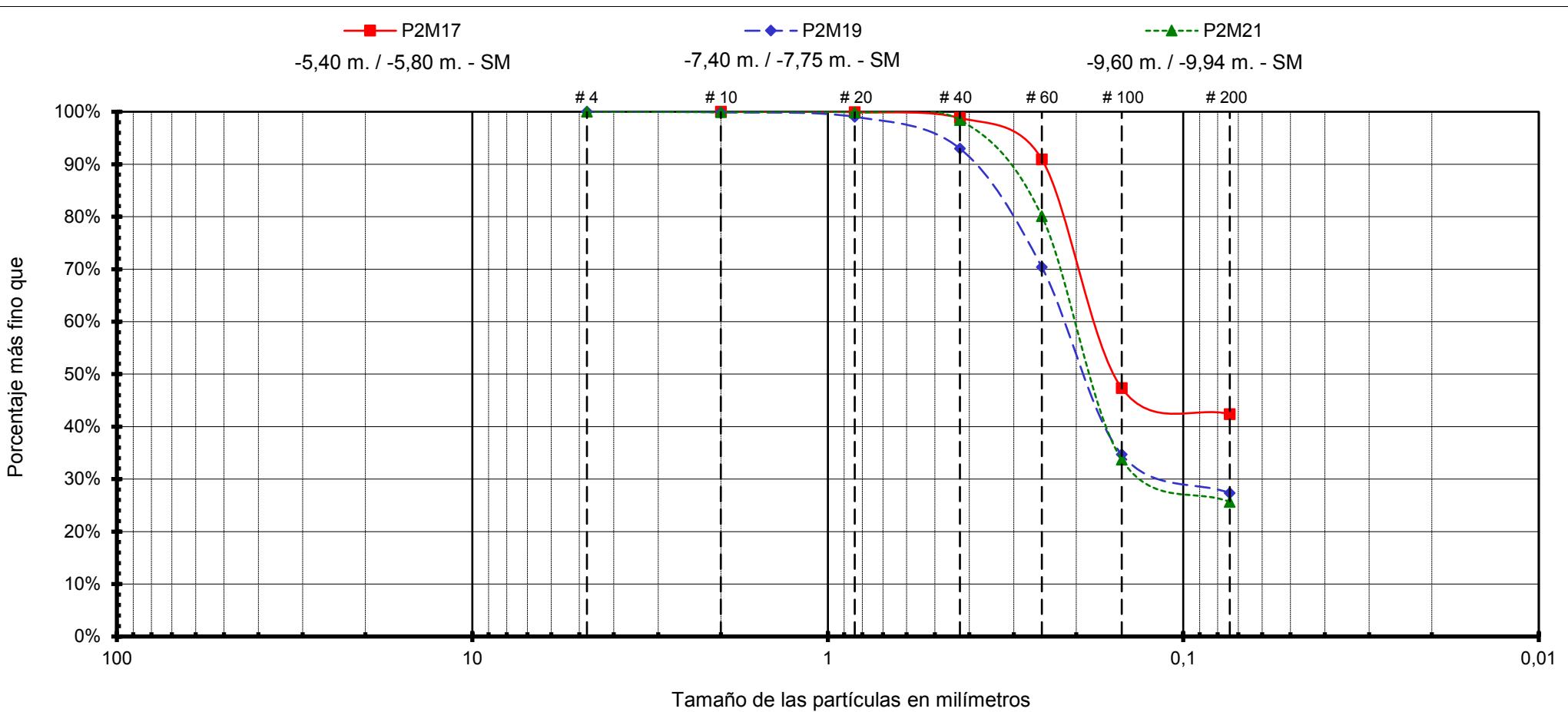
TORRES Y VERCCELLI S.R.L.

Granulometría

Comitente : Municipalidad de Rosario

Obra : Análisis de deslizamiento de talud y proyecto de reconstrucción

Ubicación : Centro Cultural Parque de España. Rosario.



Guijarros	Grava		Arena			Limos y Arcillas
	Gruesa	Fina	G	M	F	

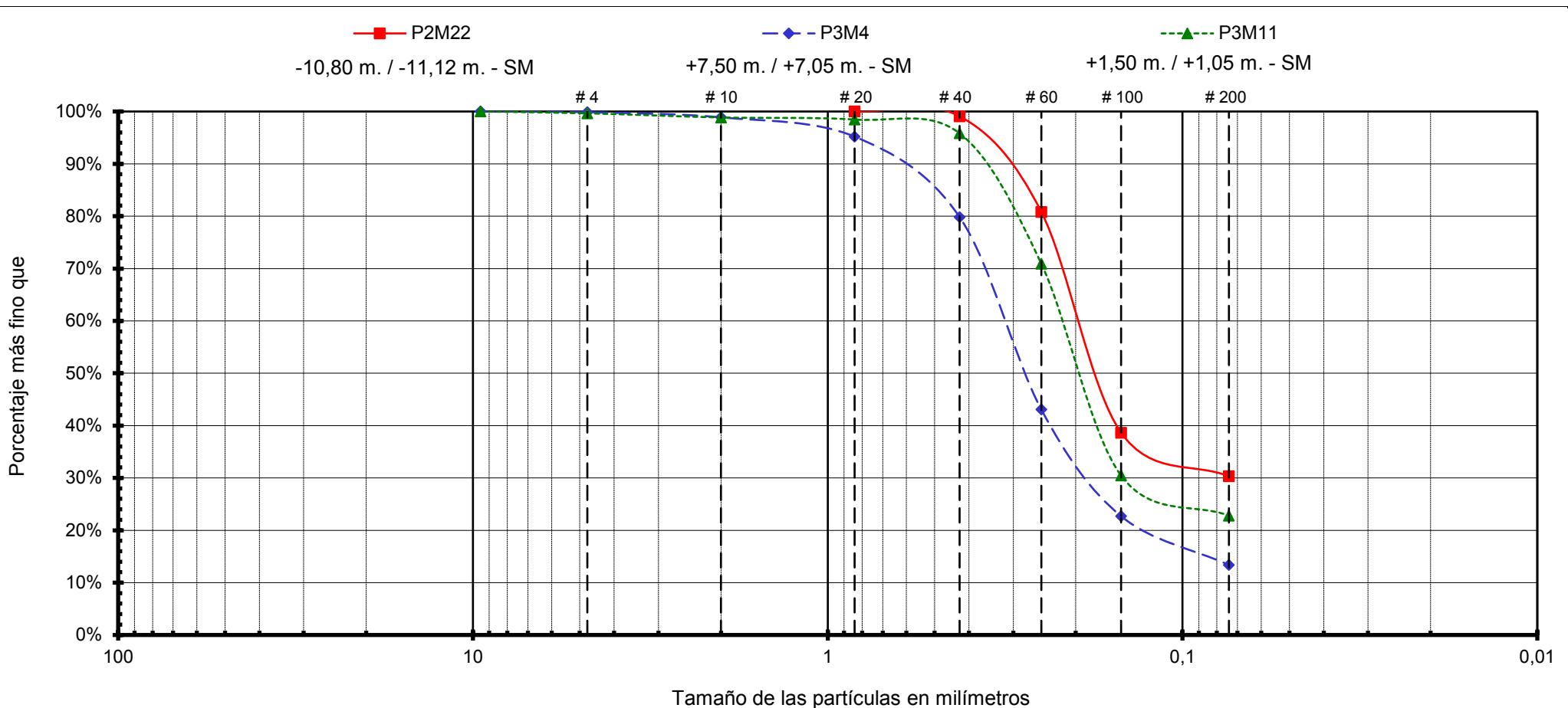
TORRES Y VERCCELLI S.R.L.

Granulometría

Comitente : Municipalidad de Rosario

Obra : Análisis de deslizamiento de talud y proyecto de reconstrucción

Ubicación : Centro Cultural Parque de España. Rosario.



Guijarros	Grava		Arena			Limos y Arcillas
	Gruesa	Fina	Gresosa	Mediana	Fina	

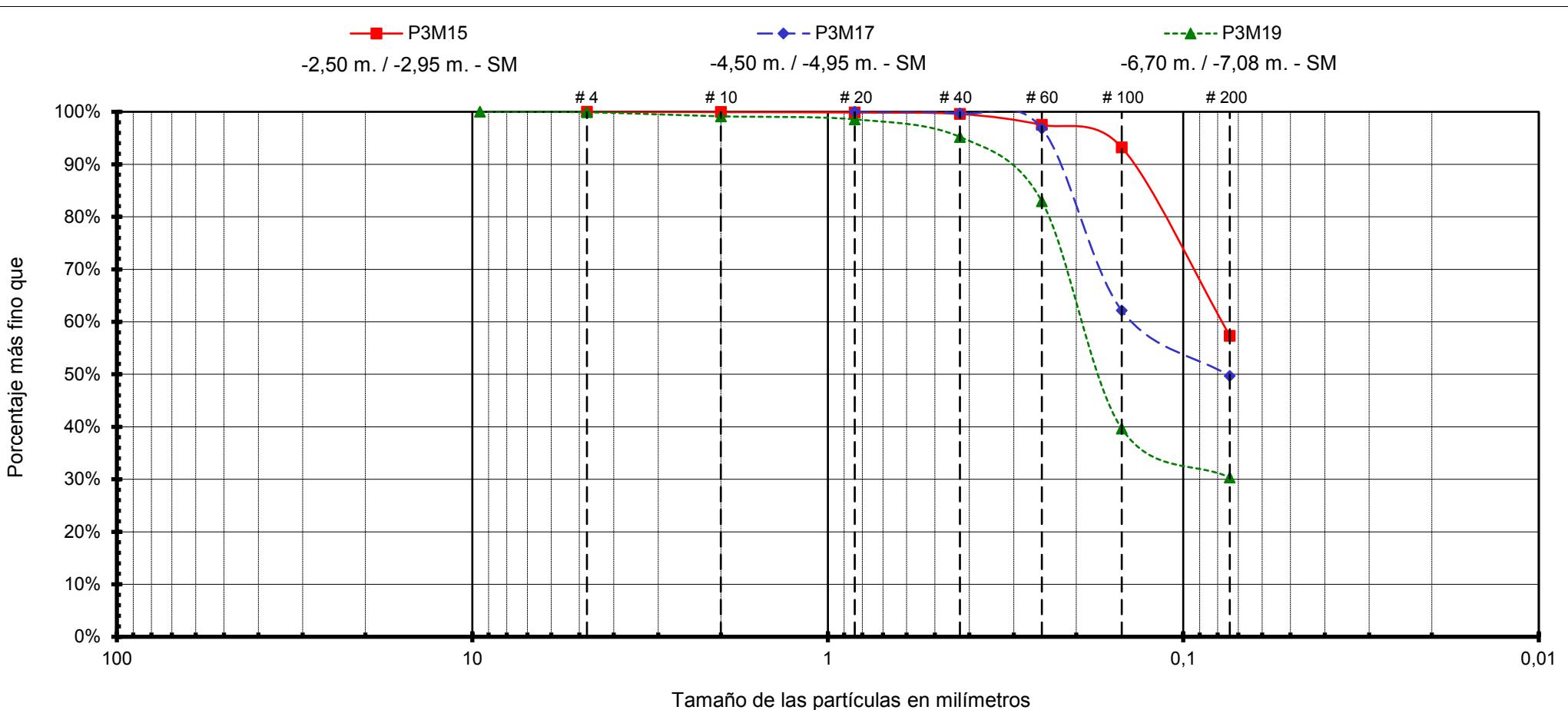
TORRES Y VERCCELLI S.R.L.

Granulometría

Comitente : Municipalidad de Rosario

Obra : Análisis de deslizamiento de talud y proyecto de reconstrucción

Ubicación : Centro Cultural Parque de España. Rosario.



Guijarros	Grava		Arena			Limos y Arcillas
	Gruesa	Fina	Gresosa	Mediana	Fina	

TORRES Y VERCCELLI S.R.L.

Granulometría

Comitente : Municipalidad de Rosario

Obra : Análisis de deslizamiento de talud y proyecto de reconstrucción

Ubicación : Centro Cultural Parque de España. Rosario.

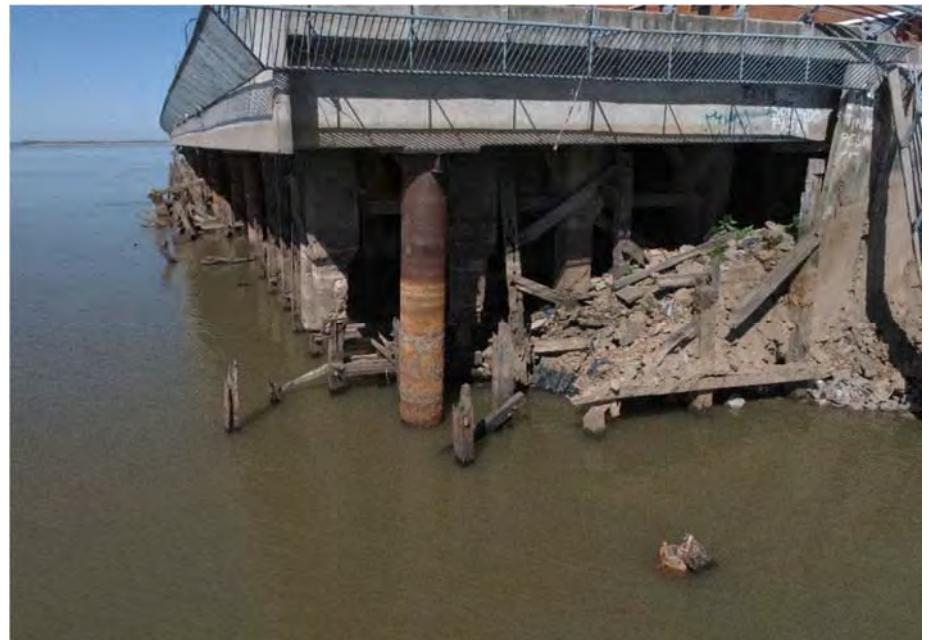
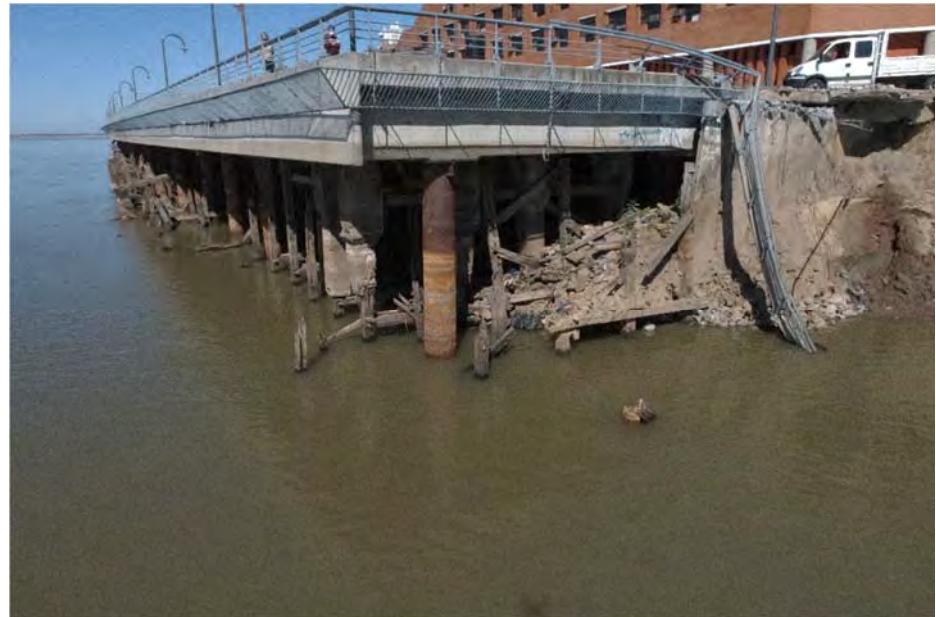


TORRES y VERCELLI S.R.L.
CONSULTORES DE INGENIERIA
desde 1961

MECANICA DE SUELOS E INGENIERIA DE FUNDACIONES - MAIPU 548 - TEL/FAX (0341) 440 5979 - 424 1988 - S2000CGB ROSARIO
e-mail: tv@torresyvercelli.com.ar Web site: www.torresyvercelli.com.ar

ANEXO V

DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA



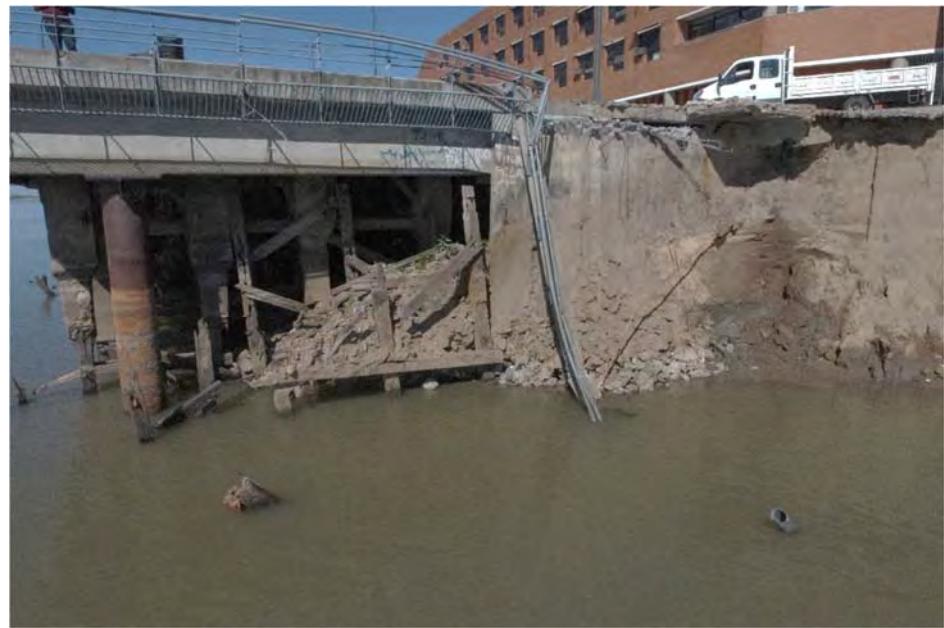
TORRES y VERCELLI S.R.L.

**DOCUMENTACIÓN
FOTOGRÁFICA**

COMITENTE: Municipalidad de Rosario

OBRA: Análisis de deslizamiento de talud y proy. de reconstr.

UBICACIÓN: Centro Cultural Parque de España. Rosario



TORRES y VERCELLI S.R.L.

**DOCUMENTACIÓN
FOTOGRÁFICA**

COMITENTE: Municipalidad de Rosario

OBRA: Análisis de deslizamiento de talud y proy. de reconstr.

UBICACIÓN: Centro Cultural Parque de España. Rosario



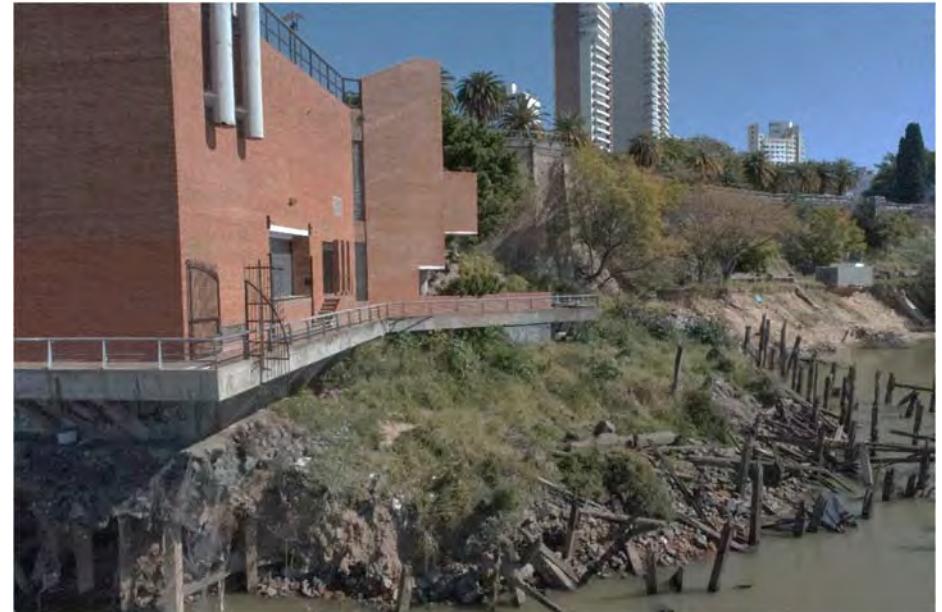
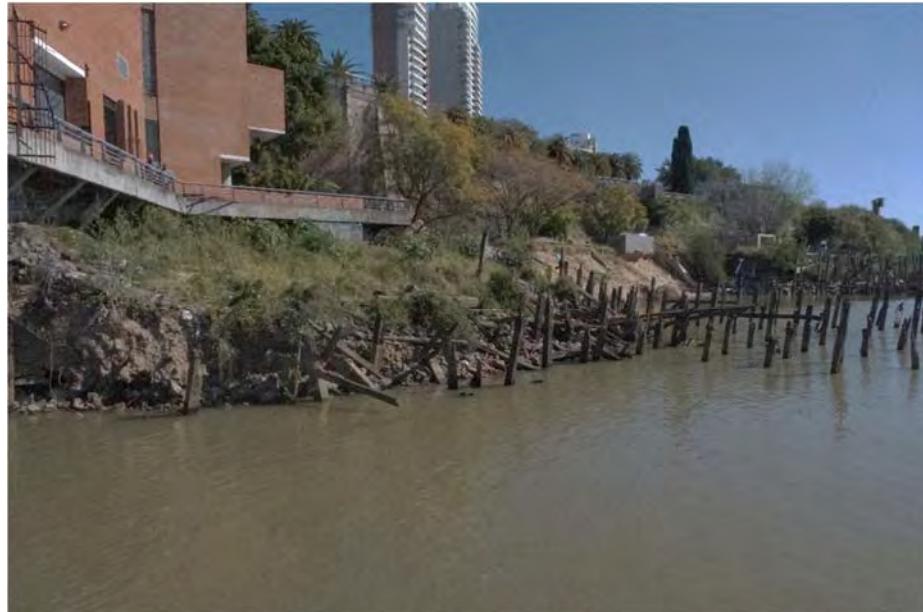
TORRES y VERCELLI S.R.L.

**DOCUMENTACIÓN
FOTOGRÁFICA**

COMITENTE: Municipalidad de Rosario

OBRA: Análisis de deslizamiento de talud y proy. de reconstr.

UBICACIÓN: Centro Cultural Parque de España. Rosario



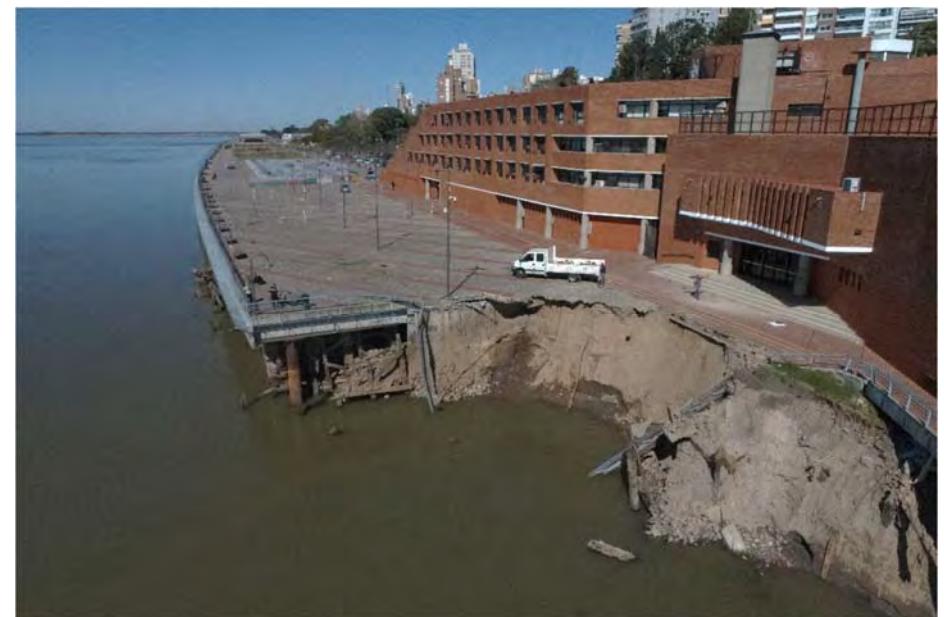
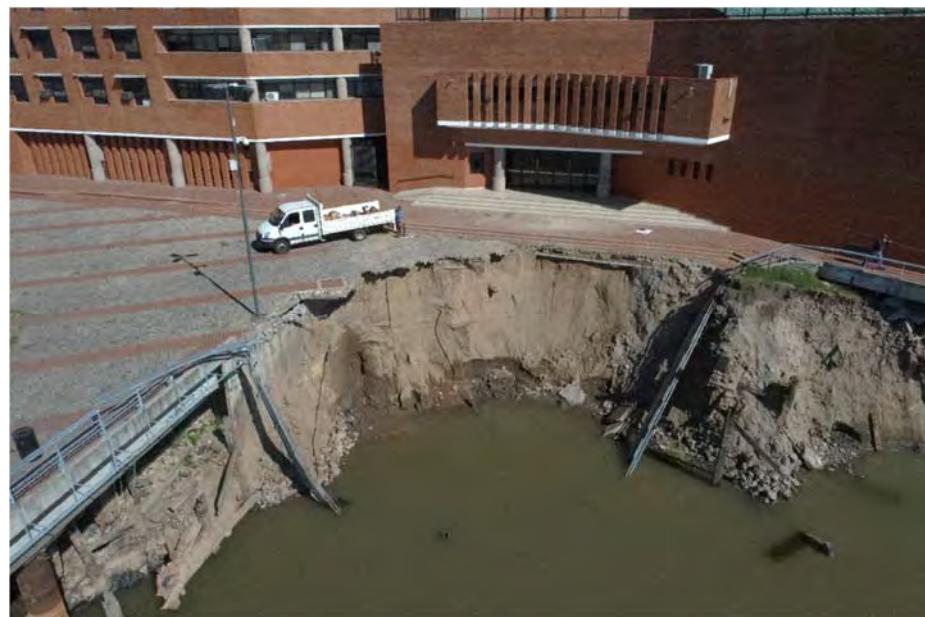
TORRES y VERCELLI S.R.L.

**DOCUMENTACIÓN
FOTOGRÁFICA**

COMITENTE: Municipalidad de Rosario

OBRA: Análisis de deslizamiento de talud y proy. de reconstr.

UBICACIÓN: Centro Cultural Parque de España. Rosario



TORRES y VERCELLI S.R.L.

**DOCUMENTACIÓN
FOTOGRÁFICA**

COMITENTE: Municipalidad de Rosario

OBRA: Análisis de deslizamiento de talud y proy. de reconstr.

UBICACIÓN: Centro Cultural Parque de España. Rosario



TORRES y VERCCELLI S.R.L.

**DOCUMENTACIÓN
FOTOGRÁFICA**

COMITENTE:	Municipalidad de Rosario
OBRA:	Análisis de deslizamiento de talud y proy. de reconstr.
UBICACIÓN:	Centro Cultural Parque de España. Rosario

Muestra P3M7 PD



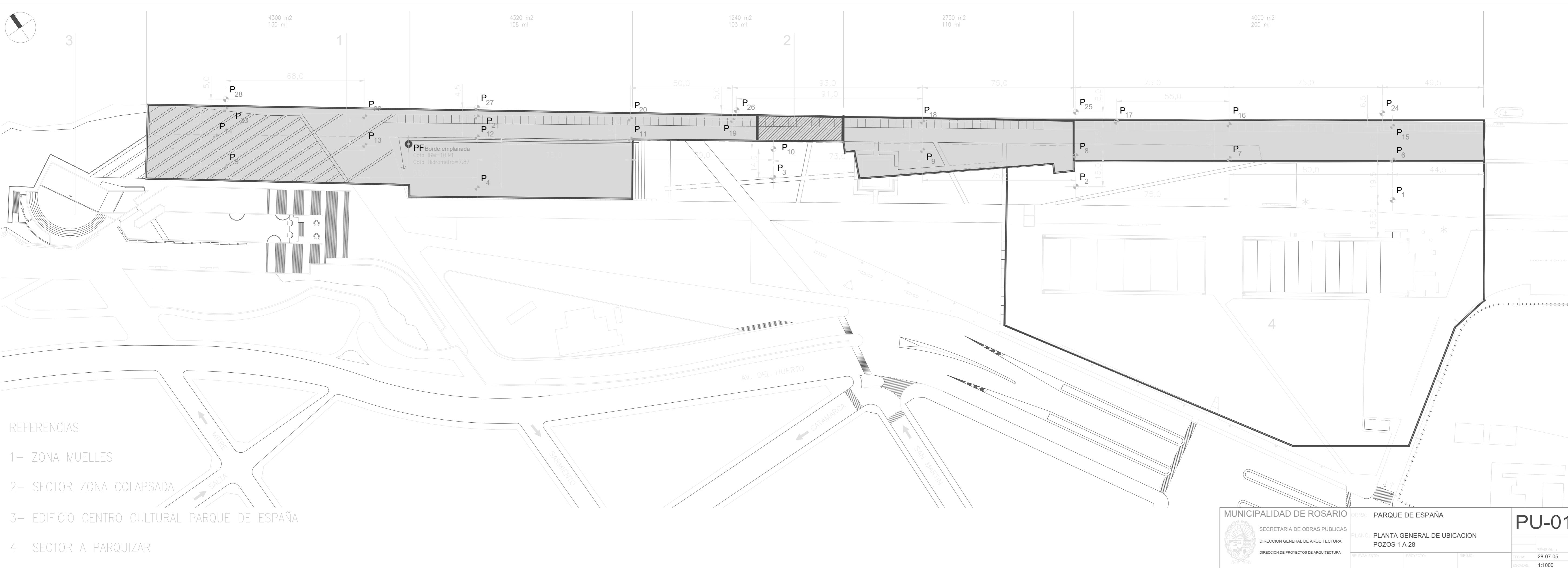
TORRES y VERCELLI S.R.L.

**DOCUMENTACIÓN
FOTOGRÁFICA**

COMITENTE: Municipalidad de Rosario

OBRA: Análisis de deslizamiento de talud y proy. de reconstr.

UBICACIÓN: Centro Cultural Parque de España. Rosario





Provincia de Santa Fe - Poder Ejecutivo
AÑO 2025 - 210 años del Congreso de los Pueblos Libres

**Hoja Adicional de Firmas
Anexo**

Número:

Referencia:

El documento fue importado por el sistema Timbó.

