

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

## INDICE MEMORIA TÉCNICA

<b>1</b>	<b>OBJETO DEL PROYECTO .....</b>	<b>4</b>
1.1	EL CONTEXTO FISICO Y URBANO .....	5
<b>2</b>	<b>RELEVAMIENTOS TOPOGRÁFICOS E HIDROMÉTRICOS .....</b>	<b>6</b>
2.1	EQUIPAMIENTO UTILIZADO .....	6
2.2	TRABAJOS DE CAMPO .....	9
2.3	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS .....	14
<b>3</b>	<b>ESTUDIOS GEOTÉCNICOS .....</b>	<b>16</b>
3.1	TAREAS REALIZADAS .....	16
3.1.1	<i>Campaña</i> .....	16
3.1.2	<i>Laboratorio</i> .....	19
3.2	DESCRIPCIÓN DE LOS PERFILES HALLADOS .....	19
3.2.1	<i>Perfil en tierra:</i> .....	20
3.2.2	<i>Perfil en agua:</i> .....	21
3.3	AGRESIVIDAD QUÍMICA HACIA LAS ESTRUCTURAS .....	21
3.4	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES .....	22
<b>4</b>	<b>ESTUDIOS MORFODINÁMICOS .....</b>	<b>29</b>
4.1	DESCRIPCIÓN MORFOLOGICA DEL RIO PARANA EN EL TRAMO EN ESTUDIO .....	29
4.1.1	<i>Ubicación de la localidad de Lavalle respecto al Río Paraná.</i> .....	29
4.1.2	<i>Propiedades morfométricas y morfológicas del Río Paraná en su tramo medio</i> .	29
4.1.3	<i>Modificaciones en la posición del thalweg y los cambios morfológicos del cauce</i>	31
4.2	EVOLUCIÓN MORFOLOGICA DEL RÍO EN LA LOCALIDAD DE LAVALLE .....	33
4.2.1	<i>Objetivo</i> .....	33
4.2.2	<i>Identificación de tendencias evolutivas</i> .....	33
4.2.2.1	<i>Aspectos Metodológicos</i> .....	33
4.2.3	<i>Resultados de las Determinaciones realizadas</i> .....	35
4.2.3.1	<i>Ancho del cauce</i> .....	35
4.2.3.2	<i>Sinuosidad del cauce</i> .....	37
4.2.3.3	<i>Desplazamientos de la margen izquierda</i> .....	39
4.2.4	<i>Análisis multitemporales</i> .....	44
4.2.5	<i>Identificación de tendencias evolutivas</i> .....	50
4.3	CONCLUSIONES .....	51

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

<b>5 ESTUDIOS HIDROLÓGICOS E HIDRAÚLICOS.....</b>	<b>52</b>
5.1 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE ALTURAS .....	52
5.2 DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES .....	57
5.3 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDRAÚLICO .....	59
5.4 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN HIDRAÚLICA.....	65
5.5 ESTUDIO DE EROSIÓN .....	71
<b>6 ESTUDIO DE OLEAJE Y CÁLCULO DE PROTECCIONES.....</b>	<b>77</b>
6.1 ESTUDIO DE VIENTOS .....	77
6.1.1 Rosa de los vientos.....	77
6.1.2 Permanencia de una hora.....	78
6.1.3 Permanencia de seis horas.....	78
6.2 CÁLCULO DEL OLEAJE .....	79
6.2.1 Consideraciones Generales.....	79
6.2.2 Situaciones analizadas.....	81
6.2.3 Determinación del fetch efectivo $D_p$ .....	81
6.2.4 Altura de la ola (Set-up).....	82
6.2.5 Resultados obtenidos.....	85
6.2.6 Calculo de altura de ola y marea eólica.....	85
6.2.7 Ascenso (Run-up) de la ola sobre el paramento mojado de la defensa.....	87
6.3 CÁLCULO DE LA PROTECCIÓN .....	90
6.3.1 Cálculo por oleaje de la cubierta flexible .....	90
6.3.2 Cálculo por oleaje de la cubierta con bloques intertrabados.....	92
6.3.3 Verificación por efecto de la corriente .....	94
<b>7 DISEÑO DE LA PROTECCIÓN.....</b>	<b>95</b>
7.1 DISEÑO DE LA PROTECCIÓN FLEXIBLE.....	96
7.2 DISEÑO ESTRUCTURAL.....	102
7.2.1 Estabilidad global de la obra .....	102
7.2.2 Cálculo de la resistencia del geotextil.....	104
7.2.3 Cálculos de estructuras de hormigón armado .....	104
<b>8 CÓMPUTOS MÉTRICOS, ANÁLISIS DE PRECIOS Y PRESUPUESTOS.....</b>	<b>105</b>

#### LISTADO DE ANEXOS

ANEXO 1	EL SITIO
ANEXO 2	RELEVAMIENTOS TOPOGRÁFICOS E HIDROMÉTRICO
ANEXO 3	ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

ANEXO 4	ESTUDIOS MORFODINÁMICOS
ANEXO 5	ESTUDIOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS
ANEXO 6	ESTUDIO DE OLEAJE

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

## PROYECTO: DEFENSA DE COSTA de la ciudad de LAVALLE, Pcia. de CORRIENTES

### MEMORIA TÉCNICA

#### 1 OBJETO DEL PROYECTO

Se trata de materializar un control que contemple soluciones al problema de erosión de margen y retroceso de la barranca ubicada en la margen izquierda del río Paraná en el entorno del área urbanizada de la Localidad de Lavalle Provincia de Corrientes.

El tramo a estudiar es de una extensión de 1,73 km y se encuentra aguas arriba de la traza prevista para la Conexión Vial Reconquista-Goya. Las obras que se desarrollarán podrán cubrir total o parcialmente la longitud aquí definida. Su ubicación preliminar puede observarse en la imagen que está abajo.

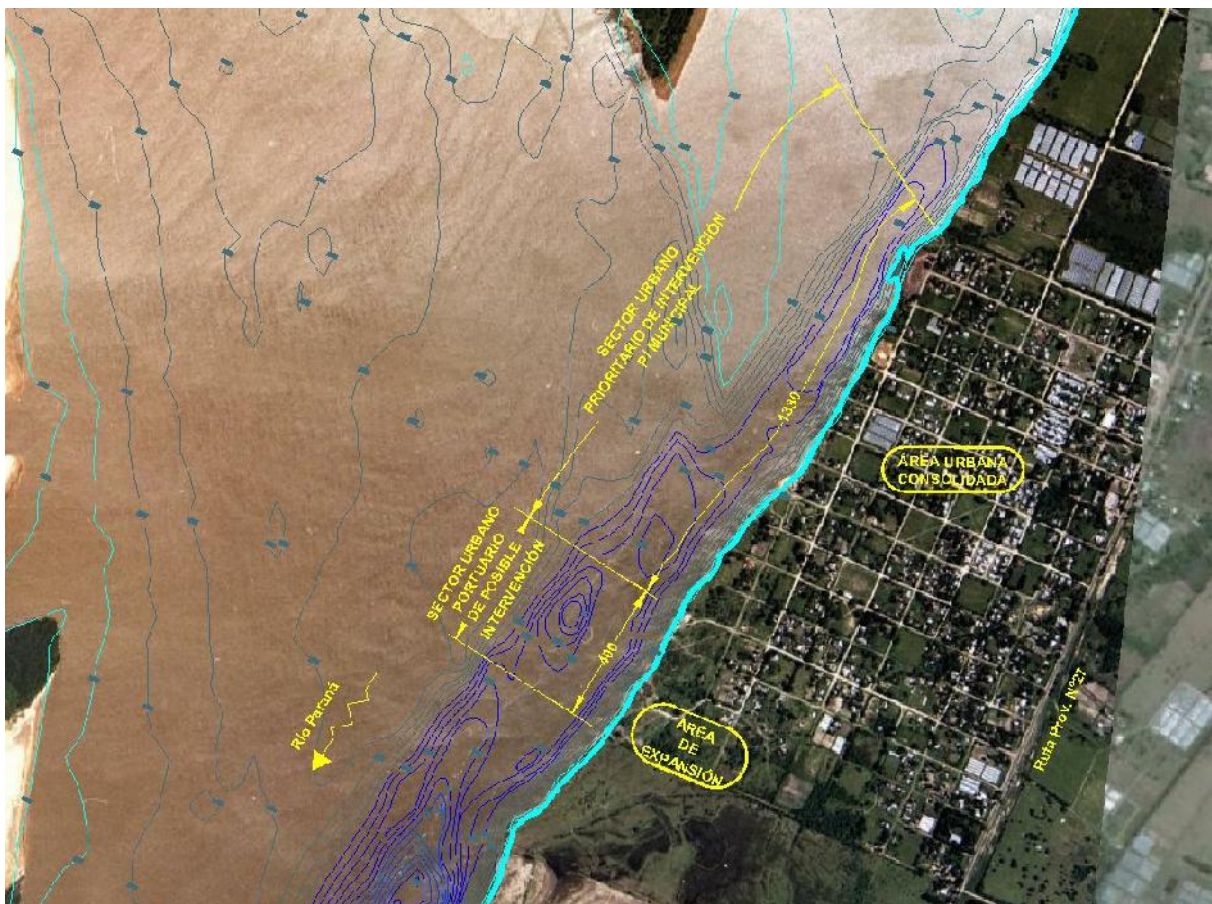


Fig. 1.1. Imagen de la ciudad de Lavalle y sectores de la costa.



Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

La costa del río Paraná a la altura de la localidad de Lavalle ha sufrido un proceso erosivo severo durante los últimos 60 años, lo que produjo un retroceso de la margen con la pérdida de un territorio que se encontraba entre la población y el río, en un ancho variable que llegó hasta un máximo de unos 800m en la zona central de la ciudad, durante este período.

Este proceso erosivo de la costa sigue la evolución natural hacia aguas abajo, por lo que se ha verificado que la situación se ha estabilizado en la zona norte de Lavalle, pero actualmente se mantiene con un cierto grado de actividad en la zona sur de la ciudad.

Este fenómeno es actualmente activo en el frente costero urbano de la ciudad de Lavalle, principalmente en la zona centro sur, y está influenciado por las mayores profundidades que se dan sobre la costa.

La mayor parte de la costa urbana que comprende el área urbana consolidada se extiende desde el norte con una longitud de 1.300 m, y hacia el sur se encuentra un área de expansión urbana con una longitud de costa de 400m, definida en el PEDUAC (Plan Estratégico de Desarrollo Ambiental Urbano de la Provincia de Corrientes) como zona de uso portuario.

En este sentido las autoridades municipales manifestaron el deseo de que se defienda tanto el área consolidada como el área de expansión, pero quedó en claro que el área prioritaria de intervención es el área urbana consolidada y es también su interés principal.

## 1.1 EL CONTEXTO FÍSICO Y URBANO

La información relativa a la ciudad se encuentra detalladamente descrita en el informe del PEDUAC de junio del 2008 relativo al Municipio del Lavalle, el cual fuera aprobado por el Concejo Deliberante de Lavalle. En el mismo se hace un extenso análisis del contexto físico y social del municipio de Lavalle. Todo esta información fue analizada y se utilizó como antecedente fundamental del estudio realizado.

Cabe destacar que la población del municipio según el censo del 2001 era de 4758 habitantes, de los cuales solo 2310 correspondían al área urbana, menos del 50%.

En dicho plan se establece el uso del suelo para los distintos sectores del área urbana, el cual se puede observar en el plano del Anexo 1. Esta regulación del territorio fue aprobada por el Concejo Deliberante de la Localidad de Lavalle. En el Anexo 1 se presenta una reseña fotográfica de la zona de estudio.

Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

## 2 RELEVAMIENTOS TOPOGRÁFICOS E HIDROMÉTRICOS

En este informe se presentan las mediciones de campo realizadas, su planificación, el procesamiento y los resultados de los trabajos realizados. En una primer etapa se realizaron las mediciones topobatimétricas de caudales y determinación de líneas de corriente, en un tramo del río Paraná frente a la localidad de Lavalle, con equipos especiales para tal fin.

Previa a la ejecución de las tareas de campo, se realizó una planificación de las mismas, de manera de cumplir con las mediciones encomendadas que eran: un relevamiento batimétrico general del río Paraná con una extensión de aproximadamente 6 km. y con perfiles transversales cada 200 m; un relevamiento batimétrico detallado con una extensión de aproximadamente 1500 m en la localidad de Lavalle con perfiles transversales cada 50m.; un relevamiento topográfico de la margen en la misma extensión que el anterior también con perfiles cada 50 m.; medición de caudales en tres secciones y determinación de líneas de corrientes.

Para programar estos trabajos se obtuvo imágenes satelitales del “Google Earth” con buena resolución, las que se referenciaron y escalaron. Estas imágenes sirvieron de base para la confección de una carta digital, donde se marcó el inicio y finalización del relevamiento, los perfiles batimétricos a realizar, las márgenes, las secciones de aforos el área de realización de la corrida de flotadores y todo otro detalle que serviría de guía para las tareas de campo.

Para referenciar las imágenes, como para el relevamiento, se decidió utilizar el sistema de coordenadas obtenido de la proyección Gauss – Kruger, utilizando el elipsoide WGS 84.

Una segunda etapa comprendió relevamientos más detallados de toda la costa, con la ejecución de 4 perfiles transversales por cuadra, y colocación de una red de puntos fijos.

### 2.1 EQUIPAMIENTO UTILIZADO

Las tareas de campo se realizaron con el siguiente equipamiento:

- Embarcación hidrográfica “Azimut” de 6m de eslora x 2m de manga, con motor de 70HP.

Esta embarcación está equipada con:

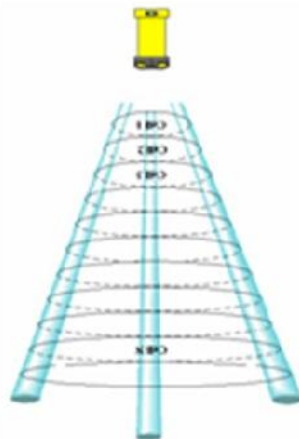
- Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS), compuesto por una estación de referencia, un navegador y radios modems para la transmisión de correcciones diferenciales a tiempo real.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes



**Foto. 2.1.** Embarcación hidrográfica "Azimut".

- Sonda ecógrafa de 200 MHz con salida digital y gráfica.
- Perfilador Acústico Doppler: para medición de velocidades.



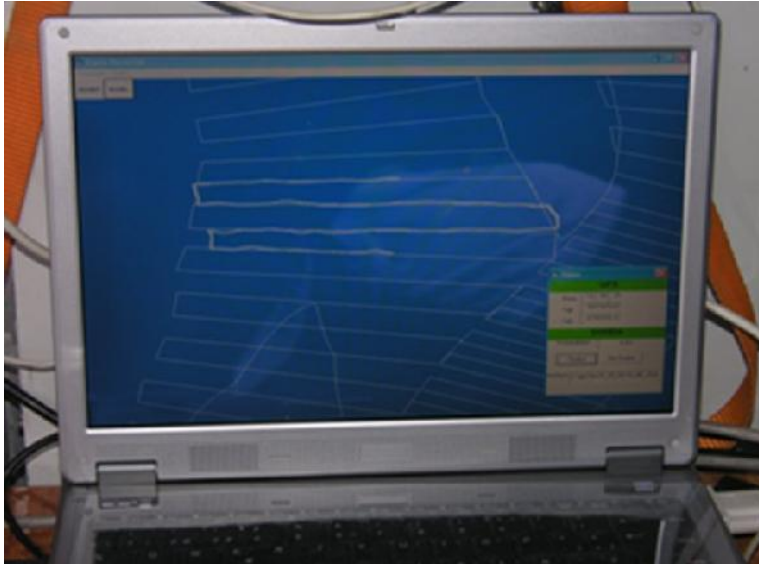
**Fotos y Figura. 2.2.** Perfilador Acústico Doppler.

- PC para el manejo del instrumental y software que permite la visualización a tiempo real del recorrido de la embarcación en carta digital, permite grabar los archivos de



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

campo y trabajar con dos softwares distintos al mismo tiempo con conexión de equipos a distintos puertos series.



**Fotos 2.3.** Equipamiento interior de la embarcación.

- Software River Surveyor: para cómputo de caudales.
- Flotadores lastrados.

**Foto 2.4.** Flotador lastrado.

- Grupos Generadores de Energía (marca HONDA EM 2500 y EM 650).



- Sistema GPS (Sistema de Posicionamiento Global) RTK (Cinemático a Tiempo Real) de doble frecuencia, compuesto por:
  - Dos receptores de doble frecuencia
  - Un equipo de radio modem completo para receptor base
  - Un equipo radio modem completo para receptor móvil
  - Software de oficina.



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

Precisión método RTK: en posición: 1 cm +1 ppm

vertical: 2 cm + 1 ppm



**Fotos 2.5.** Equipamiento Sistema de Posicionamiento Global, GPS.

## 2.2 TRABAJOS DE CAMPO

Las tareas de campo se realizaron a fines de Octubre de 2008 efectuándose relevamiento batimétrico, topografía de la margen izquierda, medición de caudales y líneas de corrientes mediante una corrida de flotadores.

**Foto 2.6.** Mojón IGM, PF6N 156.



Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

Todas las tareas de campo se realizaron con posicionamiento a través de sistemas con GPS mediante el método Cinemático a Tiempo Real (RTK), esto implicó tener un punto de arranque de coordenadas conocidas para establecer la Estación de Referencia. Para ello se partió de un Mojón del IGM, el PF6N 156 con las siguientes características.

**Tabla 2.1.** Datos PF6N 156

Punto	Latitud	Longitud	Cota	X (m.)	Y (m.)	Tipo
PF6N156	29° 02' 53.71282"S	59° 09' 45.52862"O	43.664	6787058.80	5581554.40	Mojón IGM

A partir de este punto (mojón IGM) se determinaron las coordenadas de la Estación de Referencia ubicada en la plaza de Lavalle, la que permaneció invariable a lo largo de todo el relevamiento. La cota ortométrica de este, permitió establecer la diferencia entre elipsoide y geoide, la que se utilizó posteriormente para la determinación de las cotas.



**Foto 2.7.** Estación de Referencia GPS.

El relevamiento batimétrico se efectuó realizando perfiles transversales según tres espaciamientos diferentes:

- Un relevamiento general con perfiles transversales cada 200 m., en todo el ancho del río Paraná, desde aproximadamente unos 2300 m. aguas abajo de Lavalle, hasta unos 4500 m. aguas arriba, con una extensión total de 6800 m.
- Un relevamiento intermedio con perfiles transversales cada 100 m., en un ancho de 1000 m. aprox. desde la margen izquierda (Lavalle), abarcando una longitud total de 1500 m.
- Un relevamiento con perfiles transversales cada 100 m intercalados con los anteriores de manera de cubrir un detalle con perfiles cada 50 m en un ancho de aprox. 300 m en la costa de Lavalle en una longitud total de 1500 m.

Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

Estos perfiles se recorrieron tomando posición planimétrica con equipos GPS (en forma diferencial método RTK) y profundidad con sonda ecógrafa. Durante el relevamiento se visualizaba la traza de cada perfil y el recorrido de la embarcación, a tiempo real, en la carta digital, grabando posición y profundidad cada 2 segundos.

Otra de las tareas fue la planialtimetría de la margen izquierda, en una extensión de aprox. 1500 m. sobre la costa de Lavalle, realizando perfiles cada 50 m de manera de continuar los perfiles batimétricos, determinando el nivel de agua y las cotas del terreno natural, estos trabajos se ejecutaron con equipos GPS a través del método Cinemático a Tiempo Real (RTK).

También se posicionaron y acotaron las perforaciones realizadas en la costa y el punto de vinculación que se dejó para vinculación de los pozos en agua. Se colocaron y acotaron 2 puntos fijos de H<sup>0</sup>, uno en la plaza de Lavalle y el otro en el extremo norte de esta localidad.



**Fotos 2.8.** Izquierda Punto Fijo 1 (Plaza). Derecha Punto Fijo 2 (Norte Lavalle).

Puntos Fijos	X (m)	Y (m)	Cota (m)
Punto Fijo 1	6789418.28	5579163.97	38.132
Punto Fijo 2	6790160.78	5579582.59	39.555



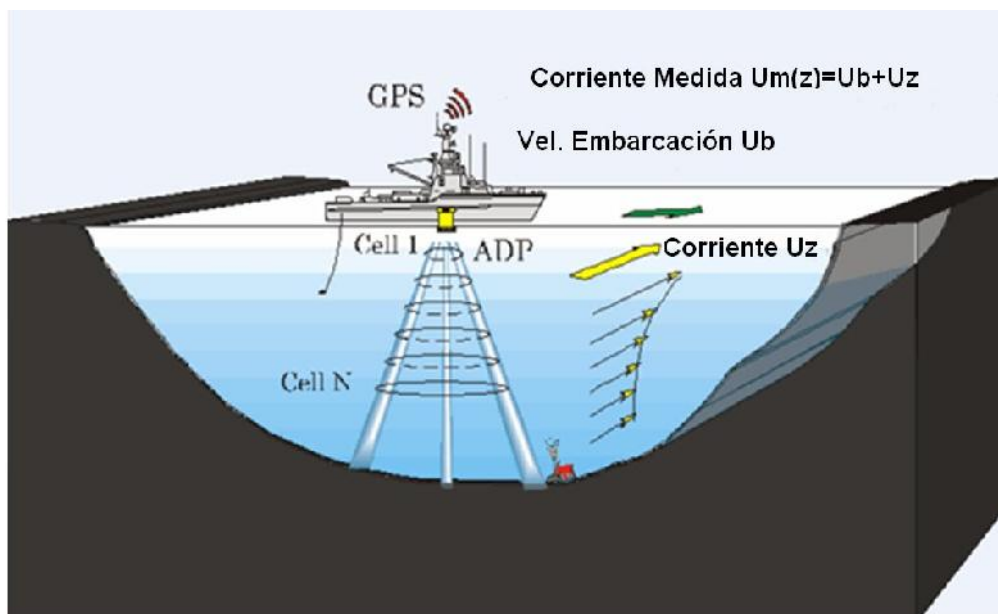
Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

**Tabla 2.2.** Datos Puntos Fijos de Relevamiento.

Se realizaron 3 mediciones de caudales sobre 3 secciones en el Paraná, 1 en el brazo de margen izquierda, 1 en el brazo de margen derecha y 1 aguas abajo de estas donde se unen los dos brazos, con el Perfilador Acústico Doppler (ADP).

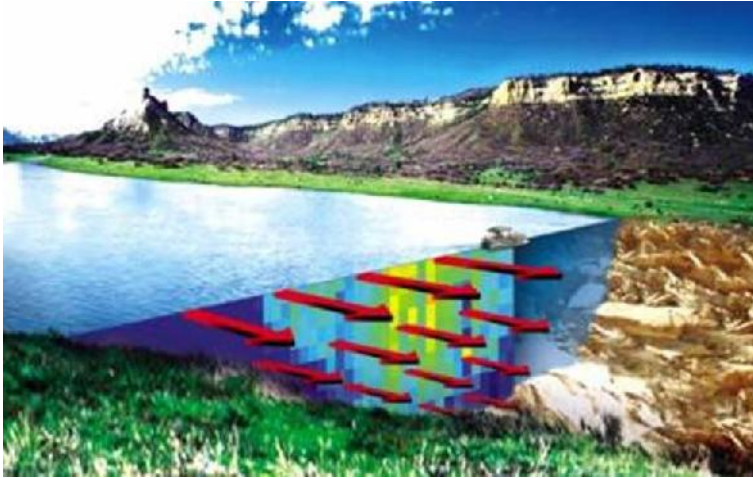


**Figura 2.1.** Ubicación de las Secciones de Aforo.



**Figura 2.2.** Esquema del funcionamiento del ADP.

Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes



**Figura 2.3.** Esquema gráfico de velocidades y caudales mediante ADP.

Para la realización de los aforos, se utilizaron 2 softwares distintos. Uno de ubicación planimétrica, donde se visualizaba a tiempo real el recorrido de la embarcación con respecto al perfil planificado. El otro específico del Perfilador Acústico Doppler (RIVER SURVEYOR V 4.50), el cual fue programado para que reciba información cada 10 segundos y a distintas profundidades (tamaño de celda), determinando un perfil de velocidades a cada intervalo de tiempo, y calculando las velocidades medias en cada vertical, los caudales parciales y totales, etc,. Toda esta información fue posicionada a través de DGPS.

Para la determinación de líneas de corriente, se realizaron dos corridas de flotadores, arrojándose 5 en una sección en el brazo de margen izquierda y 8 en una sección sobre el brazo de margen derecha. Los mismos fueron seguidos por la embarcación y posicionados a distintos intervalos de tiempo, marcando de esta manera las líneas de corriente.

En la segunda etapa de relevamientos, realizada en marzo de 2009 se tomaron perfiles transversales, a razón de 4 por cuadra, con un total de unos 50 perfiles, uno en coincidencia con el centro de cada calle que llega a la costa y tres intermedios, aproximadamente cada 27m. Con una longitud de hasta unos 20 m por detrás del borde superior de la barranca. En estos perfiles se identificaron distintos puntos característicos del terreno como el borde superior y el borde inferior de la barranca, en muchos casos vertical. Además de los sitios en coincidencia con los perfiles se realizó el relevamiento del borde superior de la barranca, para ello cada 10m se tomaron puntos del borde superior de la barranca.

También se realizó el relevamiento de desagües pluviales y de las esquinas de las calles más cercanas a la costa. En cada esquina cercana a la costa se relevaron el cruce de los ejes de calles y los vértices de las líneas de edificación. Además en caso de bajadas de la

Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

calle a la costa además del perfil por el centro de la calle se tomaron puntos del borde superior de barranca cercano.

Se realizaron relevamientos de hechos existentes como zanjas de desagües desde la esquina más cercana hasta la costa, con perfiles cada 25m, también se tomaron tubos y alcantarillas que cruzan la calle paralela a la costa o la transversal en estas esquinas, relevando las cotas de desagües en los extremos, diámetros y características. Además se realizó el relevamiento de construcciones ubicadas a menos de 20m del borde superior de la barranca, cercos, postes, mangas, y cualquier infraestructura, aunque en general las casas están ubicadas a más distancia.

También se tomaron perfiles transversales de pequeños cursos de agua que llegan a la costa y que se encuentran en el inicio y al final del tramo, en este caso se extendió el relevamiento por estos cursos unos 50m.

Todos los puntos fueron relevados con coordenadas X,Y,Z y descripción en el caso de que se trate de fondo de zanja, construcción, alambrado u otro hecho particular relevado. Planimétricamente se vincularon a Red Posgar, y altimétricamente a cota IGM.

Se completó la colocación de 5 puntos fijos adicionales de Hormigón, cada 200m, realizados in situ, excavados 50cm, con un caño de PVC de 110 mm en su parte superior y un hierro que sobresale 1cm del hormigón, los cuales fueron tomados con GPS con precisión.. De este modo se formó con los dos previamente colocados una red de siete puntos fijos con cotas IGM y Coordenadas Gaus Krugger. Se realizó la nivelación de la red de puntos fijos. Nivelación ida y vuelta. La cual se encuentra vinculada a cota IGM.

### **2.3 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN Y RESULTADOS OBTENIDOS**

Las mediciones de campo se realizaron en un mismo sistema, que utiliza el elipsoide WGS 84, semieje mayor 6378137 y aplastamiento 1/298.2572236, y que posteriormente mediante softwares específicos (Leica Geo Office y otros), fueron calculadas las coordenadas planas X, Y a través de la proyección Gauss Kruger (faja 5 meridiano central 60°).

En cuanto a la determinación de profundidades, los sondajes fueron llevados a cotas (m. IGM) a través de la determinación de la cota de pelo de agua del día y lugar del relevamiento.



Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

Con la ayuda de un software específico se trazaron las curvas batimétricas con equidistancias cada 2 m, las que se volcaron en el plano, donde también se grafica el recorrido de la embarcación en los distintos perfiles.

Las imágenes satelitales referenciadas se utilizaron como apoyo cartográfico para digitalizar y ubicar las márgenes, edificaciones y caminos auxiliares.

Mediante la ayuda de software (desarrollo propio), la posición de cada vertical fue llevada a coordenadas planas y con la velocidad media, dirección y módulo de escala, se graficó cada sección de aforo en los respectivos planos, pudiéndose visualizar en ellos la ubicación en planta de las distintas secciones de aforos y los vectores de velocidad media de cada vertical.

También se presentan distintas figuras, obtenidas mediante la impresión de la pantalla del “River Surveyor” donde se pueden ver: sección transversal coloreada en distintos tonos en función de las velocidades, vectores de velocidades medias, caudales, etc.

Con la posición y el tiempo medido para cada flotador se calcularon las velocidades de corriente en cada subtramo, y se graficaron las líneas de corriente.

Con toda esta información se confeccionó un plano con el relevamiento general en escala 1:10.000 y los aforos realizados y las líneas de corrientes. Esta información sirvió además la ejecución de la modelación hidráulica y para levantar los perfiles transversales de las alternativas de obra.

En el Anexo 2 se presenta el plano con los aforos, líneas de corrientes y relevamientos, las planillas con los datos de relevamientos y las planillas con los datos de los aforos realizados.

Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

### 3 ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

#### 3.1 TAREAS REALIZADAS

La campaña de estudios geotécnicos se realizó durante el mes de octubre del año 2008. Comenzando por las perforaciones en tierra y se continuó por las de agua, para lo que se armo un pontón que se uso como plataforma de trabajo.

##### 3.1.1 Campaña

En la campaña se ejecutaron 8 auscultaciones en tierra, identificadas como T1 a T8, con profundidades de 13 a 17m, y 5 auscultaciones en agua, identificadas como A1 a A5, de 25,00 m de profundidad cada una. En todos sondeos se efectuaron ensayos de Penetración normalizada (S.P.T.) en cada metro perforado, mediante la hincada de un sacamuestras de zapata intercambiable tipo Moretto ó Terzaghi según el tipo de material atravesado.

Pozos en Tierra	
N° de Perf.	Longitud
T1	13m
T2	14m
T3	15m
T4	17m
T5	16m
T6	15m
T7	15m
T8	13m

Pozos en Agua	
N° de Perf.	Longitud
T1	25m
T2	25m
T3	25m
T4	25m
T5	25m

#### METROS DE PERFORACIÓN

Pozos en agua: 5 pozos = 125m

Pozos en tierra: 8 pozos = 118m

**Tablas 3.1.** Listado de perforaciones realizadas.

En todas las perforaciones se extrajeron testigos indisturbados, por cada metro de perforación, a efectos de evaluar los parámetros de corte de los estratos y su capacidad resistente. Se recuperaron además muestras alteradas, también en cada metro de perforación, a efectos de reconstruir la secuencia estratigráfica, mediante ensayos de identificación física, de las que se derivaron algunas para la evaluación de la reactividad química. En el gráfico siguiente se observa la ubicación de estos sondeos.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes



Figura 3.1. Ubicación de las perforaciones realizadas.



Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

La ubicación precisa de estos pozos puede verse en el plano adjunto en el Anexo 3, junto con las planillas de las perforaciones y los análisis químicos realizados a las muestras de suelo.



**Fotos 3.1.** Avance de perforación en tierra y ejecución de ensayo SPT.



**Fotos 3.2.** Avance de perforación en agua y extracción de muestra.

Al final del Anexo 3 se puede ver una reseña fotográfica con las tareas realizadas.

Se nivelaron las bocas de pozos y pelos de agua determinando cotas a partir de un punto fijo arbitrario que luego fue vinculado a cota IGM durante la ejecución de los estudios topográficos, midiendo este punto fijo ubicado en la plaza de Lavalle.

De este modo se asignó el nivel de boca de las auscultaciones respecto al sistema de cotas del proyecto. También se registró el nivel instantáneo del agua subterránea.

Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

### **3.1.2 Laboratorio**

En laboratorio se realizaron los ensayos de las muestras extraídas para la determinación de las siguientes características físicas:

- Límites de Atterberg LL-LP (s/normas IRAM 10501/68 y10502/68)
- Humedad natural
- Granulometría (vía húmeda)
- Lavado sobre Tamiz No. 200 (s/norma IRAM 10507/69)
- Densidad seca y húmeda
- Ensayos de compresión triaxial rápidos no drenados escalonados (UU), a fin determinar los valores de cohesión y ángulo de fricción interna, incluyendo gráficos tensión deformación y gráficos de Mohr de los ensayos.
- 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, correspondiente a los últimos 30 cm. de un segmento total de 45 cm.

En el Anexo 3 se presentan las planillas correspondientes a cada perforación y los perfiles geotécnicos elaborados en base a estas planillas, en tierra y en agua, así como perfiles transversales a la costa de la ciudad de Lavalle.

## **3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PERFILES HALLADOS**

Con la información obtenida de los 8 pozos en tierra y los 5 en agua se elaboraron 2 perfiles longitudinales y 5 perfiles transversales a la margen. Uno de los perfiles longitudinales abarca los 8 pozos en tierra (perfil en tierra de 1150m de longitud) y el otro los 5 de agua (perfil en agua de 850m de longitud). Los perfiles geotécnicos se pueden observar en los planos al final del Anexo 3, a continuación se presenta la descripción de los mismos.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

### **3.2.1 Perfil en tierra:**

- En el sector norte representado por las perforaciones T01 y T02 existe un estrato superior de 5 m (hasta cota aproximada 34 a 33m) constituido por arenas de clasificación SC y SM-SC sueltas y media densas. Por debajo de estas, arenas comunes para estas 2 perforaciones, se presenta para el sondeo T01 una arena SP media densa hasta el fin de la perforación (cota 26 aproximadamente). En cambio en el sondeo T02 aparece un estrato de arcillas y limos medianamente compactos, CL y ML, entre profundidad 5 a 8m (aproximadamente cota 30 a 33m). Debajo de estas arcillas y hasta el fin de la perforación (cota 24,50) se detecto una arena SP densa y muy densa.
- Los sondeos T03 a T07 existe un estrato superior de 2 metros de espesor constituido por arcilla CL muy compacta a dura, excepto en el pozo T07 que es solo compacta. Por debajo de este estrato se encuentran arenas de clasificación SM, SP, SM-SC y SP-SM medianamente densas pero de espesor variable; hasta cota 26,50 en el T03, 31 para el T04, 33 para el T05, 32 para el T06 y 31 para el T07. En el pozo T03 aparece un estrato de 1m de espesor de limo duro y por debajo del mismo y hasta el fin del sondeo (cota 23) arenas densas de clasificación SM y SP-SM. En las perforaciones T04 a T07 no aparece el limo sino que se produce una densificación de las arenas (pasan a densas y muy densas), arenas de clasificación SP y SP-SM hasta una cota 26 para los sondeos T04 y T05 mientras que en los sondeos T06 y T07 llega hasta cota 23, que en estos 2 últimos pozos es la cota de finalización de los mismos. Las arenas densas en los pozos T04 y T05 son interrumpidas por un estrato de arena SP-SM medio densa entre cotas 25 y 26, debajo de estas arenas aparecen arcillas de clasificación CL compactas y muy compactas hasta cota 23; por debajo reaparecen las arenas SM medio densas para el pozo T04 y SP densas para el T05 hasta cota 22 que es la de finalización de la perforación.
- En el pozo T08 que se encuentra más al sur se encontró un estrato superior de 1m de arena CL medio densa, por debajo de la misma hay un manto de arcilla CL medianamente compacta hasta cota 36 (profundidad 2m en la perforación). Desde esta arcilla y hasta el final de la perforación en cota 25,50 se encontraron arenas de clasificación SP y SP-SM de densidades variables; hasta cota 29 arenas media densas y por debajo arenas densas y muy densas.



Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

En relación al nivel del agua subterránea, el mismo fue hallado en cota 34. Esta cota representa profundidades variables entre 4 y 4,50m según la cota de boca de la perforación.

### **3.2.2 Perfil en agua:**

- El perfil geotécnico presenta en su parte superior un estrato arenoso de clasificación SM, SC, SM-SC y SP-SM, constituido por arenas sueltas y muy sueltas. El espesor de este estrato es variable desde 1m para los pozos A01, A02 y A03 hasta 4m en el A05 y 5m en el A03.
- En el sector abarcado por los pozos A01 y A02 aparece debajo de la arena un estrato arcilloso formado en el pozo A01 por una arcilla CL medianamente compacta de 1m de espesor y en el A02 hay 2m de limo arcilloso blando y medianamente compacto y 2m más de arcilla CL medianamente compacta y blanda. En esta perforación la arcilla alcanza una profundidad de 5m (aproximadamente cota 26) y en el A01 hasta cota 28 aproximadamente.
- Por debajo de los estratos de arcilla presentes en los pozos A01 y A02 y en el caso del resto de las perforaciones por debajo de la arena suelta se encontraron arenas media densas, densas y muy densas hasta la finalización de las perforaciones (cotas 5 a 6m aproximadamente).
- Las arenas medianamente densas de clasificación SP llegan hasta profundidades variables, 5m en el A01, entre 7 y 8m en los pozos A02 a A04 y hasta 11m de profundidad en el A05.
- Debajo de las arenas descritas en el punto anterior aparecen arenas densas y muy densas de clasificación SP y SP-SM hasta la finalización de las perforaciones. Tanto en el pozo A01 y el A02 aparecen estratos aislados y de poco espesor con arenas menos densas pero que no presentan continuidad en el perfil.

### **3.3 AGRESIVIDAD QUÍMICA HACIA LAS ESTRUCTURAS**

Los ensayos químicos realizados sobre muestras de perforaciones en tierra mostraron que los suelos no presentan características de Agresividad Química hacia las estructuras metálicas y/o de hormigón de cemento portland, debido a su pH prácticamente neutro.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

Las muestras analizadas provienen de los pozos T03 y T04 y de una profundidad aproximada de 4,50 a 5,00m. En ambas perforaciones hay un estrato arenoso a esa profundidad.

Para las estructuras de hormigón, en los casos de no presentar Agresividad Química del solo se recomienda:

- Emplear agua apta para la elaboración del hormigón (I.R.A.M. 1.601/1986).

En el Anexo 3 se presentan los resultados de los análisis químicos.

### 3.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

A fin de determinar el grado de seguridad al deslizamiento de los perfiles naturales de las barrancas, se realizó el correspondiente estudio de estabilidad de taludes. Los escenarios ensayados tuvieron en cuenta distintos niveles del río.

Para la evaluación de coeficiente de seguridad al deslizamiento se dispone de un Software de Modelación Geotécnica denominado SLOPE/W que ha sido creado específicamente para estos análisis por la compañía GEO SLOPE de Canadá, cuyas características se resumen a continuación:

- Slope/W : es un Software de modelación geotécnica que utiliza la teoría del equilibrio último para determinar el factor de seguridad de taludes de tierra y rocas. SLOPE/W hace posible seleccionar una variedad de métodos para determinar el factor de seguridad y analizar tanto condiciones simples como complejas de geometría, estratigrafía, nivel freático y cargas.

Se ingresaron tanto la geometría de los perfiles, como las características geotécnicas de los materiales. Los perfiles analizados fueron tres que incluyen las siguientes perforaciones:

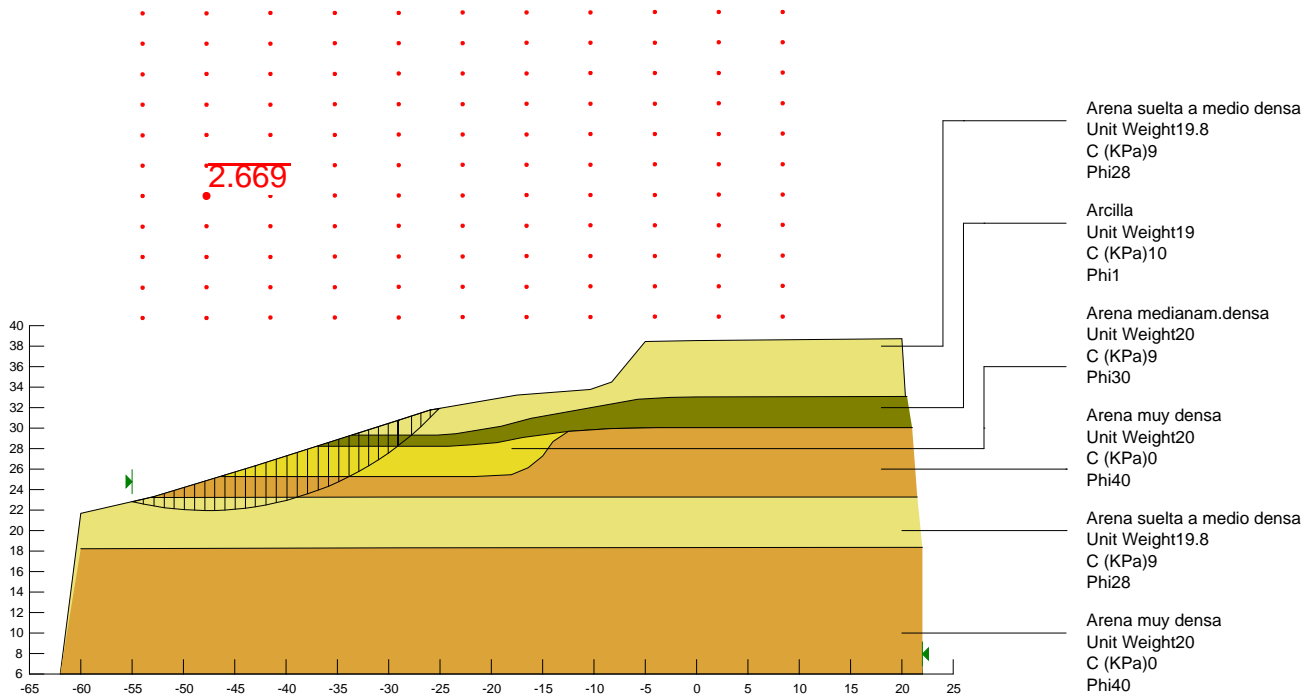
- Perfil Margen 1: PA 1 y PT 2
- Perfil Margen 3: PA 3 y PT 6
- Perfil Margen 5: PA 5 y PT 8

Se analizaron distintas situaciones con respecto al nivel del agua y el nivel freático. Primero se analizó una situación sin nivel freático pero sin tener en cuenta el nivel del agua en el río, con lo cual se obtuvieron altos grados de seguridad.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

Luego se analizó como condición más desfavorable un nivel del río correspondiente a una bajante extraordinaria junto con un nivel freático alto producido por lluvias importantes y prolongadas, con lo cual se obtuvieron grados de seguridad inferiores a 1 en los perfiles Margen 1 y Margen 5, lo que indica la presencia de deslizamiento en estas situaciones.

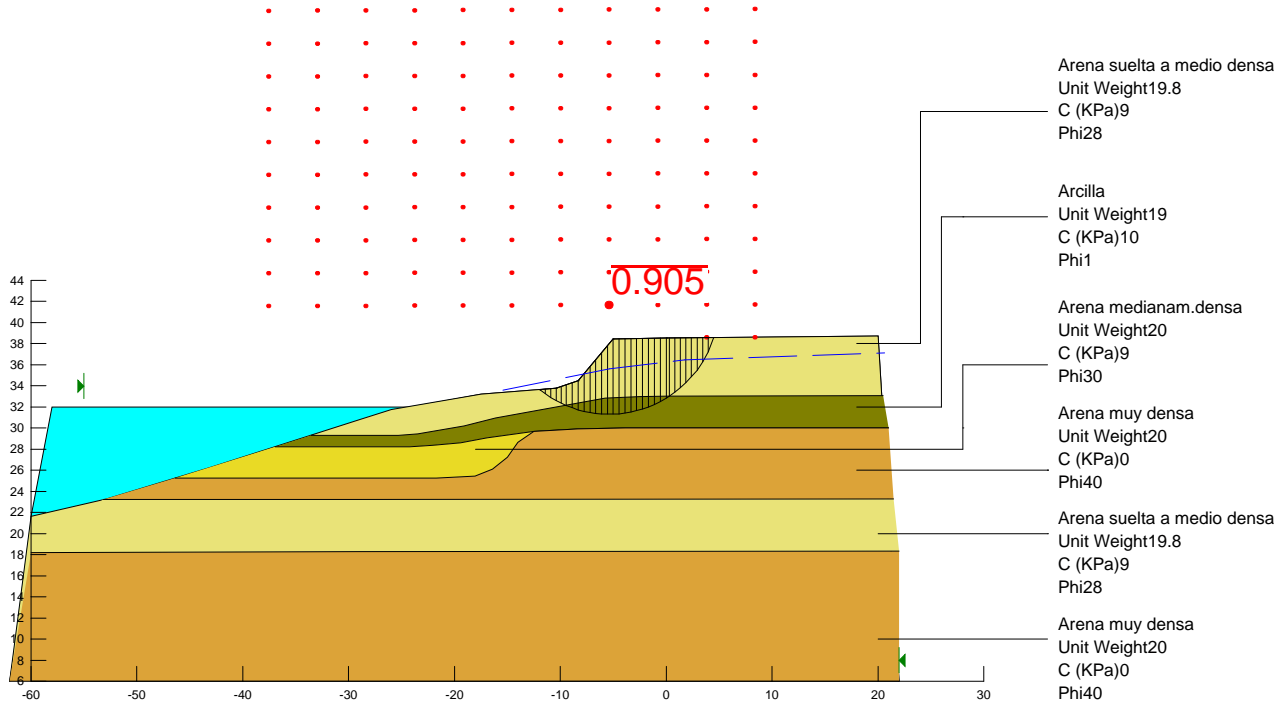
Description: DEFENSA LAVALLE  
Comments: PERFIL MARGEN 1  
Analysis Method: Bishop (with Ordinary & Janbu)





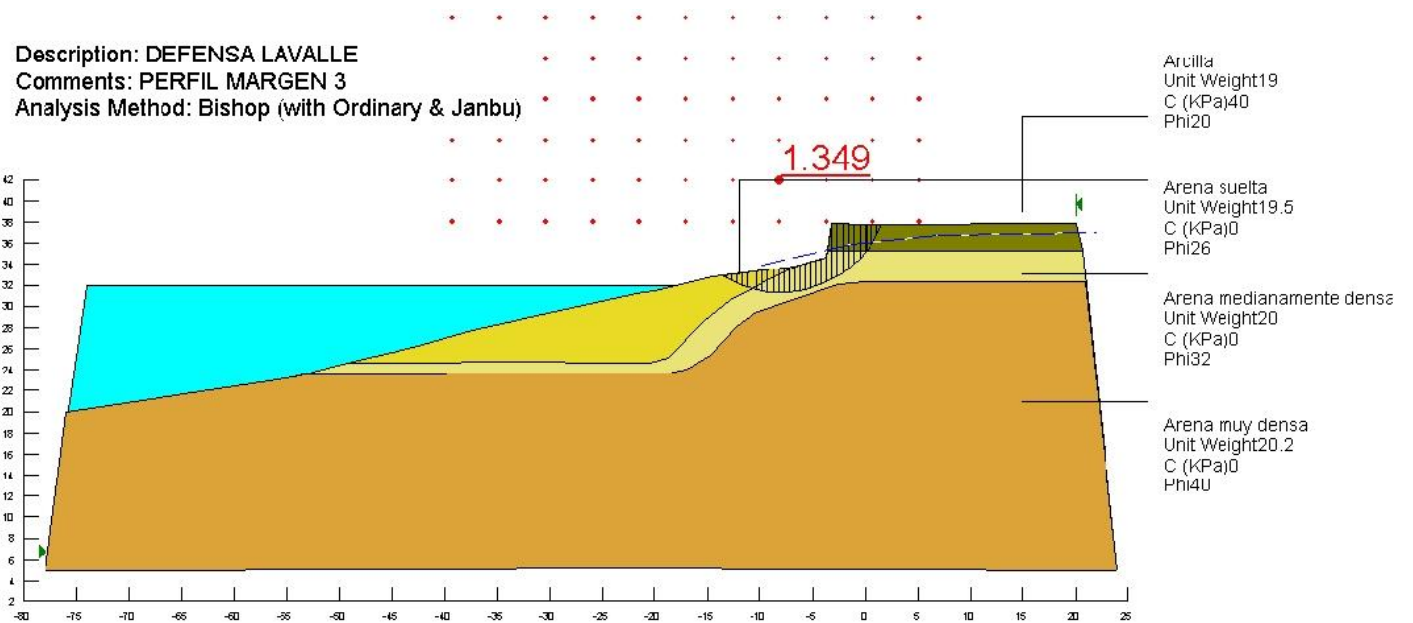
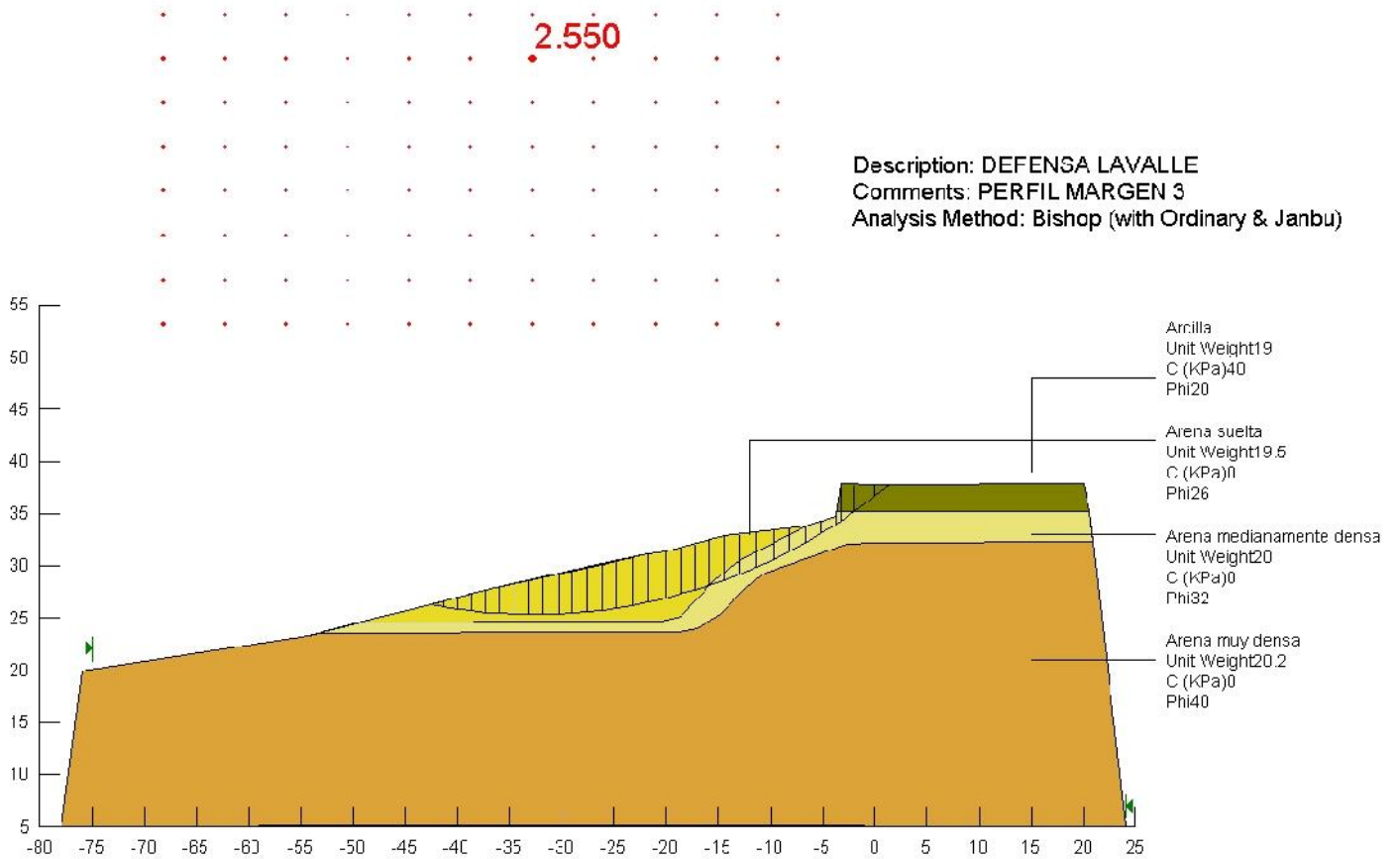
Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

Description: DEFENSA LAVALLE  
Comments: PERFIL MARGEN 1  
Analysis Method: Bishop (with Ordinary & Janbu)



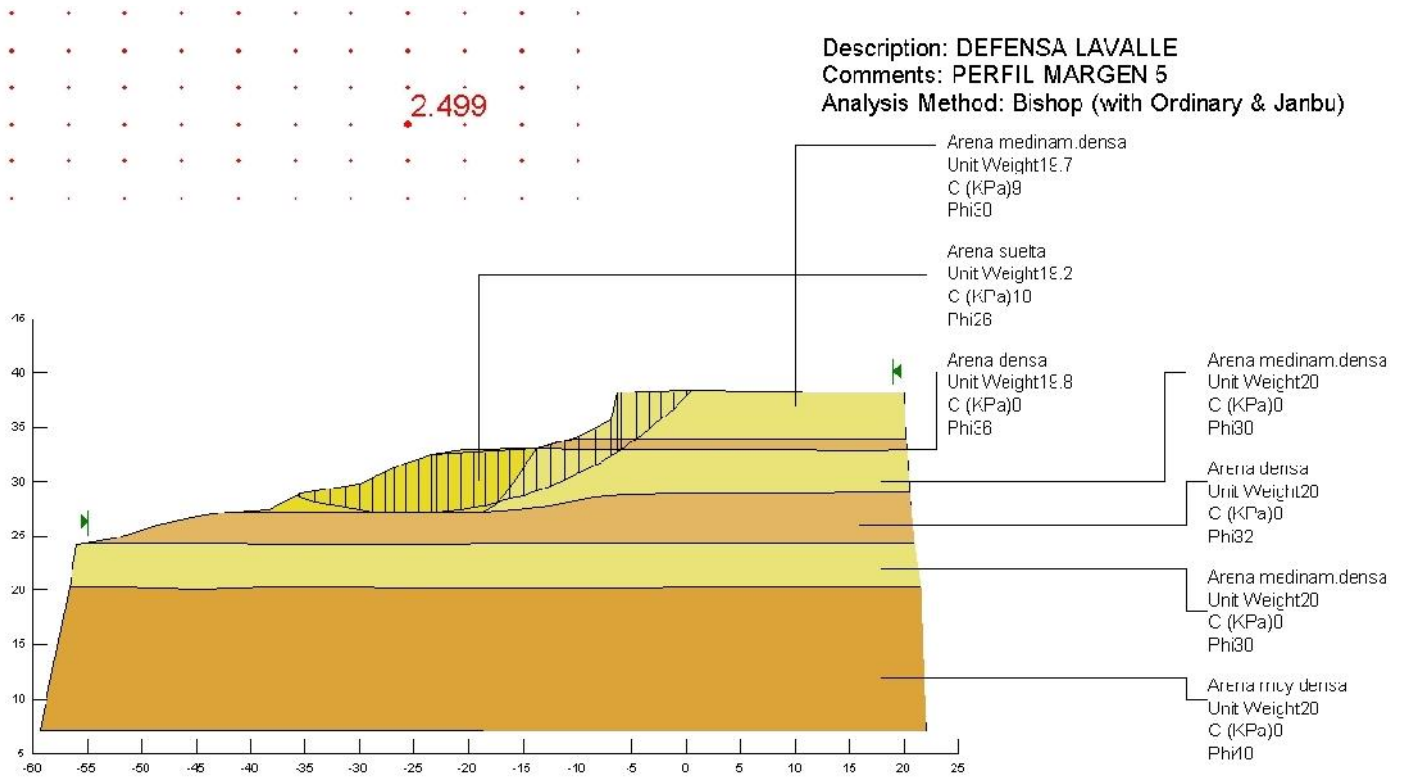
Figuras 3.2. Análisis de estabilidad Perfil Margen 1.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

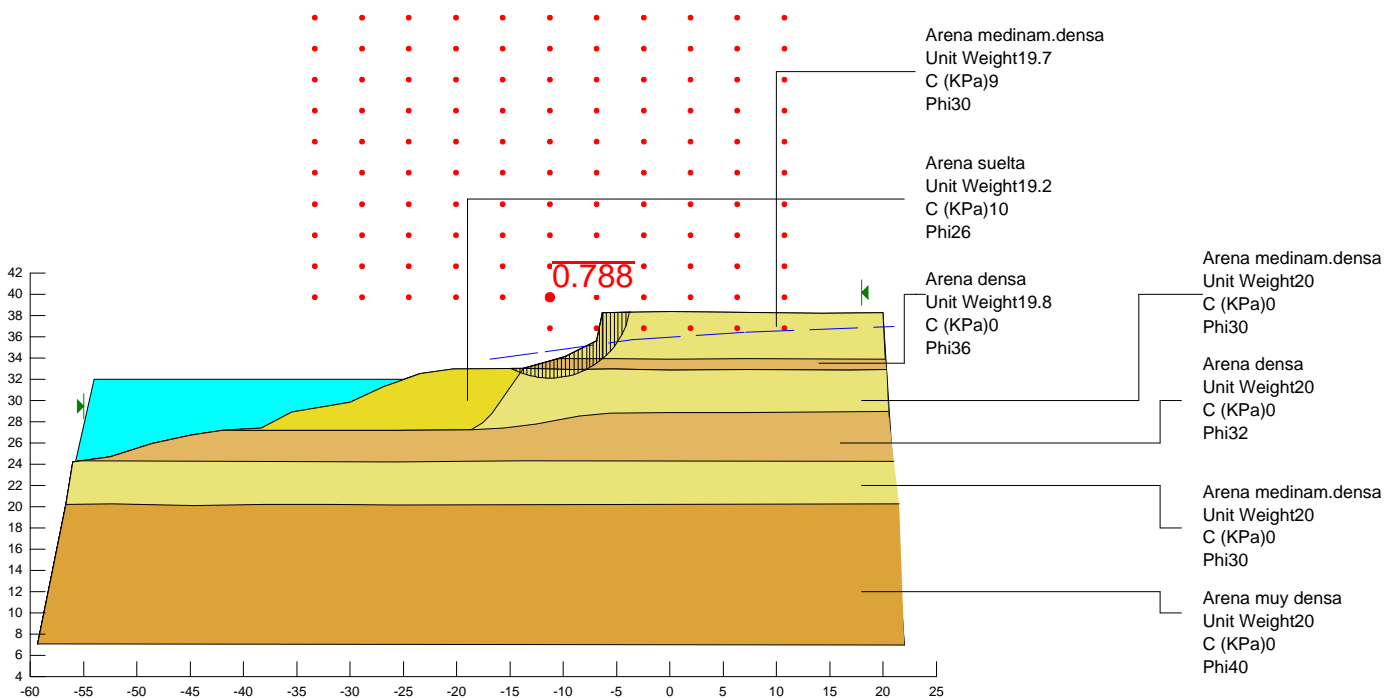


Figuras 3.3. Análisis de estabilidad Perfil Margen 3.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes



**Description: DEFENSA LAVALLE**  
**Comments: PERFIL MARGEN 5**  
**Analysis Method: Bishop (with Ordinary & Janbu)**





Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

### Figuras 3.4. Análisis de estabilidad Perfil Margen 5.

Cabe señalar que la posibilidad de deslizamientos en la situación más desfavorable analizada, está vinculada a la presencia de mantos de arena superior, medianamente densa a suelta, por lo que la existencia de un manto superior arcilloso que predomina a lo largo de la costa de Lavalle resulta más estable. También las arenas densas que se encuentran en profundidad dan estabilidad al talud ante deslizamientos que involucren grandes profundidades.

Por lo tanto los deslizamientos están limitados a una escasa profundidad desde del pie de la barranca y solo pueden producirse bajo condiciones extremas, y se puede apreciar a simple vista que el retroceso de la costa está más vinculado a la erosión del estrato inferior arenoso que conforma el pie de la barranca que a problemas geotécnicos de mayor magnitud.



**Foto 3.3.** Retroceso de la barranca por erosión del estrato de inferior arenoso.

Algunos sectores de la costa que presentan puntas están relacionados con la presencia de estratos de arenas muy densas rojizas, y hasta suelo calcáreo, que se encontró en la base de la barranca, y a menores profundidades del lecho del río cerca de la costa por la existencia de estratos más resistentes a la erosión, más que a cuestiones hidráulicas que lo provoquen.



Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

**Foto 3.4.** Arena muy densa rojiza en la base de la barranca con vegetación. Punta de la costa entre calles Colón y 25 de Mayo.

Esta erosión del estrato arenoso inferior de la barranca está vinculada a oleaje durante tormentas que azotan la costa y al que producen embarcaciones cuando los niveles del agua son cercanos al mismo, y en otros sectores están relacionados a problemas de escorrentía superficial que forma cárcavas en su llegada a la costa.

La erosión hidráulica por velocidad de corriente no es directamente responsable, al menos actualmente frente a la ciudad de Lavalle, sino que actúa retirando el material derrumbado y exponiendo el frente de barranca, pero si ha sido la responsable de generar grandes profundidades cerca de la costa que producen un talud sumergido más abrupto con tendencia a suavizarse con el consiguiente retroceso de la costa.



**Fotos 3.5.** Erosión de la base arenosa de la barranca y derrumbes contiguos.

En síntesis puede concluirse que en general la barranca no presenta problemas de estabilidad geotécnica que involucren grandes deslizamientos del talud, solo ante situaciones extremas pueden producirse deslizamientos de poca profundidad desde el pie de la barranca, por el contrario sufre de derrumbes frecuentes del frente de barranca a lo largo de toda la costa, los que se producen debido a problemas de erosión del material arenoso que se encuentra en la base de la misma con lo cual cae en bloque el manto arcilloso superior.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

## 4 ESTUDIOS MORFODINÁMICOS

### 4.1 DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DEL RÍO PARANÁ EN EL TRAMO EN ESTUDIO <sup>1</sup>

#### 4.1.1 *Ubicación de la localidad de Lavalle respecto al Río Paraná*

La localidad de Lavalle se encuentra ubicada aproximadamente en el km 710 del Río Paraná. En la costa correntina del mismo, la que sería, la margen derecha del río. Esta progresiva ubica a la localidad de Lavalle en el tramo medio del Río Paraná, una faja del río indudablemente compleja y de gran tamaño (Iriondo, 1988). Con una longitud de 600 km desde la confluencia Paraná-Paraguay hasta el ápice del delta, localizado algo al sur de Rosario.

#### 4.1.2 *Propiedades morfométricas y morfológicas del Río Paraná en su tramo medio*

La planta del Río Paraná puede describirse como una sucesión de tramos ensanchados separados por otros más estrechos y cortos que, además, son más profundos. Entre los km 850 y 480 existen 49 de estos tipos de tramos.

En los ensanchamientos el ancho efectivo medio del cauce (sin considerar los anchos ocupados por islas),  $B$ , es de 2.150 m con una desviación estándar  $\sigma_B=840$  m; tales sitios tienen una longitud promedio ( $L$ ) de 11.040 m ( $\sigma = 4.930$  m), y su profundidad típica ( $h$ ) varía entre 5 y 8 m.

Mientras que los mismos parámetros evaluados en los estrechamientos dan valores de 1.000m para el ancho medio del cauce con una desviación estándar  $\sigma_B=290$  m, su longitud promedio es  $L=1.840$  m ( $\sigma = 1.440$  m) y su profundidad típica de  $h=12$  m.

Los valores mencionados resultaron de evaluar 343 secciones en el tramo entero (74 de ellas correspondieron a estrechamientos), y son representativos del cauce en los años '90 para situaciones de aguas medias.

Posteriormente se verificó con las mediciones realizadas en el sector de Lavalle que las longitudes detalladas anteriormente coinciden con la situación actual del área en estudio.

---

1- Este capítulo se desarrolla en base a comentarios extraídos de los libros "El Río Paraná en su tramo medio, Carlos Paoli y Otros, UNL, Setiembre de 2000, e "Ingeniería de Ríos", Juan Vide, Alfaomega, 2002.



Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

Los elementos geomorfológicos característicos de los sectores anchos son las islas y los bancos de arena, estos últimos libres de vegetación y, en su gran mayoría, sumergidos para los niveles de aguas medias en el tramo. El origen primario de los bancos del cauce no es bien conocido, fundamentalmente debido a la razonable discontinuidad en el tiempo (a la escala de uno o más ciclos hidrológicos sucesivos) de los relevamientos realizados, por esta razón los datos disponibles justifican extrapolar más de una explicación desde la literatura específica básica (p.e., Schumm y otros, 1987; Yalin, 1992; Bridge, 1993).

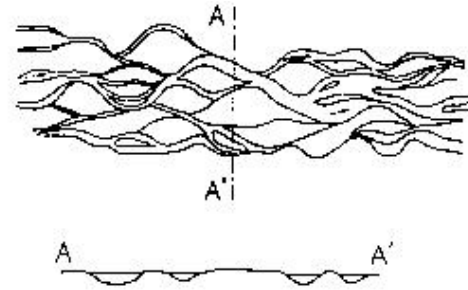
Por otro lado hay evidencias de que una parte de las islas del tramo se formó por el crecimiento en área y altura de esos cuerpos arenosos, o por la acreación lateral de varios de ellos (Iriondo, 1972; Dragi, 1973, 1977). Otras islas se han originado por el desmembramiento de una más grande, a partir de la aparición y jerarquización de riachos menores.

Los bancos e islas del Paraná recuerdan la planta de un patrón de cauce entrelazado, como el río fue considerado tradicionalmente entre los antecedentes temáticos (Iriondo, 1988; Drago, 1990) sin embargo, a diferencia de un río entrelazado típico, en el que la diversificación del flujo entre (y sobre) los bancos delinea un escurrimiento variable a través de canales efímeros, de similar jerarquía, el Paraná posee un thalweg bien definido en cualquiera de sus secciones transversales, donde llega a concentrarse más del 50% del caudal líquido circulante (Toniolo, 1999). Este rasgo morfológico distintivo es un atributo propio de un río meandriforme.

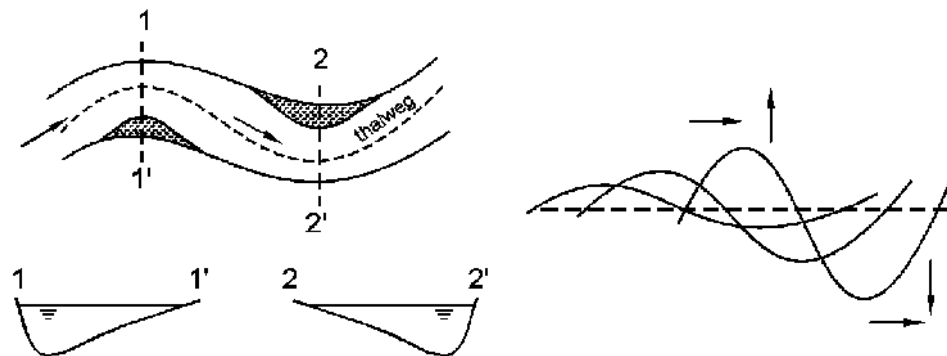
Para una mejor comprensión de lo explicado en el párrafo anterior se puede describir a un río entrelazado tiene un cauce muy ancho, compuesto por una multiplicidad de cauces menores entrelazados o trenzados, que dejan islas (sumergibles) entre sí al unirse y separarse. Son cauces inestables en el sentido de que una crecida puede cambiarlos considerablemente. De este modo se llaman “divagantes” porque un brazo principal puede encontrarse tan pronto en un lugar como en otro. Su presencia se asocia a una gran capacidad de transporte sólido. Dicho de otro modo, una corriente muy cargada de sedimentos es propensa a formar un cauce entrelazado.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

**Figura 4.1.** Planta y sección de un cauce trenzado.



Por otro lado un río meandriforme o meándrico es aquel que tiene un cauce sinuoso o con meandros. El cauce es único pero forma curvas. Se ha observado en laboratorio que una corriente de agua y sedimentos circulando sobre un cauce aluvial recto da lugar a meandros a partir de la más mínima imperfección de la alineación recta o por una causa externa accidental (Friedkin, 1945). La ondulación en planta se acompaña de una asimetría en las secciones transversales, ya que el calado es mayor junto a la orilla cóncava o exterior y menor junta a la orilla convexa o interior. En esta orilla (interior) se depositan materiales que emergen en forma de playas. Los meandros son una morfología dinámica en el sentido de que presentan una evolución. Aunque la evolución es compleja, podría decirse que es la combinación de dos movimientos: una progresión o desplazamiento en dirección aguas abajo y una profundización a costa de las orillas, en dirección perpendicular.



**Figura 4.2.** Cauce meandriforme: morfología (planta y secciones transversales vistas en el sentido de la corriente y evolución ideal (derecha)

#### 4.1.3 Modificaciones en la posición del thalweg y los cambios morfológicos del cauce

Como se describió en el punto anterior, para un río meandriforme, la variación de la posición del thalweg produce rectificaciones en los meandros, seguidas por el relleno sedimentario de

Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

las ondas abandonadas.

El thalweg de un río se considera al lugar geométrico de los puntos de mayor profundidad, para el río Paraná es mejor considerar a tal línea como una faja de máximas profundidades, ubicada a 4 –10m por debajo de las profundidades más frecuentes en los ensanchamientos, y a más de 15m bajo el mismo nivel en los estrechamiento. Este rasgo morfológico fue advertido por los ingenieros fluviales desde comienzos del siglo (p.e. Reposini, 1912).

El parámetro que permite valorar fácilmente los movimientos del thalweg es la sinuosidad,  $P_t$ , que expresa la relación entre su longitud real y la mínima que podrá tener en un tramo dado (longitud referida a una línea recta). Aunque el río Paraná posee una gran variedad de rangos de  $P_t$  (1,1 a 1,5) propios de cada zona del río, existen un par de aspectos comunes de la evolución del parámetro en el Paraná. Por un lado los cambios bruscos de sinuosidad corresponden a disminuciones de la longitud del thalweg debidas a rectificaciones de ondas individuales (meandros). Por otro lado, los mínimos valores ocurren paralelamente a episodios de caudales dominantes bajos. De esta manera, al evaluar un conjunto de medidas de  $P_t$  de un determinado sector se puede concluir que existen dos dinámicas de evolución propias del cauce principal de este río: una de ellas vinculada con el desarrollo normal de meandros del thalweg, de influencia local y determinada por factores hidráulicos-sedimentológicos de la corriente y la otra ligada a la evolución de trenes o cadenas de varios meandros a la escala de tramo largo, condicionada por la variable hidrológica del caudal dominante.

En el río pueden identificarse dos mecanismos de migración del thalweg, uno de migración continua que es aquél de extensión de una onda del thalweg, o sea, el crecimiento en la amplitud del meandro en un ensanchamiento, sin cambios significativos en la longitud de onda. Este tipo de deriva produce las máximas tasas de erosión en la parte media de las márgenes cóncavas, en las proximidades del ápice de la onda, mientras que las costas opuestas pueden permanecer sin modificaciones sensibles, ya sea por sedimentación o por erosión. El otro tipo de migración consiste en el desplazamiento aguas abajo del ápice de meandros del thalweg, sin que ocurrieran, en todos los casos variaciones apreciables de la longitud de onda. El corrimiento aguas abajo de las márgenes del río relacionado con la traslación de ondas parece tener menor frecuencia e intensidad que las variaciones asociadas con los cambios de amplitud.

Por otro lado se identificaron dos formas distintas de rectificaciones de meandros del thalweg: una de ellas denominada “rectificación subáerea” por Ramonell y otros (1999), en



Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

la que la nueva faja profunda es erosionada desde el nivel de planicie aluvial y que corresponde al mecanismo ordinario de corte por desborde de los ríos meandriformes, mientras que la segunda fue llamada “rectificación subacuática”. En ésta, el nuevo thalweg se desarrolla en el propio lecho del río, en un lugar previamente ocupado por bancos de arena centrales o laterales del cauce. Este proceso se inicia con la aparición de una depresión lineal estrecha y muy profunda en el fondo del río que comienza a desarrollarse desde una hoya aislada en la porción inferior de un ensanchamiento del cauce. Con el tiempo, este canal o surco erosivo progresa hacia aguas arriba sin cambiar su morfología, mediante un mecanismo que semeja el movimiento retrocedente de la cabecera de una cárcava; la depresión se jerarquiza captando fracciones crecientes del caudal circulante, hasta transformarse, finalmente, en el nuevo thalweg sobre un sector o sobre la longitud entera de un ensanchamiento.

## 4.2 EVOLUCIÓN MORFOLÓGICA DEL RÍO EN LA LOCALIDAD DE LAVALLE

### 4.2.1 Objetivo

El objetivo del presente análisis consiste en la evaluación de los cambios en la morfología fluvial en el área de la ciudad de Lavalle, mediante mapeo de imágenes satelitales, y el empleo complementarios de cartografía y de fotografías aéreas, abarcando el período 1944-2007, a los efectos de identificar las tendencias evolutivas del área en estudio e interpretar el proceso morfológico que está ocurriendo en la mencionada ciudad.

### 4.2.2 Identificación de tendencias evolutivas

#### 4.2.2.1 Aspectos Metodológicos

Para poder llevar a cabo la evaluación cualitativa y cuantitativa de la evolución morfológica a nivel de cauce, se seleccionaron imágenes satelitales, fotografías aéreas y cartas topográficas cubriendo desde el año 1944 hasta el 2007.

**Tabla N° 4.1.** Descripción de imágenes y fotos Empleadas

DESIGNACIÓN	Descripción	Fecha	Escala
Carta 1	Carta topográfica Goya (2960-IV-23)	Año 1944	1:100.000

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

Carta 2	Carta topográfica Santa Lucia (2960-II-17)	Año 1944	1:100.000
Fotografía 1	Fotografía aérea	Año 1972	1:75.000
Imagen 1	Imagen Satelital	15/11/99	
Imagen 2	Imagen Satelital	02/08/96	
Imagen 3	Imagen Satelital	08/10/91	
Imagen 4	Imagen Satelital	09/10/03	
Fotografía 2	Fotografías aéreas	28 y 29/11/2007	1: 40.000

Las imágenes, cartas y fotografías utilizadas fueron obtenidas del informe "Hidrología – Modelos – Morfología – Preliminar" presentado para el Proyecto Ejecutivo de la Vinculación Vial Reconquista-Goya. Con la excepción de la imagen satelital del año 2003.

En la etapa inicial del procesamiento se colocaron en coordenadas todas las imágenes fotos y cartas. El sistema utilizado es el Posgar – Gauss Krugger, Faja 5, WGS 1984. Además de la referenciación realizada a todas las imágenes a las fotos aéreas del año 2007 se les realizó una corrección de la deformación que poseían mediante diversos puntos de control y la utilización de un software adecuado.

Sobre las bases de trabajo así procesadas, se logró que toda esta información esté contenida en un único archivo de serie CAD. Posteriormente se procedió al mapeo de las líneas de intersección entre el valle de inundación y la costa margen, de aquí en más las llamaremos líneas de margen, y de la línea o eje del sector del cauce con mayores profundidades. Ésta última se consideró como una aproximación del eje del thalweg del cauce.

En cuanto a la selección de los elementos a digitalizar, los únicos elementos visibles comparables en los períodos seleccionados son las líneas de márgenes, tanto izquierda como derecha, y la línea de thalweg. Por lo tanto, este análisis sólo se limitó al estudio de la evolución morfológica de estos elementos.

A partir de los levantamientos de líneas de márgenes y de ejes de thalweg, se efectuaron mediciones de sus ubicaciones con relación a una poligonal de apoyo, la cual se constituye por un segmento de 5800 m de largo, sobre el que tienen su origen 7 secciones transversales a la dirección general del escurrimiento, que se muestra en Figs. 1 a 8 del

Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

Anexo 4. Como se aprecia en tales figuras, las secciones están enumeradas según su posición respecto a la localidad de Lavalle. Además de estas 7 secciones transversales se marcaron 4 secciones más (Perfiles en cauce), las cuales se utilizaron para realizar mediciones del ancho del cauce.

En cuanto a sus características constructivas, la poligonal se constituye de un único segmento ubicado sobre la margen derecha del río Paraná. Las 7 secciones transversales fueron trazadas perpendicularmente a dicho segmento. A continuación se detallan las coordenadas de los puntos extremos del segmento poligonal.

Segmento poligonal:  $X_{INICIAL} = 5.578.549,6$  m;  $Y_{INICIAL} = 6.785.864,5$  m

$X_{FINAL} = 5.580.843,6$  m;  $Y_{FINAL} = 6.791.192,1$  m

La cartografía así procesada se muestra en las Figuras 1 a 8 (Laminas M01 a M04) del Anexo 4.

### **4.2.3 Resultados de las Determinaciones realizadas**

#### 4.2.3.1 Ancho del cauce

Para determinar las modificaciones en el ancho del cauce en el periodo de análisis se realizaron mediciones sobre 4 secciones representativas en las proximidades de la ciudad de Lavalle. Las secciones fueron denominadas como “Perfiles cauce 1 a 4” y su ubicación puede observarse en la siguiente figura, como también en el anexo de figuras.



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes



**Figura 4.3.** Ubicación de los perfiles de cauce (Foto aérea año 2007)

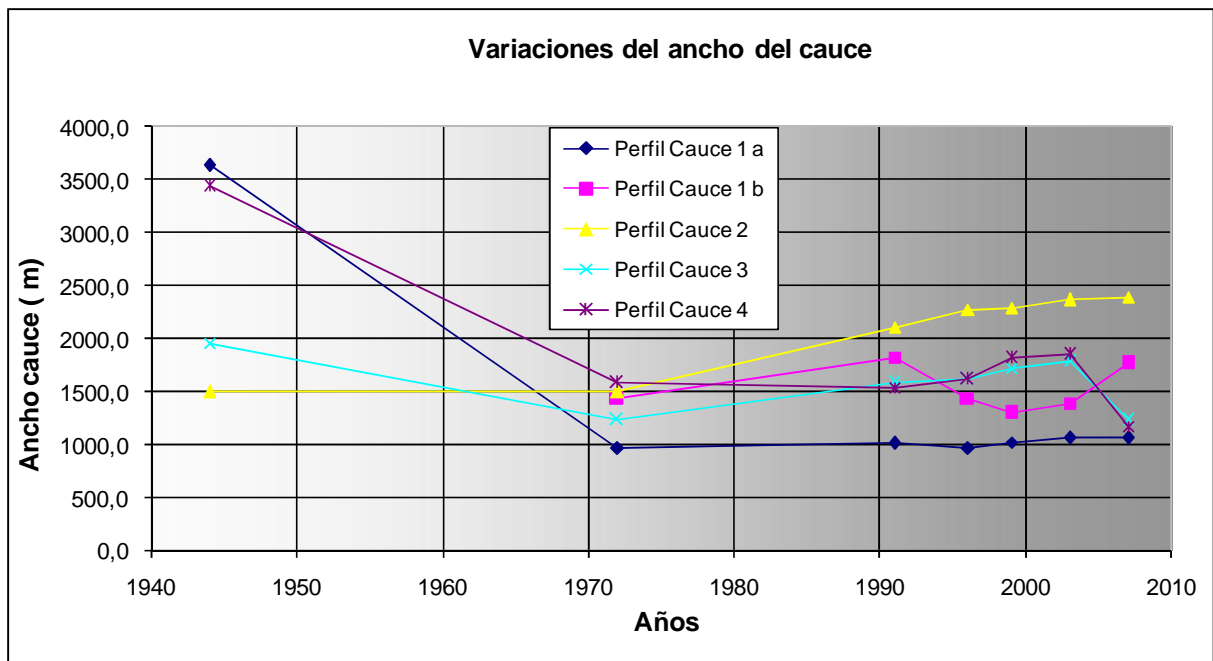
Los resultados de las mediciones del ancho del cauce pueden observarse en la tabla 4.2, de la cual se puede concluir que en la zona sur de la ciudad, representada por lo perfiles de cauce 3 y 4 con el pasar de los años se ha generado un estrechamiento del cauce. Con un ancho de 1230 a 1170 y con una longitud aproximada de 2200m. Estos valores coinciden con los datos como propiedades morfométricas del río Paraná en su tramo medio. Por otro lado en coincidencia con la ciudad de Lavalle (representado por el perfil 2) tenemos un ancho que es representativo de un ensanchamiento del cauce.

Como se explicó con anterioridad, los sectores con estrechamiento traen como consecuencia un aumento en la profundidad típica en comparación con los sectores con ensanchamiento.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

**Tabla y gráfico 4.2. Ancho de cauce entre márgenes.**

SECCIÓN	Ubicación (entre perfiles)	B <sub>margen</sub> (m)						
		Año 1944	Año 1972	Año 1991	Año 1996	Año 1999	Año 2003	Año 2007
Perfil Cauce 1 a	Norte y Sector DP2 (margen izq.)	3640,0	960,0	1012,0	959,0	1021,0	1060,0	1059,0
Perfil Cauce 1 b	Norte y Sector DP2 (margen der.)	-	1427,0	1819,0	1439,0	1298,0	1384,0	1762,0
Perfil Cauce 2	Calle Garay y Calle Virasoro	1496,0	1493,0	2103,0	2271,0	2290,0	2368,0	2387,0
Perfil Cauce 3	Sur	1957,0	1225,0	1583,0	1613,0	1719,0	1774,0	1230,0
Perfil Cauce 4	Puente	3431,0	1580,0	1538,0	1617,0	1809,0	1851,0	1169,0

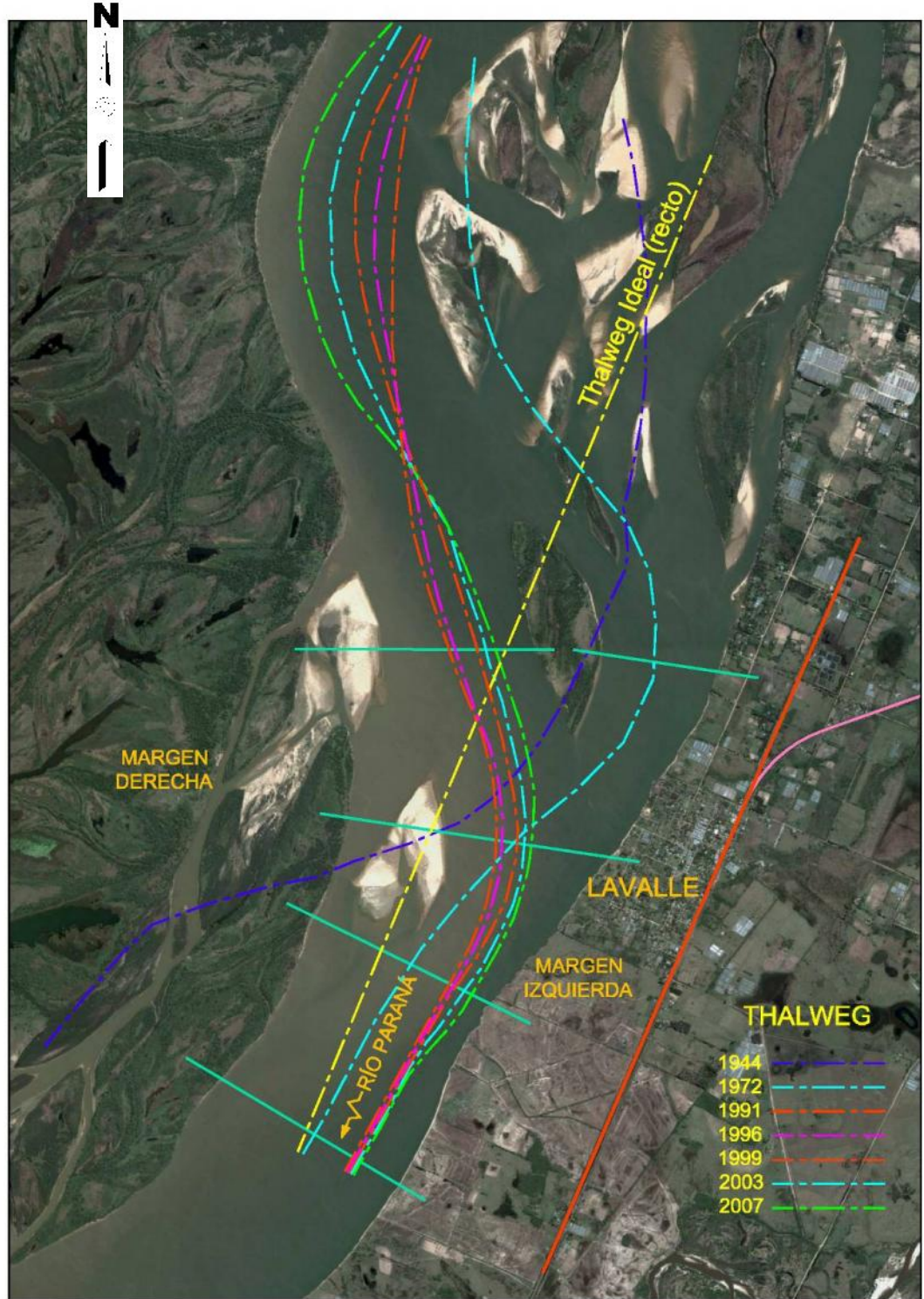


#### 4.2.3.2 Sinuosidad del cauce

Este parámetro se utiliza para determinar si un río puede caracterizarse como meandriforme, y en este caso la tabla de resultados obtenidos nos dice que el sector en estudio está sufriendo un proceso de meandrización, debido al aumento progresivo del coeficiente  $P_t$  desde el año 1991 hasta la actualidad.



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes



**Figura 4.4.**  
Comparación  
de líneas de  
Thalweg  
(Imagen año  
2003)

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

El salto que se registra comparando este año con el anterior del cual se tienen datos (1972) es debido a un brusco cambio en la posición del thalweg al norte de la ciudad de Lavalle. Estos cambios pueden observarse en el Anexo de Figuras y los valores de sinuosidad en la Tabla 4.3.

**Tabla 4.3.** Sinuosidad del Thalweg.

SECCIÓN	Long. Thalweg (m)	Long. recta (m)	P <sub>t</sub> (m)
Año 1944	11195,7	9662,0	1,16
Año 1972	11392,4	9662,0	1,18
Año 1991	10640,4	9662,0	1,10
Año 1996	10730,1	9662,0	1,11
Año 1999	10929,2	9662,0	1,13
Año 2003	11337,9	9662,0	1,17
Año 2007	11506,7	9662,0	1,19

#### 4.2.3.3 Desplazamientos de la margen izquierda

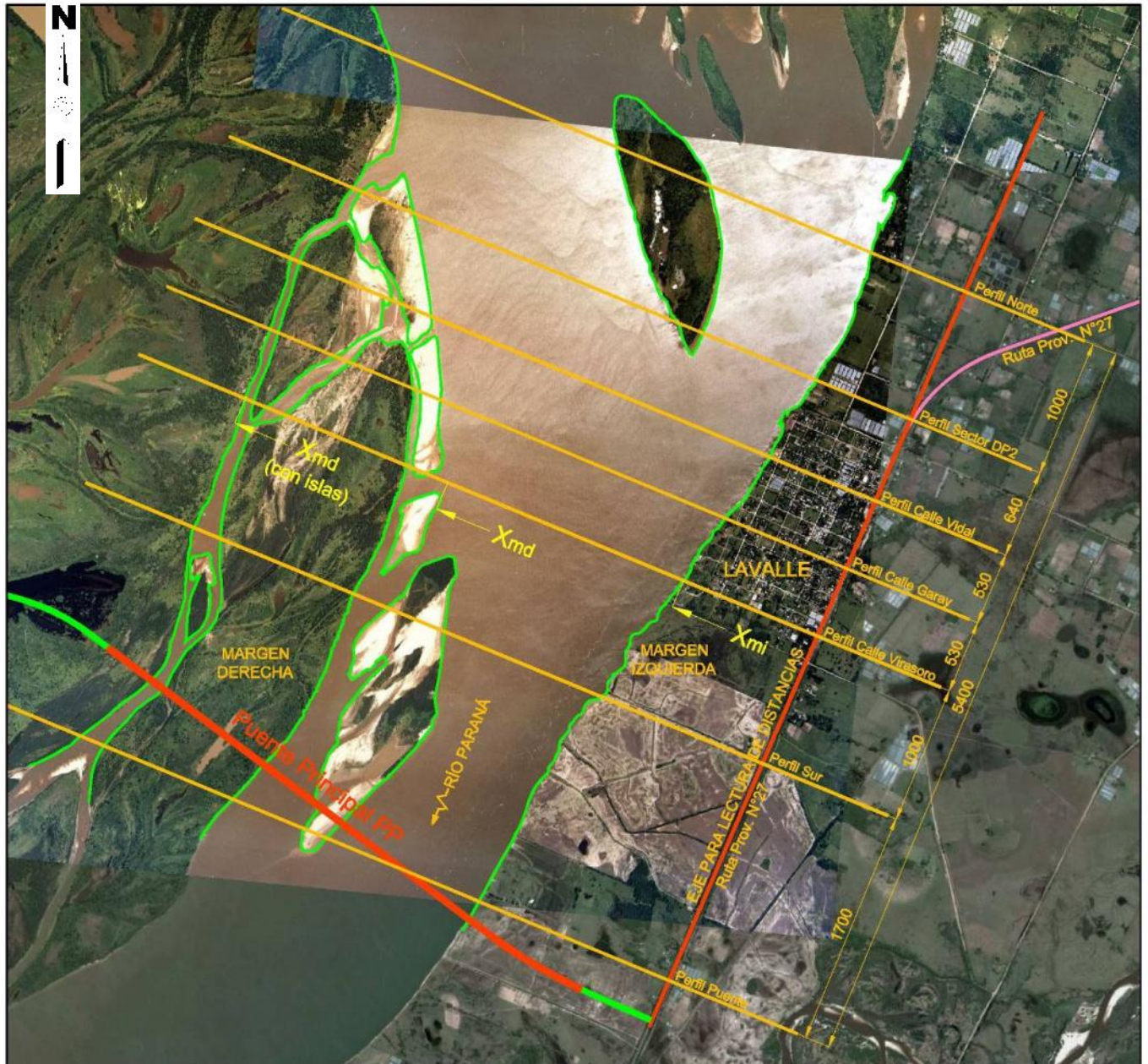
Para poder identificar los desplazamientos de la margen izquierda del río y la magnitud de los mismos se plantearon 7 secciones de control en las cuales se midieron las distancias de las márgenes en las distintas fechas. Estas distancias se midieron respecto a una poligonal de apoyo. Esta poligonal cuyos vértices fueron identificados en el apartado 4.2.2 fue ubicada en coincidencia con la traza de la Ruta N° 27, un elemento claramente identificable en cada una de las imágenes y fotografías empleadas en el estudio.

La posición de estas secciones de control puede apreciarse en la Figura 4.5., como también en las láminas del Anexo de Figuras.

En la Figura 4.5. se marcaron las 7 secciones de control, 4 de ellas en el ejido urbano de la ciudad de las cuales 3 en coincidencia con calles de la ciudad (Vidal, Garay y Virasoro) y la cuarta ubicada en la zona DP2 (Distrito Portuario Privado). Además de estas 4 secciones se planteó una 5 a 1km al norte y una sexta 1km al sur. Por último se colocó una séptima sección en coincidencia con la traza proyectada del puente de la vinculación vial Goya-Reconquista.



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes



**Figura 4.5.** Ubicación de los perfiles para medir desplazamientos de las márgenes (Foto aérea año 2007)

Los resultados de las mediciones realizadas en cada una de las secciones están incluidos en las Tablas 4.4 a 4.10. Se aclara que los valores de  $X_{md}$  y  $X_{mi}$  corresponden a las distancias desde la poligonal de apoyo hasta las líneas de margen derecha e izquierda respectivamente, también se incluyó una tercera columna de datos caracterizada  $X_{md(\text{con islas})}$  en las cuales se incluyeron las islas de la margen derecha. En la figura 4.5. se ha indicado como se realizaron las mediciones.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

**Tabla 4.4** – Mediciones morfológicas cauce año 1944

SECCIÓN	X <sub>mi</sub> (m)	X <sub>md</sub> (m)	X <sub>md(con islas)</sub> (m)
Perfil Norte	884,5	4922,6	-
Perfil Sector DP2	1243,6	4543,2	-
Perfil Calle Vidal	1591,3	2978,2	4618,7
Perfil Calle Garay	1756,7	3195,2	4594,3
Perfil Calle Virasoro	1833,9	3481,8	4635,6
Perfil Sur	1763,0	4700,7	-
Perfil Puente	1897,6	5109,3	-

**Tabla 4.5** – Mediciones morfológicas cauce año 1972

SECCIÓN	X <sub>mi</sub> (m)	X <sub>md</sub> (m)	X <sub>md(con islas)</sub> (m)
Perfil Norte	727,5	4177,4	-
Perfil Sector DP2	899,7	4382,5	-
Perfil Calle Vidal	1158,1	3086,2	4553,8
Perfil Calle Garay	1389,4	2958,2	4529,8
Perfil Calle Virasoro	1524,5	2985,2	4447,3
Perfil Sur	1633,9	2847,0	4461,7
Perfil Puente	1737,8	3359,3	4973,9

**Tabla 4.6** – Mediciones morfológicas cauce año 1991

SECCIÓN	X <sub>mi</sub> (m)	X <sub>md</sub> (m)	X <sub>md(con islas)</sub> (m)
Perfil Norte	717,6	4359,2	-
Perfil Sector DP2	768,4	4330,7	-
Perfil Calle Vidal	873,6	3567,7	4545,2
Perfil Calle Garay	1055,6	3252,8	4529,8
Perfil Calle Virasoro	1266,7	3052,2	4483,9
Perfil Sur	1552,9	2847,0	4468,5
Perfil Puente	1587,7	2885,3	4982,8

**Tabla 4.7** – Mediciones morfológicas cauce año 1996

SECCIÓN	X <sub>mi</sub> (m)	X <sub>md</sub> (m)	X <sub>md(con islas)</sub> (m)
Perfil Norte	717,1	4419,9	-
Perfil Sector DP2	754,6	4066,3	4365,6
Perfil Calle Vidal	861,6	3657,7	4564,0
Perfil Calle Garay	1006,6	3387,8	4527,8
Perfil Calle Virasoro	1171,3	3175,6	4493,3
Perfil Sur	1517,4	3130,9	4463,4
Perfil Puente	1536,6	2833,2	5026,0

**Tabla 4.8** – Mediciones morfológicas cauce año 1999

SECCIÓN	X <sub>mi</sub> (m)	X <sub>md</sub> (m)	X <sub>md(con islas)</sub> (m)
Perfil Norte	721,7	-	4264,9
Perfil Sector DP2	739,3	3640,6	4351,0
Perfil Calle Vidal	874,4	3215,8	4564,0
Perfil Calle Garay	985,0	3377,0	4518,5
Perfil Calle Virasoro	1141,6	3175,6	4470,9
Perfil Sur	1454,1	3157,9	4450,6
Perfil Puente	1530,9	3409,1	5006,4

**Tabla 4.9** – Mediciones morfológicas cauce año 2003

SECCIÓN	X <sub>mi</sub> (m)	X <sub>md</sub> (m)	X <sub>md(con islas)</sub> (m)
Perfil Norte	719,5	-	4408,2
Perfil Sector DP2	733,3	3640,6	4354,7
Perfil Calle Vidal	819,2	3436,7	4564,0
Perfil Calle Garay	947,1	3366,5	4511,1
Perfil Calle Virasoro	1071,3	3175,6	4470,9
Perfil Sur	1383,4	3157,9	4435,9
Perfil Puente	1485,7	3381,0	5006,4

**Tabla 4.10** – Mediciones morfológicas cauce año 2007

SECCIÓN	X <sub>mi</sub> (m)	X <sub>md</sub> (m)	X <sub>md(con islas)</sub> (m)
Perfil Norte	734,0	-	4487,6
Perfil Sector DP2	733,3	3879,0	4354,7
Perfil Calle Vidal	819,2	3467,2	4564,0
Perfil Calle Garay	943,2	3167,9	4495,7
Perfil Calle Virasoro	1042,9	3038,2	4461,0
Perfil Sur	1260,0	2480,8	4435,9
Perfil Puente	1484,5	2672,0	4589,3



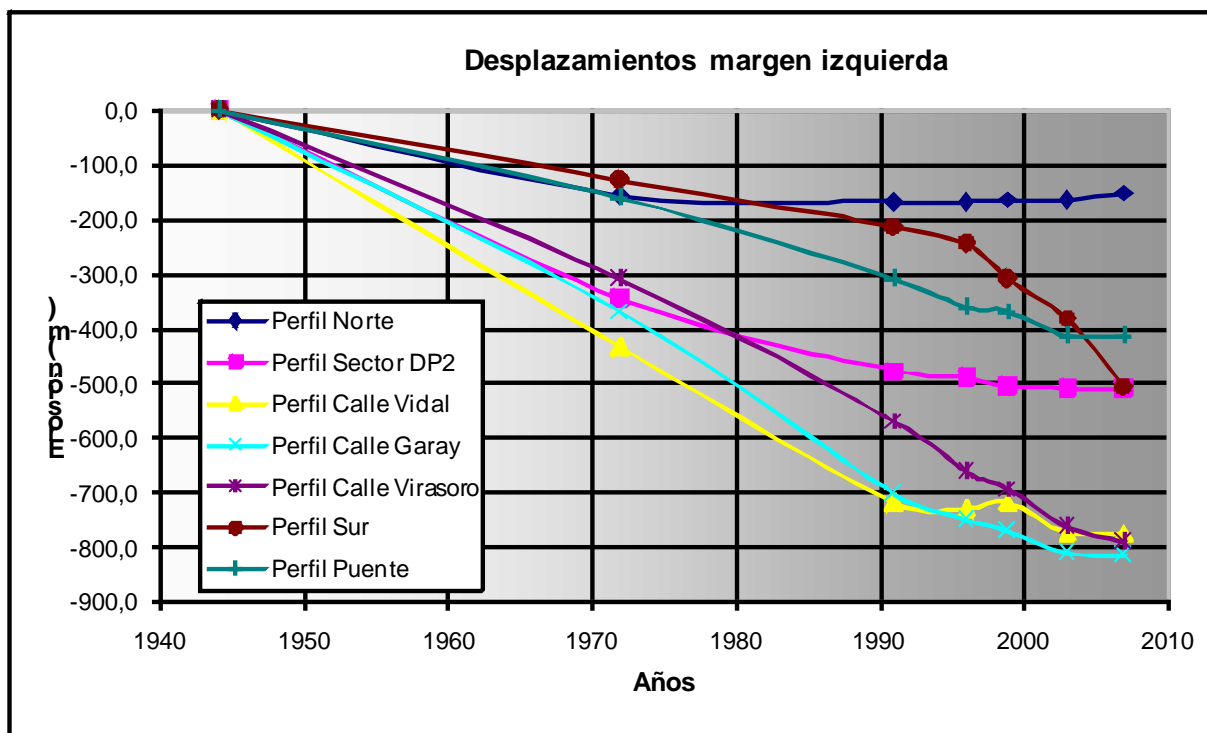
Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

Con la información recolectada en las tablas 4.4 a 4.10 se calcularon los desplazamientos de las líneas de margen izquierda en los períodos seleccionados. En la tabla 4.11 se muestran los valores de desplazamiento de éstas líneas entre períodos consecutivos, expresándose con signo negativo desplazamientos asociados a fenómenos erosivos, mientras que con signo positivo, los fenómenos asociados serían de sedimentación.

**Tabla y gráfico 4.11.** Desplazamientos de margen izquierda.

Valores negativos y positivos están asociados a procesos de erosión (retroceso) y sedimentación (avance).

SECCIÓN	Desplazamientos margen Izquierda (m)					
	Año 1944 - 72	Año 1972 - 91	Año 1991 - 96	Año 1996 - 99	Año 1999 - 03	Año 2003 - 07
Perfil Norte	-157,0	-9,9	-0,5	4,6	-2,2	14,5
Perfil Sector DP2	-343,9	-131,3	-13,8	-15,3	-6,0	0,0
Perfil Calle Vidal	-433,2	-284,5	-12,0	12,8	-55,2	0,0
Perfil Calle Garay	-367,3	-333,8	-49,0	-21,6	-37,9	-3,9
Perfil Calle Virasoro	-309,4	-257,8	-95,4	-29,7	-70,3	-28,4
Perfil Sur	-129,1	-81,0	-35,5	-63,3	-70,7	-123,4
Perfil Puente	-159,8	-150,1	-51,1	-5,7	-45,2	-1,2



Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

Con la información de los desplazamientos que sufrió la margen izquierda se obtuvo al velocidad de desplazamiento en cada uno de los periodos y en cada una de las secciones. Los valores resultantes pueden observarse en la siguiente tabla.

**Tabla 4.12.** Velocidades de desplazamientos de margen izquierda.

Valores negativos y positivos están asociados a procesos de erosión (retroceso) y sedimentación (avance).

SECCIÓN	Velocidad de desplazamientos de margen Izquierda (m/año)					
	Período 1944 - 72	Período 1972 - 91	Período 1991 - 96	Período 1996 - 99	Período 1999 - 03	Período 2003 - 07
Perfil Norte	-5,6	-0,5	-0,1	1,5	-0,6	3,6
Perfil Sector DP2	-12,3	-6,9	-2,8	-5,1	-1,5	0,0
Perfil Calle Vidal	-15,5	-15,0	-2,4	4,3	-13,8	0,0
Perfil Calle Garay	-13,1	-17,6	-9,8	-7,2	-9,5	-1,0
Perfil Calle Virasoro	-11,0	-13,6	-19,1	-9,9	-17,6	-7,1
Perfil Sur	-4,6	-4,3	-7,1	-21,1	-17,7	-30,9
Perfil Puente	-5,7	-7,9	-10,2	-1,9	-11,3	-0,3

De la tabla anterior puede concluirse que está ocurriendo un el desplazamiento aguas abajo del ápice de meandros del thalweg, esto puede observarse en la Figura 2.4 al seguir el rastro de las mayores velocidades de erosión, las cuales al los años se han desplazado hacia el sur de la ciudad y actualmente el sector más crítico es el de la sección caracterizada como Perfil Sur.

SECCIÓN	Velocidad de desplazamientos de margen Izquierda (m/año)					
	Período 1944 - 72	Período 1972 - 91	Período 1991 - 96	Período 1996 - 99	Período 1999 - 03	Período 2003 - 07
Perfil Norte	-5,6	-0,5	-0,1	1,5	-0,6	3,6
Perfil Sector DP2	-12,3	-6,9	-2,8	-5,1	-1,5	0,0
Perfil Calle Vidal	-15,5	-15,0	-2,4	4,3	-13,8	0,0
Perfil Calle Garay	-13,1	-17,6	-9,8	-7,2	-9,5	-1,0
Perfil Calle Virasoro	-11,0	-13,6	-19,1	-9,9	-17,6	-7,1
Perfil Sur	-4,6	-4,3	-7,1	-21,1	-17,7	-30,9
Perfil Puente	-5,7	-7,9	-10,2	-1,9	-11,3	-0,3

**Figura 4.6.** Máximas velocidades de desplazamiento de la margen izquierda.



Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

#### 4.2.4 Análisis multitemporales

La detección de cambios en la morfología fluvial se realiza mediante análisis multitemporal, interpretando visualmente una composición digital o superposición de pares de imágenes registradas en diferentes fechas.

Con las imágenes y fotos georreferenciadas y las digitalizaciones de las líneas de margen se construyeron figuras comparativas tomando la información en pares, de diferentes años. Las figuras obtenidas permiten observar los cambios ocurridos en las márgenes, en especial la margen izquierda (límite oriental de la Llanura Aluvial del Río Paraná) que es donde se encuentra emplazada la ciudad de Lavalle.

**Tabla 4.13.** Descripción de las figuras comparativas elaboradas

Desiganción	Periodo evaluado	Datos de fondo	Datos superpuestos
Figura 1	1944 – 1972	Líneas de thalweg y márgenes del año 1944	Fotografía y líneas de thalweg y márgenes del año 1972
Figura 2	1972 - 1991	Líneas de thalweg y márgenes del año 1972	Fotografía y líneas de thalweg y márgenes del año 1991
Figura 3	1991 – 1996	Líneas de thalweg y márgenes del año 1991	Fotografía y líneas de thalweg y márgenes del año 1996
Figura 4	1996 - 1999	Líneas de thalweg y márgenes del año 1996	Fotografía y líneas de thalweg y márgenes del año 1999
Figura 5	1999 – 2003	Líneas de thalweg y márgenes del año 1999	Fotografía y líneas de thalweg y márgenes del año 2003
Figura 6	2003 - 2007	Líneas de thalweg y márgenes del año 2003	Fotografía y líneas de thalweg y márgenes del año 2007
Figura 7	1991 – 2007	Fotografía y líneas de thalweg y márgenes del año 1991	Líneas de thalweg y márgenes del año 2007
Figura 8	1944 – 2007	Fotografía y líneas de thalweg y márgenes del año 1944	Líneas de thalweg y márgenes del año 2007

Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

En las figuras también se identificaron las áreas de erosión y las de sedimentación para permitir una mejor comprensión de la manera en que se modificó el cauce del río en cada uno de los periodos.

Es importante para el análisis multitemporal tener presente las crecidas extraordinarias ocurridas durante el transcurso de cada uno de los periodos estudiados. En la Tabla N° 4.14 se listan las crecidas involucradas en cada periodo. También se incluye una columna con la magnitud del periodo analizado.

**Tabla N° 4.14** Crecidas extraordinarias involucradas en cada periodo evaluado

<b>Designación Anexo- Informe</b>	<b>Periodo evaluado</b>	<b>Magnitud del período</b>	<b>Crecida extraordinaria involucrada</b>
Figura 1 (4.7)	1944 – 1972	28 años	-
Figura 2 (4.8)	1972 - 1991	19 años	Años 1982-1983
Figura 3 (4.9)	1991 – 1996	5 años	Año 1992
Figura 4 (4.10)	1996 - 1999	3 años	Año 1998
Figura 5	1999 – 2003	4 años	-
Figura 6 (4.11)	2003 - 2007	4 años	-
Figura 7	1991 – 2007	16 años	Año 1992 y 1998
Figura 8 (4.12)	1944 – 2007	63 años	Años 1982-1983, 1992 y 1998

En la Lamina M01, en la cual están las Figuras 1 y 2, se representan periodos de importante magnitud, 29 y 19 años. Para la Figura 1 no se poseen registros de crecidas y en la misma puede observarse una variación importante en la posición del thalweg, la aparición de una isla al norte de la ciudad de Lavalle (interceptada por el Perfil Norte y el perfil del sector DP2) que aun puede observarse en la actualidad. Lo más importante a destacar es la erosión que se produjo frente a ejido urbano de la ciudad que alcanzó los 440 m.

La Figura 2 muestra como continuó la erosión en la costa correntina y como se consolidó el estrechamiento del cauce del río hacia el sur de la ciudad (Perfil Sur y Perfil Puente). En este período la erosión de la costa acumuló 350m más. Estas modificaciones en la costa pueden observarse en Las Figura 4.7 y 4.8.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

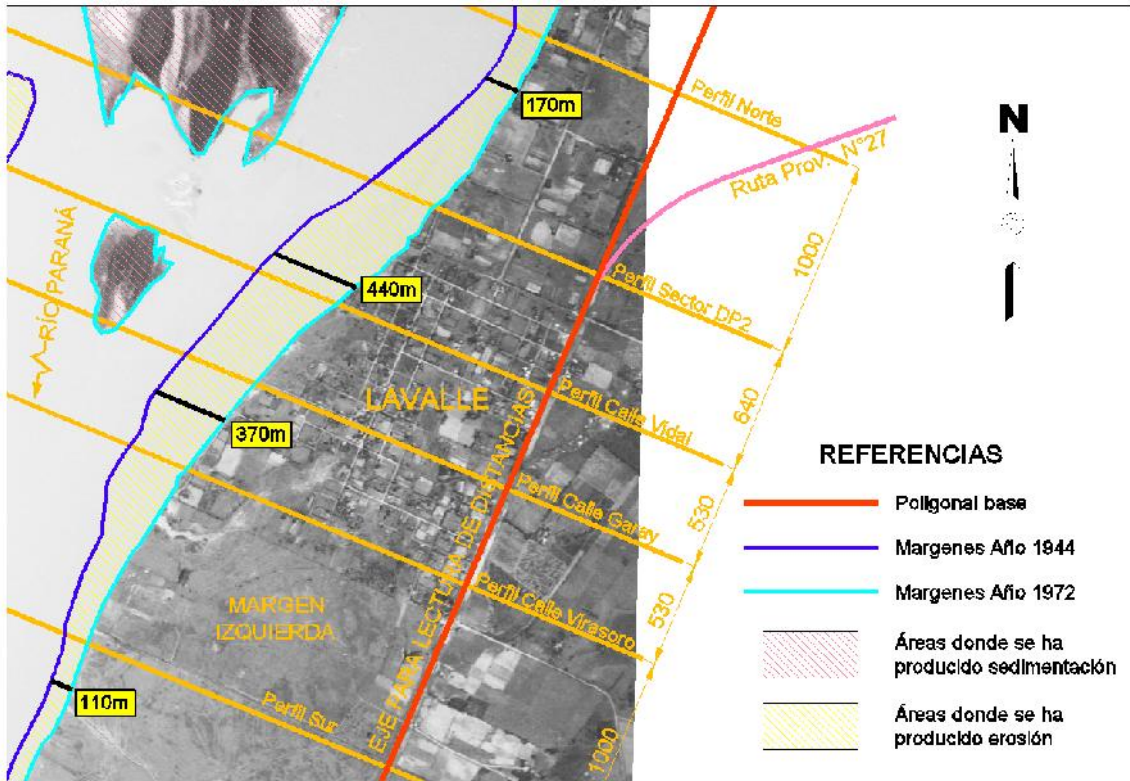


Figura 4.7. Comparación de líneas de costa de 1944 y 1972, sobre fotografía de 1972.

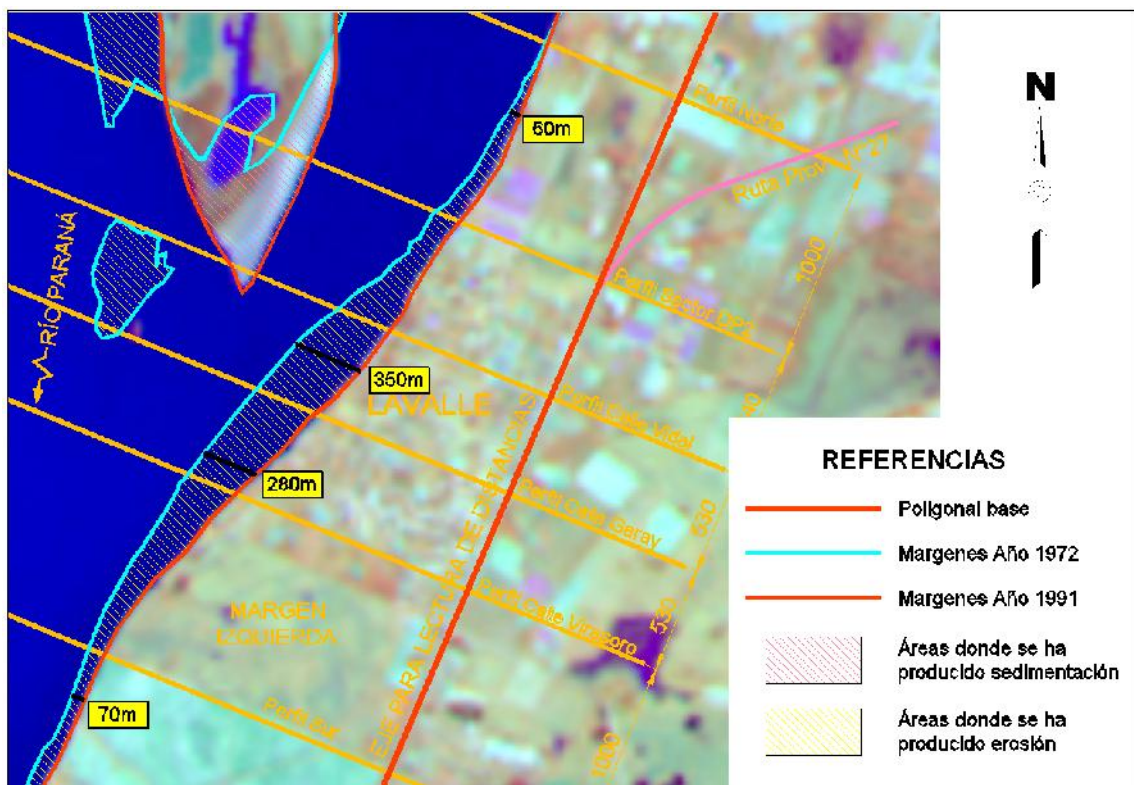


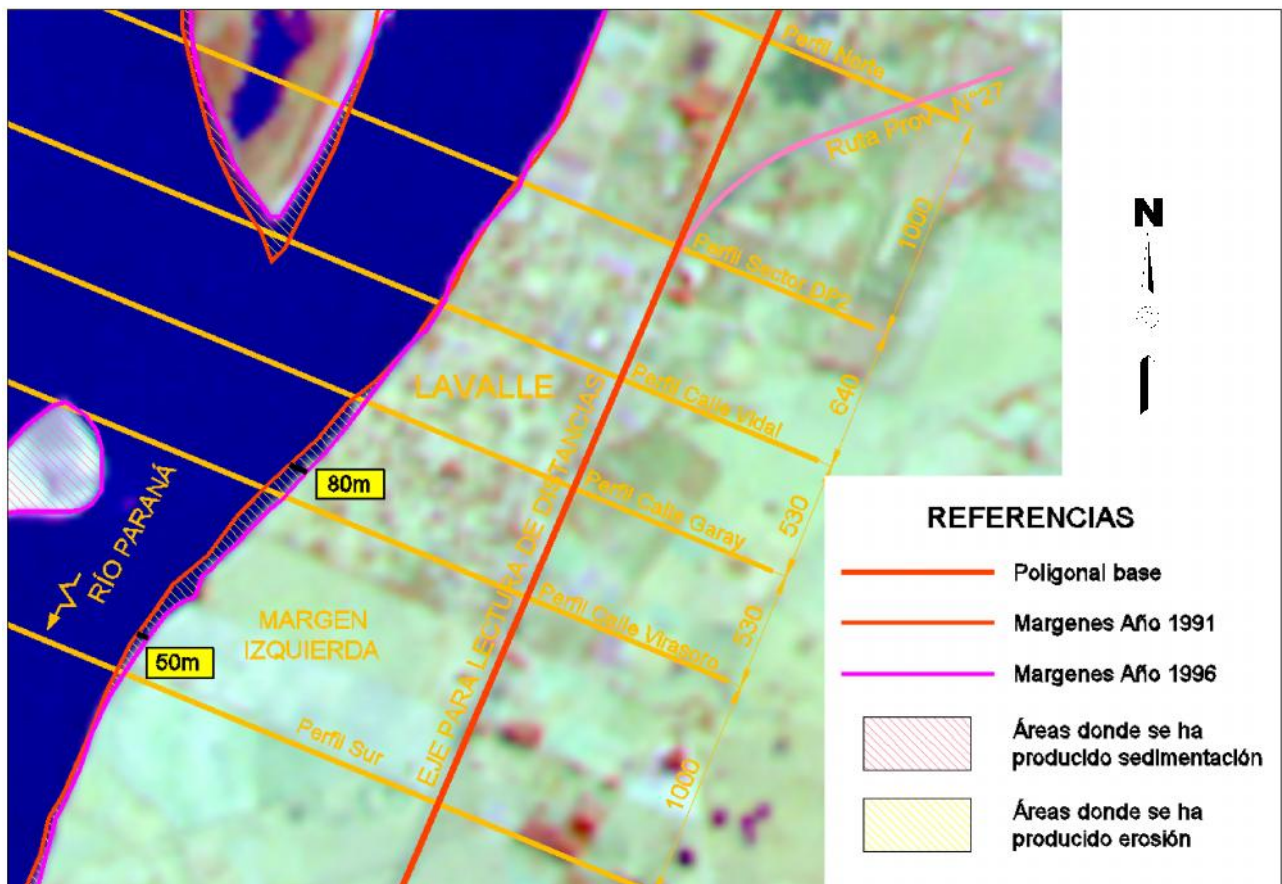
Figura 4.8. Comparación de líneas de costa de 1972 y 1991, sobre imagen de 1991.



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

La lamina M02 cubre con sus 2 figuras (Figura 3 y 4) un periodo total de 8 años que aunque no es muy extenso permite percibir como el sector de la margen que está cubriendo el proceso erosivo se desplaza en dirección sur, entre el Perfil Calle Garay y el Perfil Sur en la Figura 3 del anexo; mientras que en la Figura 4 desde el Perfil Calle Virasoro y avanza hacia el sur del Perfil Sur.

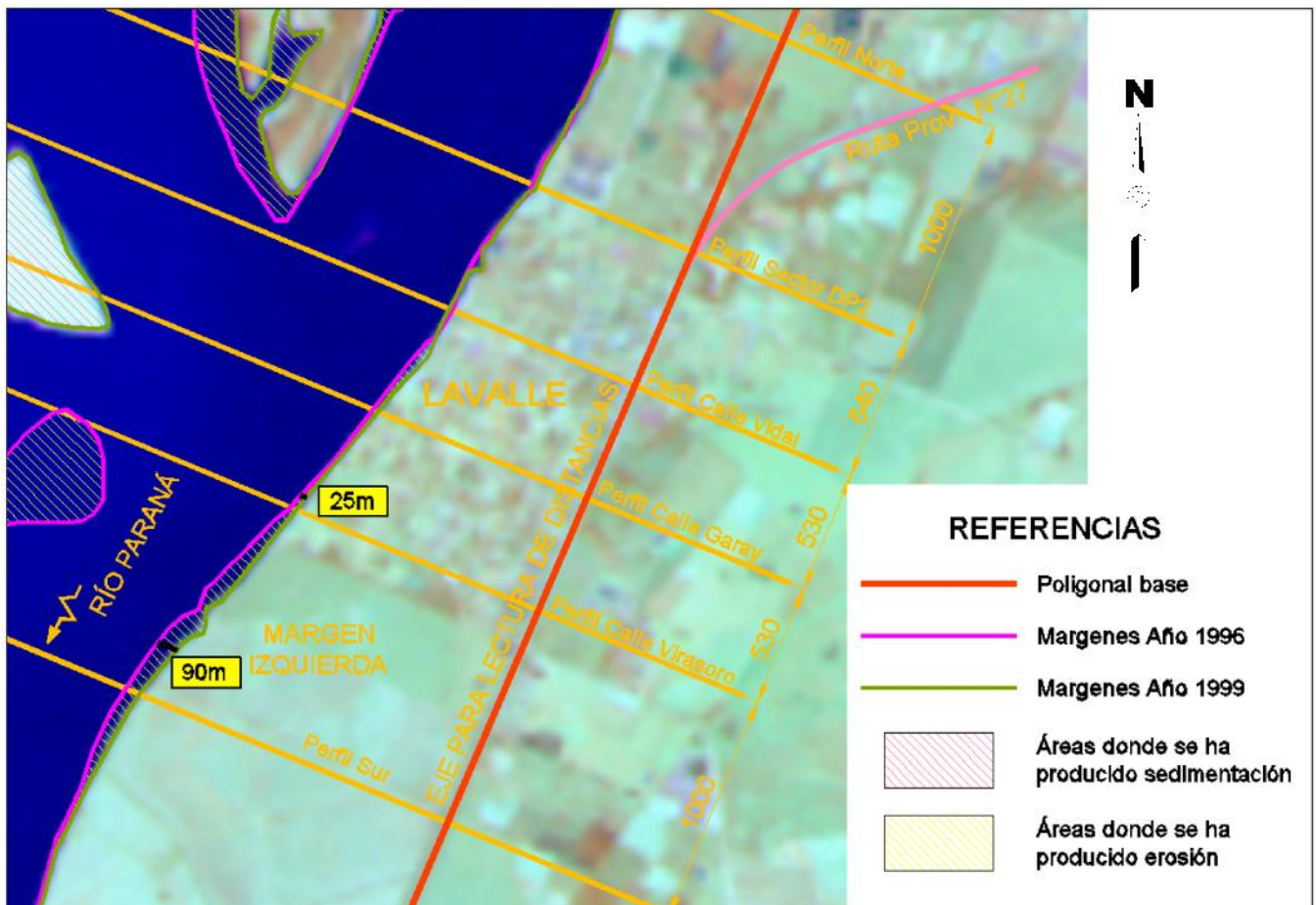
Analizando la Tabla 4.12 donde se calcularon las velocidades de desplazamiento de la costa se observa como el Perfil Calle Virasoro disminuyo la velocidad de desplazamiento de la margen de 19,1 a 9,9 m/año entre el periodo 1991-1996 y 1996-1999; mientras que el Perfil Sur aumento su velocidad de erosión de 7,1 a 21,1 m/año en los mismos periodos. Ver Figura 4.9 y 4.10.



**Figura 4.9.** Comparación de las líneas de costa de 1991 y 1996, sobre la imagen de 1996



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

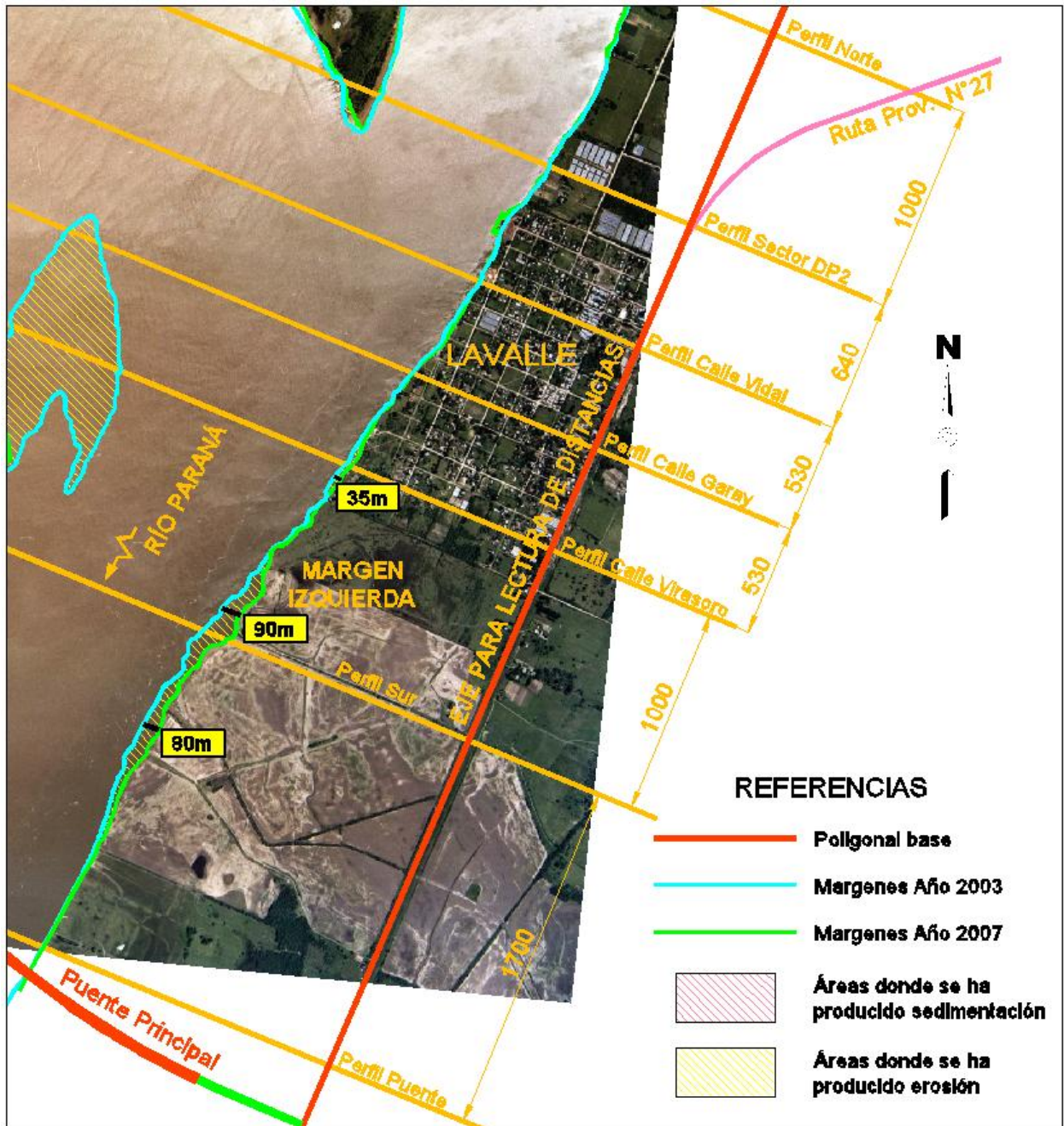


**Figura 4.10.** Comparación de las líneas de costa de 1996 y 1999, sobre la imagen de 1999

Las Figuras 5 y 6 del Anexo, que se encuentran agrupadas en la lamina M03 describen una continuidad del proceso descrito para las Figuras 3 y 4. Ya en la Figura 6 que representa el periodo 2003-2007 se observa que el proceso erosivo está circunscripto a los alrededores del Perfil Sur y en este último periodo la velocidad de erosión alcanza 30,9 m/año en coincidencia con el mencionado perfil. Si se avanza hacia el norte de, hacia el ejido urbano nos encontramos con que los perfiles de las calles Garay, Vidal y del Sector DP2 no registran velocidades nulas de erosión y aun más al norte en el Perfil Norte se registran velocidades de sedimentación de 3,6 m/año.

El avance de la erosión en el periodo 2003-2007 en el sector sur puede apreciarse en la figura 4.11.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes



**Figura 4.11.** Comparación de las líneas de costa de 2003 y 2007, sobre la foto aérea de 2007

La lamina M04 incluye la Figura 7 (periodo 1991-2007) y la Figura 8 (periodo 1991-2007). De estas figuras se puede concluir que ha habido un proceso de estrechamiento del cauce al sur de la ciudad (Perfiles Cauce 3 y 4) y por otro lado una erosión constante de la costa de la ciudad de Lavalle que en el periodo de estudio ha alcanzado valores de 820m. Ver Figura 4.12.



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

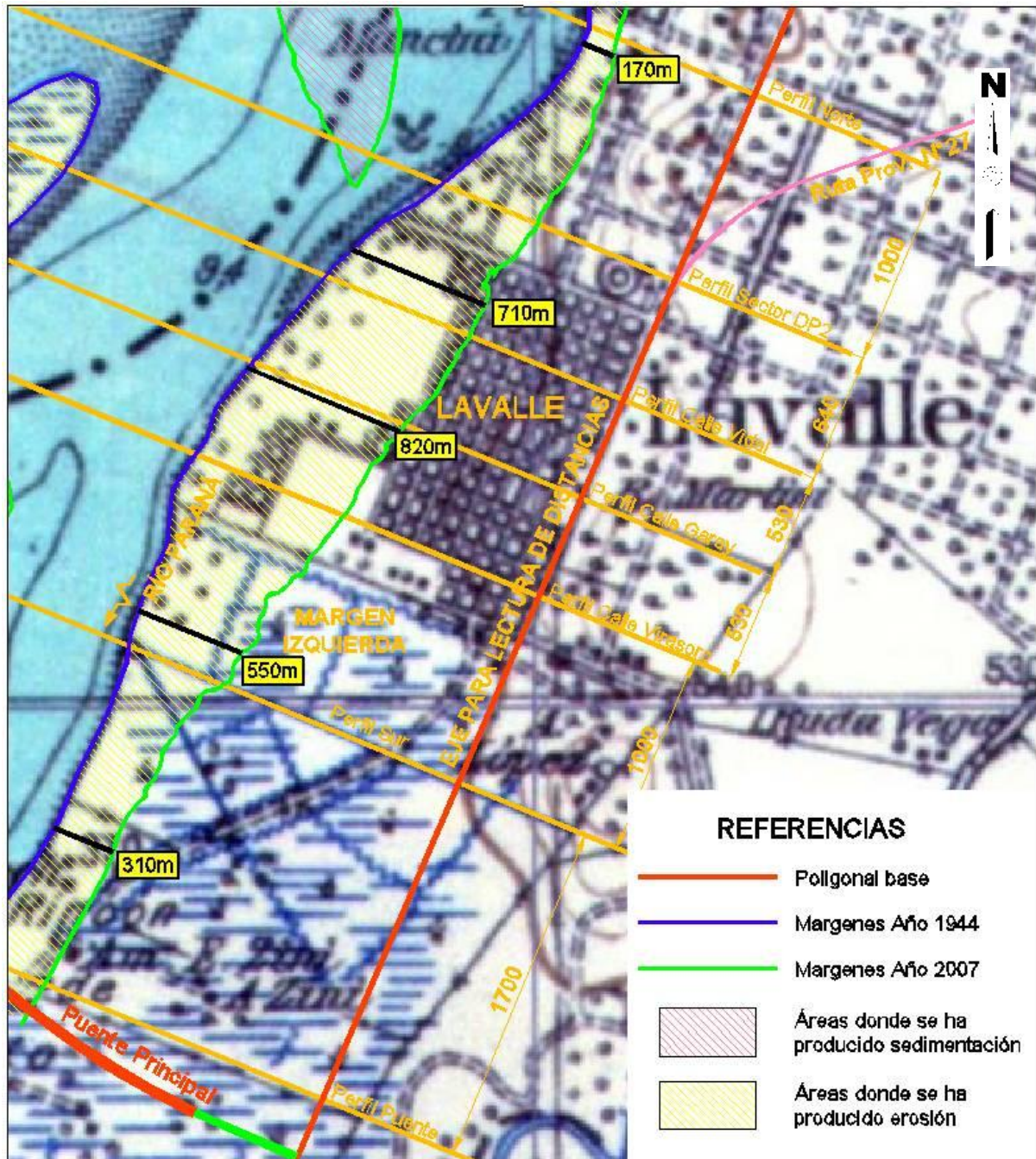


Figura 4.12. Comparación de las líneas de costa de 1944 y 2007, sobre la carta de 1944

#### 4.2.5 Identificación de tendencias evolutivas

Como resultado el análisis morfológico realizado a partir del estudio multitemporal basado en la comparación de la evolución del cauce en cartas cartográficas, imágenes satelitales y fotos aéreas recientes, el Río Paraná en el tramo de análisis presenta marcada actividad

Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

morfodinámica que se manifiesta en el crecimiento en área y altura de bancos que han producido un estrechamiento del cauce; y en importantes fenómenos de erosión de márgenes en la costa de la ciudad.

En consecuencia la dinámica morfológica del sector del río en estudio muestra la ocurrencia de procesos de sedimentación sobre la margen derecha acompañados por procesos de erosión sobre la margen izquierda.

Al analizar el cambio de la margen derecha se puede asociar una tasa de erosión a la costa de 30 m/año en coincidencia con el punto que actualmente muestra la máxima curvatura (Perfil Sur). Este punto se ubica aproximadamente a 1km al sur del límite del ejido urbano de la ciudad. La ubicación actual del punto de máxima curvatura viene de un proceso de migración hacia aguas abajo del ápice del meandro. La migración del meandro ya está produciendo procesos de sedimentación al norte de la ciudad.

Es importante destacar que los efectos erosivos de la margen izquierda (costa de la ciudad de Lavalle) se aceleran durante las crecidas, cuando el flujo por el nivel alcanzado puede atacar las barrancas, y prácticamente se detienen durante los estiajes dado que existe una playa protectora que amortigua la erosión para niveles de agua ordinarios.

### 4.3 CONCLUSIONES

Aproximadamente a 5km al norte de Lavalle está ocurriendo un proceso de meandrización en la margen derecha del río, debido a este proceso los filetes líquidos se dirigen hacia la margen opuesta e impactan contra la costa de Lavalle con ángulos variables según sea la conformación de las islas adyacentes al brazo principal que se encuentran ligeramente aguas arriba de este punto. El análisis de las imágenes y fotos de la zona permite concluir que la zona norte de la ciudad existe actualmente estabilidad de la margen mientras que la zona de erosión, que aún se mantiene activa en la zona sur de la ciudad, se está desplazando hacia el sur Lavalle en donde se registran las mayores velocidades de erosión.

Los procesos de erosión en las barrancas de la ciudad de Lavalle y al sur de la misma presentan velocidades de desplazamiento altas debido a que en su evolución convergen la acción fluvial, que actualmente se está alejando de la ciudad, y procesos de remoción en masa de las barracas. Este proceso de remoción en masa se da como el resultado de la combinación de factores geotécnicos y fluviales, en los que el desplazamiento lateral incorpora una fuerte componente de falla geotécnica.



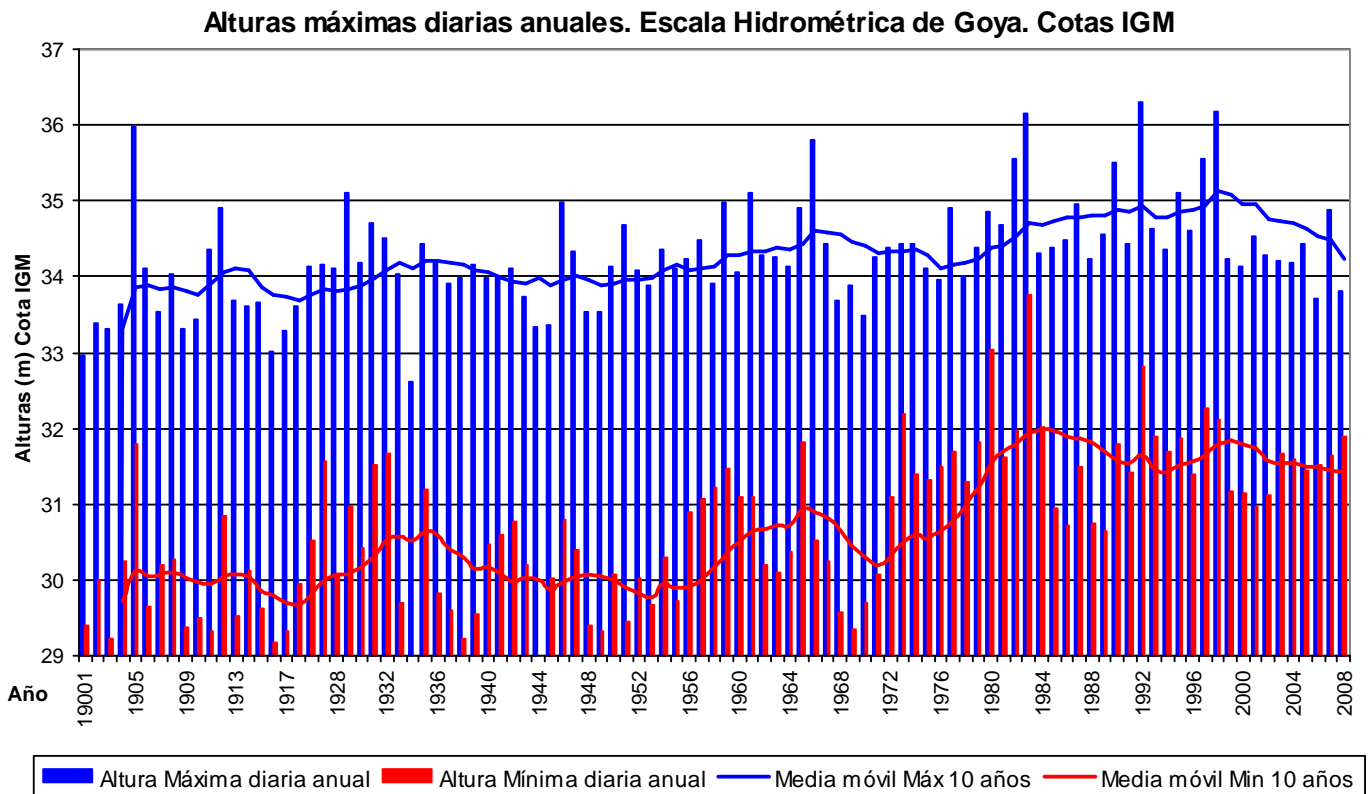
Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

## 5 ESTUDIOS HIDROLÓGICOS E HIDRAÚLICOS

### 5.1 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE ALTURAS

En la Dirección Nacional de Vías Navegables se recabó información de alturas máximas y mínimas diarias anuales en los puertos de Goya y Bella Vista, la cual se analizó para obtener la estadística de alturas máximas y mínimas en la localidad de Lavalle.

Estas alturas relacionadas con cada escala luego se trasladaron a cota IGM, teniendo la información de la cota MOP del 0 de cada escala y la relación entre ambos sistemas. Para el caso del puerto de Goya el cero tiene una cota de 29,67 m y en Bella Vista la cota del 0 de



**Fig. 5.1.** Registro de alturas máximas y mínimas en Goya

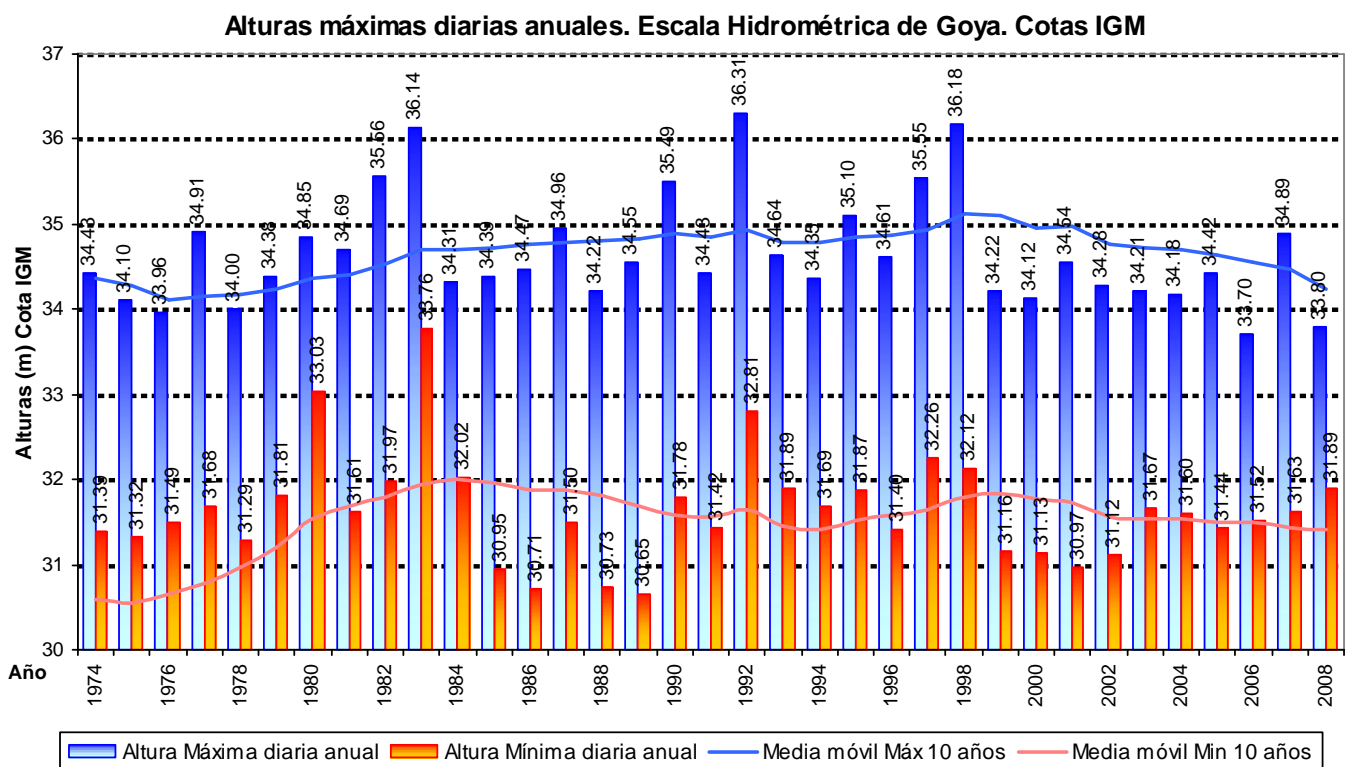
la escala es de 34,37 m, a los cuales se les descontó 0,556 m para pasarlas a IGM. En el gráfico siguiente se pueden ver los valores de la localidad de Goya desde 2001.

Puede observarse que en los últimos 30 a 35 años se han incrementado los niveles máximos alcanzados, ocurriendo en este período la mayoría de las grandes crecidas registradas, y principalmente se han incrementado notablemente los niveles mínimos del río,

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

encontrándose las bajantes máximas de este período cerca de 2m de las que se alcanzaron con anterioridad. Este cambio en el comportamiento del río se asocia a la existencia de un período más húmedo pero principalmente viene dado por cambios estructurales que se han producido en la cuenca, como la gran deforestación que ha sufrido con el incremento de las escorrentías, y la construcción de represas que principalmente influyen en la disminución de las bajantes pronunciadas debido a la laminación de las crecidas menores que producen, lo que no sucede con las grandes crecidas en las que el poder de regulación es escaso.

Debido a estas modificaciones en el comportamiento del río, muchas de ellas de carácter irreversible en el período que se desea estudiar, para el análisis estadístico se emplearon las series cortas de los últimos 35 años, que representan mejor el comportamiento a futuro de los niveles del río.

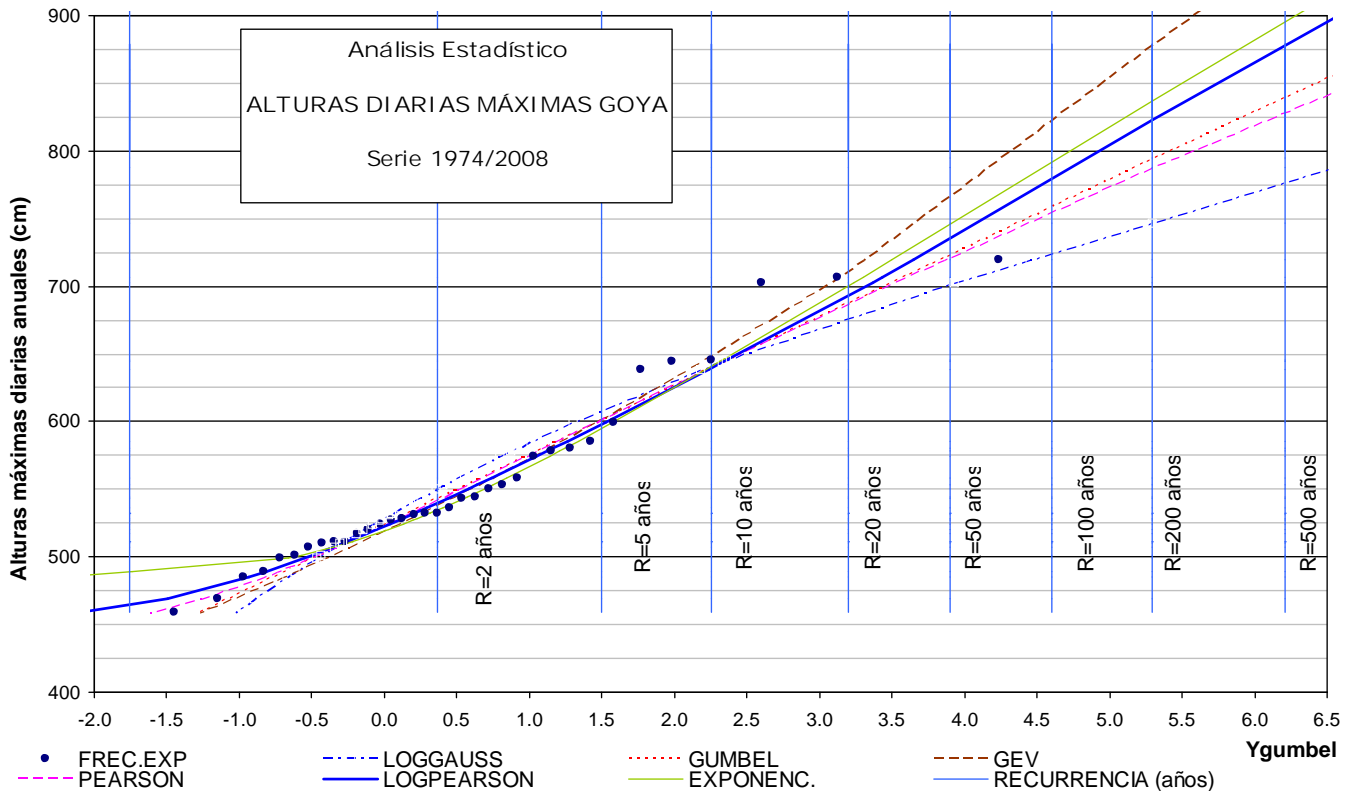


**Fig. 5.2.** Alturas máximas y mínimas en Goya, últimos 35 años.

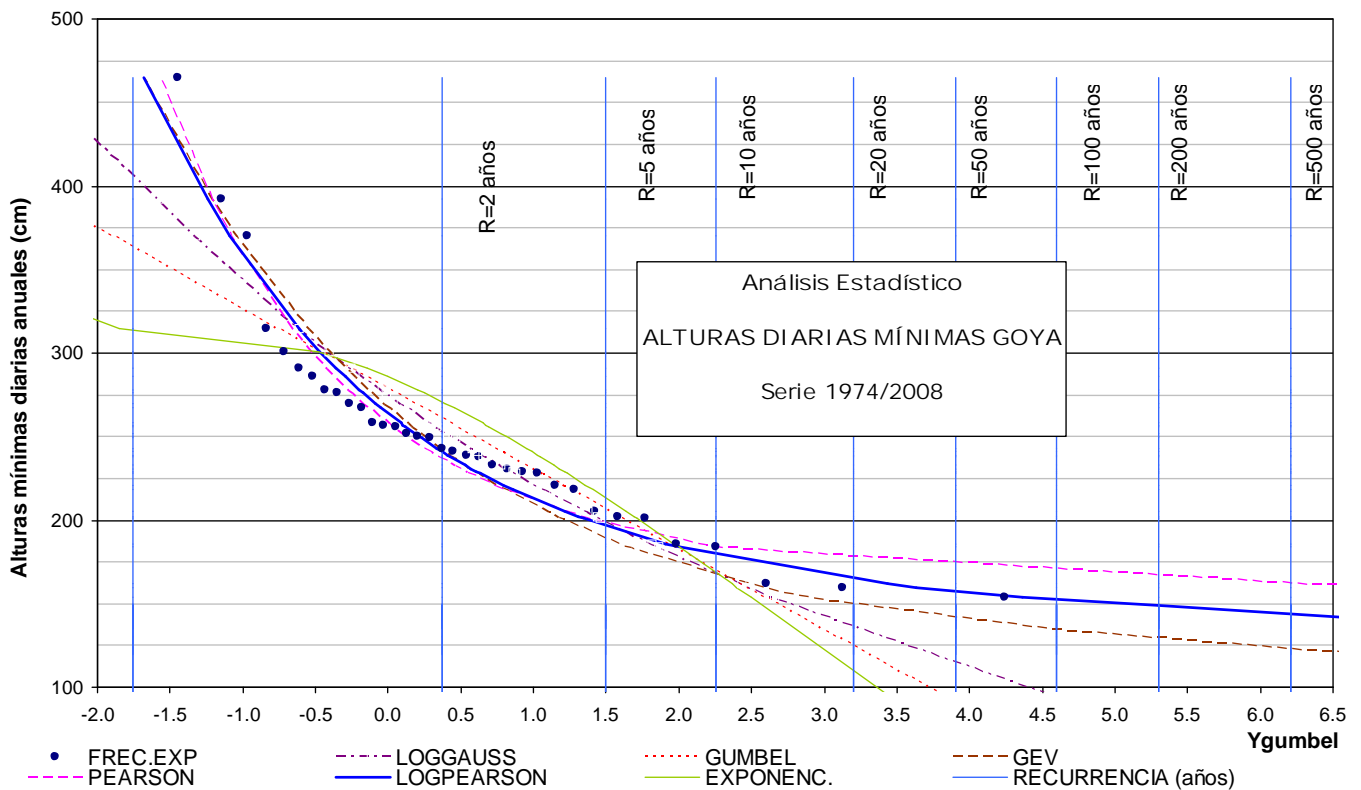
Se realizó el análisis de frecuencia de alturas mínimas y máximas en Goya y Bella Vista aplicando el modelo AFMULTI que permite ajustar las distintas series de datos con distintas funciones de distribución de probabilidades.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

En los gráficos siguientes se muestran los ajustes para las alturas máximas y mínimas de Goya, en ambos casos, así como en Bella vista, la serie de mejor ajuste fue la LogPearson,



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes



**Fig. 5.3.** Ajuste de funciones de distribución de alturas máximas y mínimas en Goya.

La distancia desde Bella Vista a Goya medida por el cauce principal es de unos 77km, mientras que entre Goya y Lavalle es de unos 16km, en ambos casos Goya se encuentra aguas abajo.

La pendiente entre ambos sitios para valores máximos y mínimos fue de entre 5,5 y 6 cm/km, adoptándose para el tramo Goya-Lavalle se adoptó una pendiente de 5cm/km, considerando que la pendiente se va incrementando hacia aguas arriba y de acuerdo al análisis de los datos de relevamiento. Con lo cual se obtuvieron los siguientes valores de máximos y mínimos para distintas recurrencias.



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

### Alturas Máximas y Mínimas diarias - Distribución LogPearson (IGM)

Probabi- lidad de ocurrencia	Recu- rrencia Años	Máximas Diarias Anuales			Mínimas Diarias Anuales		
		Goya	<b>Lavalle</b>	Bella Vista	Goya	<b>Lavalle</b>	Bella Vista
0.5	2	34.51	<b>35.31</b>	39.46	31.53	<b>32.33</b>	35.86
0.2	5	35.09	<b>35.89</b>	40.08	31.08	<b>31.88</b>	35.43
0.1	10	35.50	<b>36.30</b>	40.49	30.90	<b>31.70</b>	35.28
0.05	20	35.91	<b>36.71</b>	40.88	30.79	<b>31.59</b>	35.19
0.04	25	36.05	<b>36.85</b>	41.00	30.76	<b>31.56</b>	35.17
0.02	50	36.47	<b>37.27</b>	41.39	30.69	<b>31.49</b>	35.13
0.01	100	36.90	<b>37.70</b>	41.78	30.64	<b>31.44</b>	35.10
0.005	200	37.34	<b>38.14</b>	42.17	30.60	<b>31.40</b>	35.08

**Tabla 5.1.** Recurrencias de alturas máximas y mínimas.

Por último se analizó la permanencia de distintas alturas para lo cual se trazó la curva Altura-Frecuencias para la ciudad de Goya y en base a estas se trazó la curva para la ciudad de Lavalle aplicando la diferencia de alturas considerada anteriormente.

Para ello se contaba con información completa para de alturas diarias en la escala de la ciudad de Goya, la que fue trasladada a cota IGM sumando el valor del cero de la escala en cota MOP y descontándole la relación entre cota MOP e IGM.

Esta curva representa la frecuencia con la cual una determinada altura es superada. Por ejemplo una frecuencia del 15%, que para Lavalle resulta una altura de 35,01m de cota IGM, indica que un 15% del tiempo el nivel del agua estará por encima de este valor, por lo que el otro 85% del tiempo el agua estará por debajo de este valor. También determina el nivel medio del río, que corresponde a una frecuencia del 50%, en el caso de Lavalle resulta este nivel el correspondiente a una cota de 33,61m.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

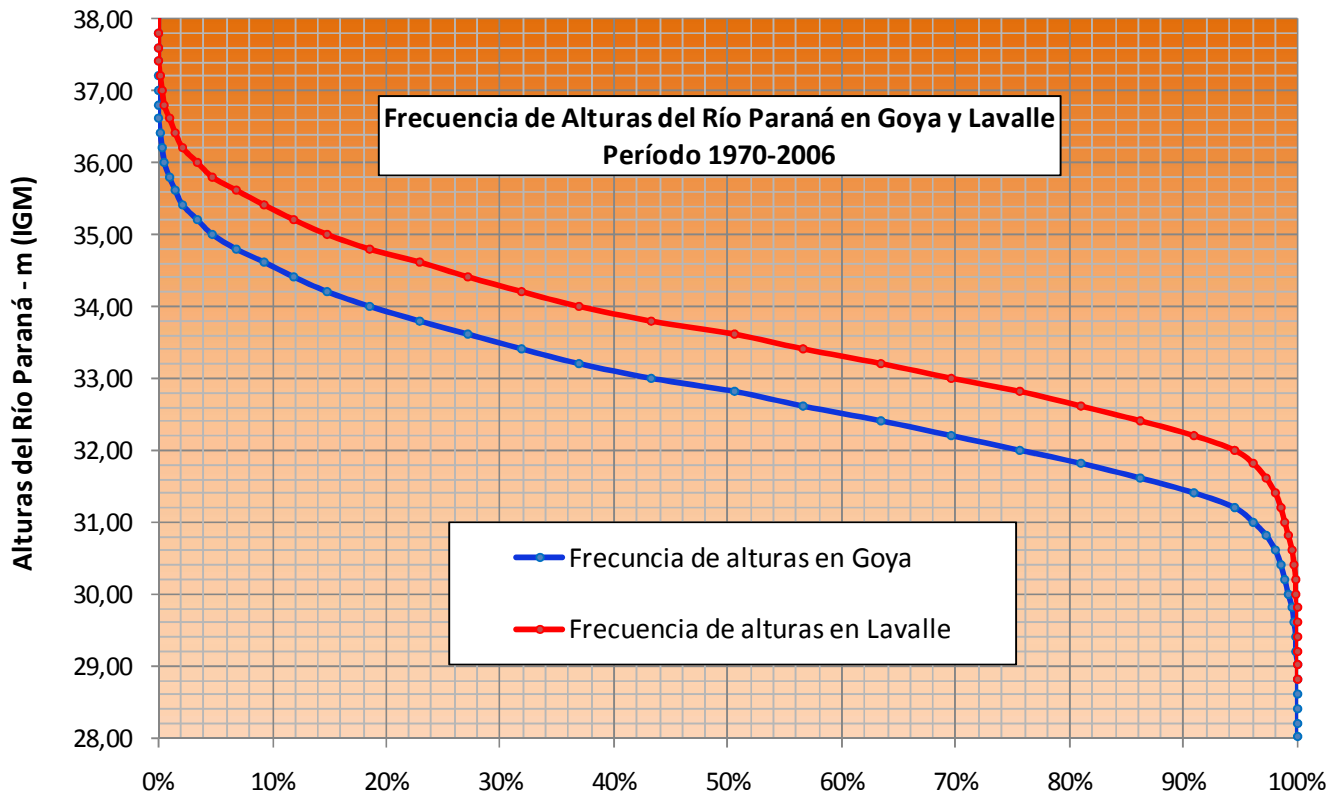


Fig. 5.4. Curvas de altura Frecuencias del Río Paraná en Goya y Lavalle.

## 5.2 DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES

Del "Estudio Integral del Río Paraná en su Tramo Medio y su Influencia en el Area de la Ciudad De Santa Fe" se obtuvo la información de caudales del río Paraná en la ciudad de Corrientes para distintas recurrencias, de 2 a 100 años. A su vez del informe del Modelación Bidimensional del estudio de la Vinculación Goya Reconquista se contaba con la información del caudal para 100 años de recurrencias en la zona de estudios, para todo el río Paraná y el caudal para esta recurrencia que pasa por el puente principal. Esta relación entre el caudal de la zona y el de la ciudad de Corrientes (97,4%) se aplicó para las demás recurrencias.

Mientras que para la relación entre el caudal del cauce principal y el total del río Paraná en la zona se consideró la información de la modelación de 100 años de recurrencia, en la que la relación fue de un 67,2% y para recurrencias menores se partió de la relación entre el caudal aforado el 28 del 10 frente a Lavalle, y la información de aforos realizada el día 24 de

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

octubre en Corrientes, suministrada por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, que aforó un caudal de 16889m<sup>3</sup>/s, resultando una relación entre el cauce principal y el total del río Paraná del 98%, luego para una recurrencia de 2 años se adoptó un valor similar a la relación aforada durante la creciente de marzo de 2007 para el estudio de defensas de la ciudad de Cayastá, en la que se obtuvo una relación del 92% entre el cauce principal y el total del río Paraná.

En los gráficos siguientes se pueden ver los caudales adoptados para distintas frecuencias y la distribución del caudal para el cauce principal y el total del Paraná en la zona de Lavalle, relacionada con las alturas halladas para distintas recurrencias.

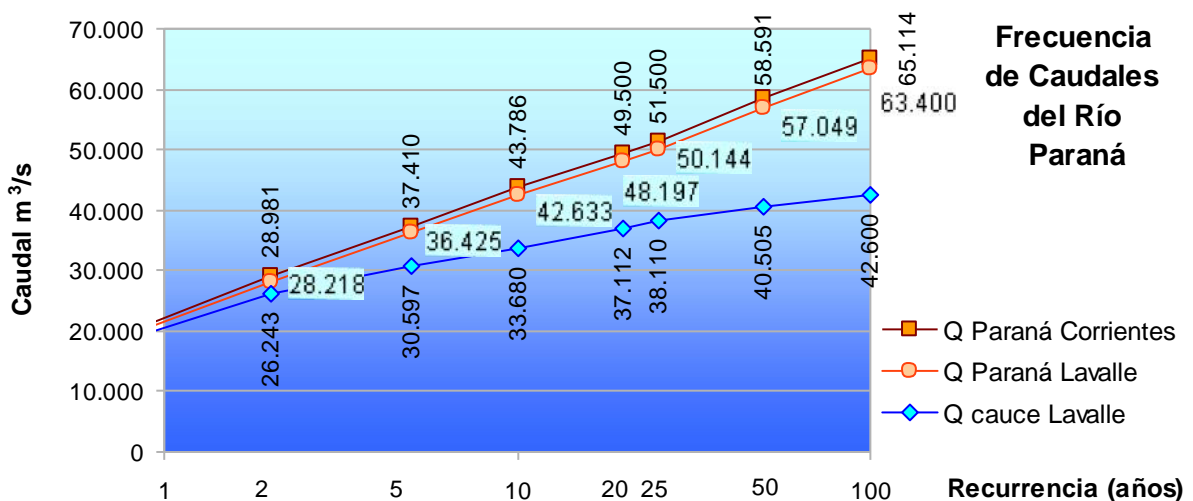


Fig. 5.5. Frecuencia de caudales del río Paraná.

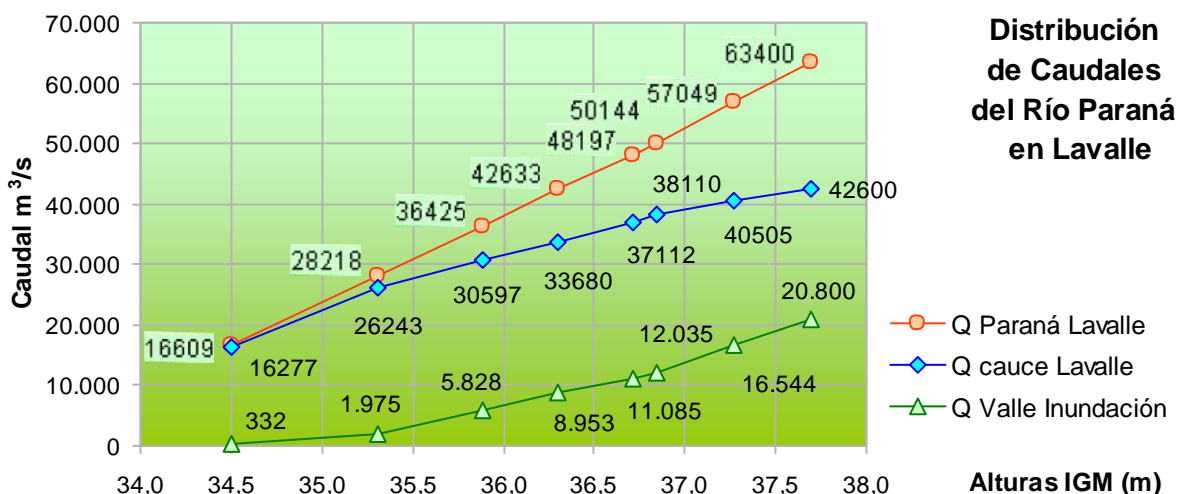


Fig. 5.6. Distribución de caudales del Río Paraná en Lavalle.



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

### 5.3 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDRAÚLICO

Se realizó la modelación del tramo del río Paraná frente a la ciudad de Lavalle utilizando el programa bidimensional RMA2, el que se aplicó a un entorno de 5km de longitud, comenzando aguas debajo de la traza prevista del puente principal de la vinculación vial Goya – Reconquista, y superando la ciudad de Lavalle en 1km, y de unos 5km de ancho cubriendo el cauce principal y los cursos secundarios que pasarán por el puente principal. En la figura siguiente puede verse la malla de elementos finitos modelada sobre la imagen satelital, la que en la zona del cauce principal cuenta con una cuadrícula de 100 x 100 m, en la zona de islas esta tiene 100 x 200m y en los cauces secundarios y el borde de la costa correntina tiene una malla más cerrada para representar mejor estos sitios particulares.

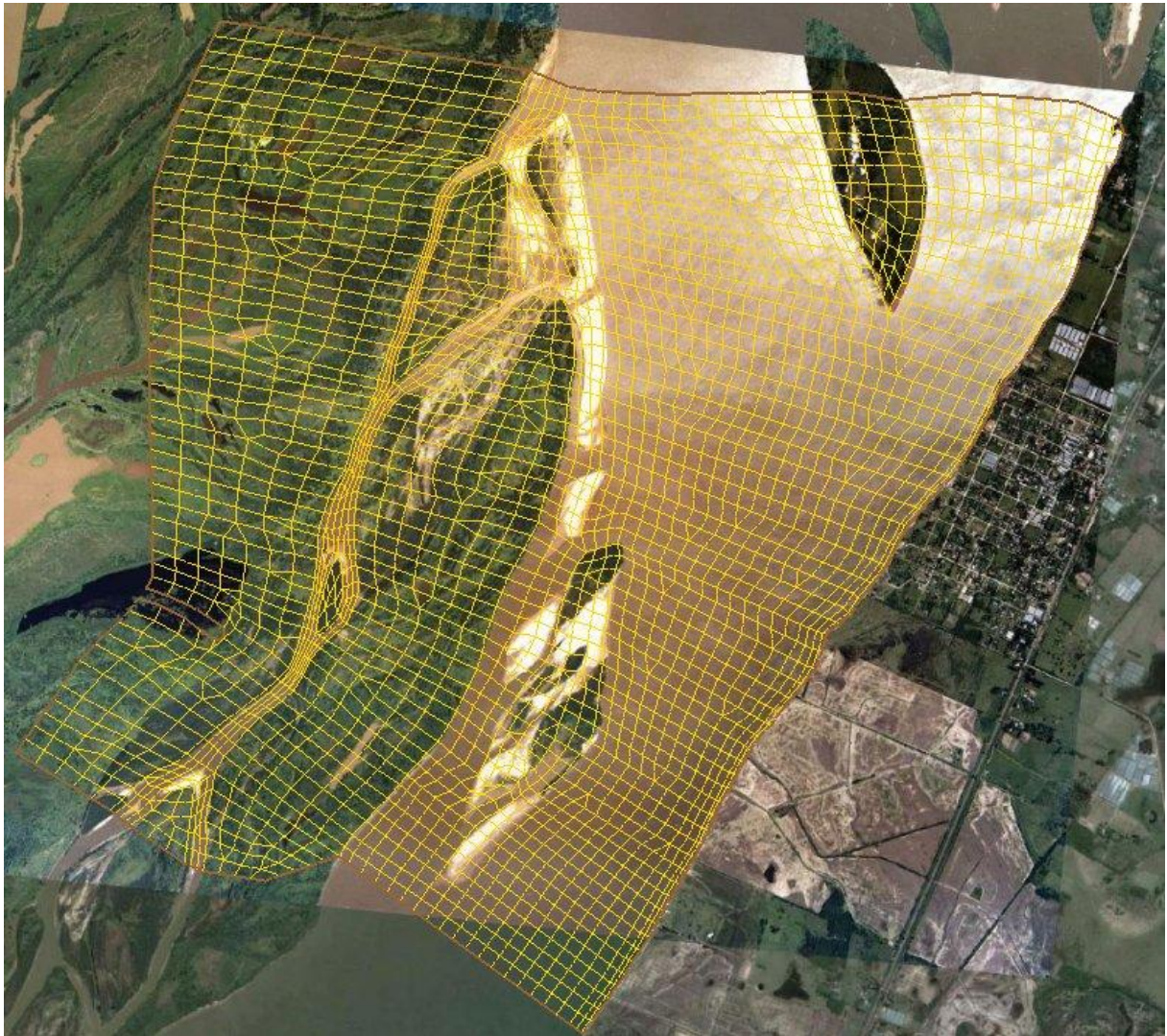


Fig. 5.7. Malla de elementos del modelo bidimensional.

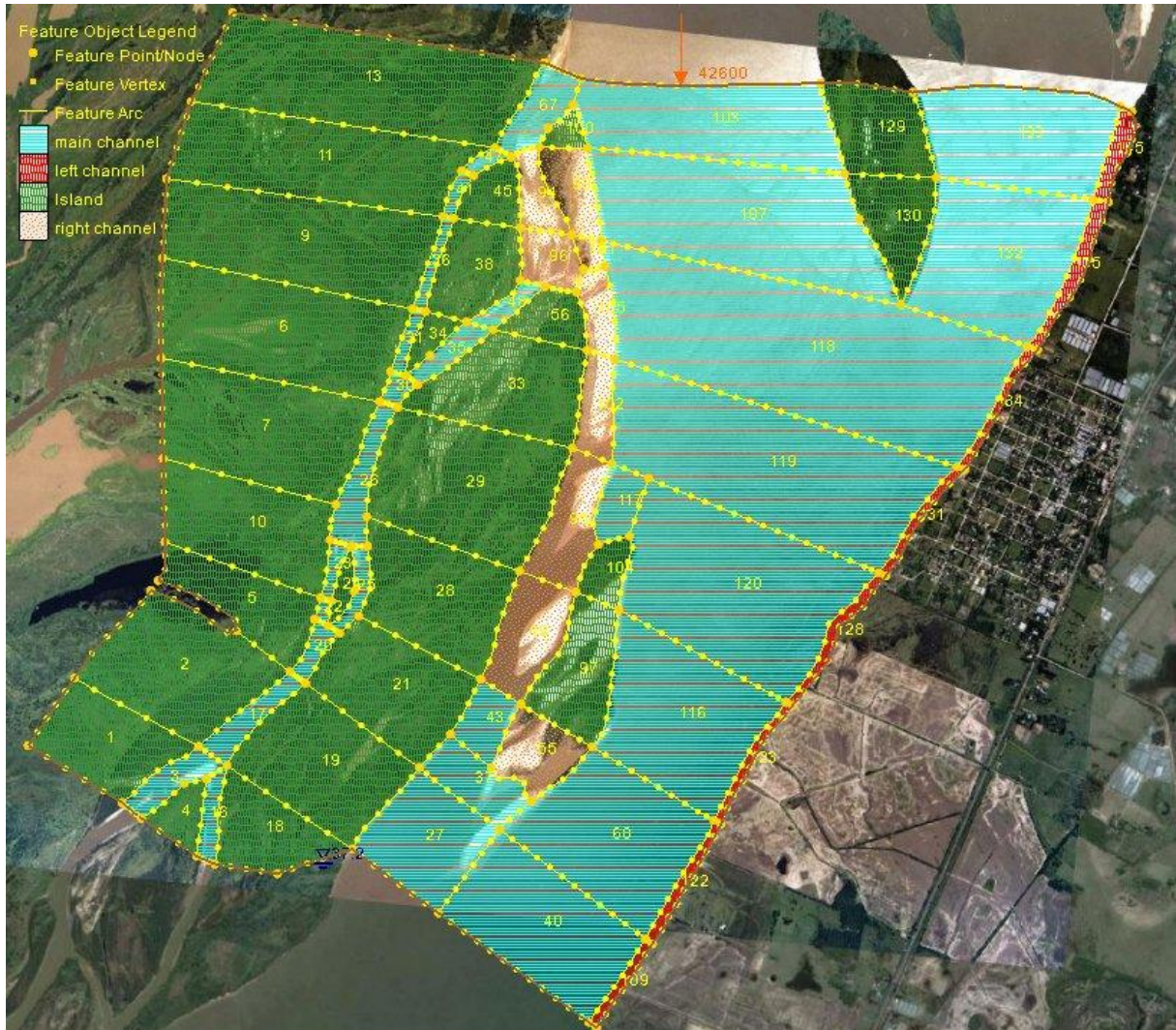


Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

Esta malla se construyó a partir de polígonos a los que se asociaron distintos tipos de superficies con distintas rugosidades, de acuerdo a los siguientes coeficientes de Manning:

- |                    |       |                     |       |
|--------------------|-------|---------------------|-------|
| - Cauce principal: | 0,022 | - Margen izquierda: | 0,025 |
| - Margen derecha:  | 0,028 | - Isla:             | 0,065 |

El estribo derecho del puente principal se incorporó como una zona vacía dentro de la malla.



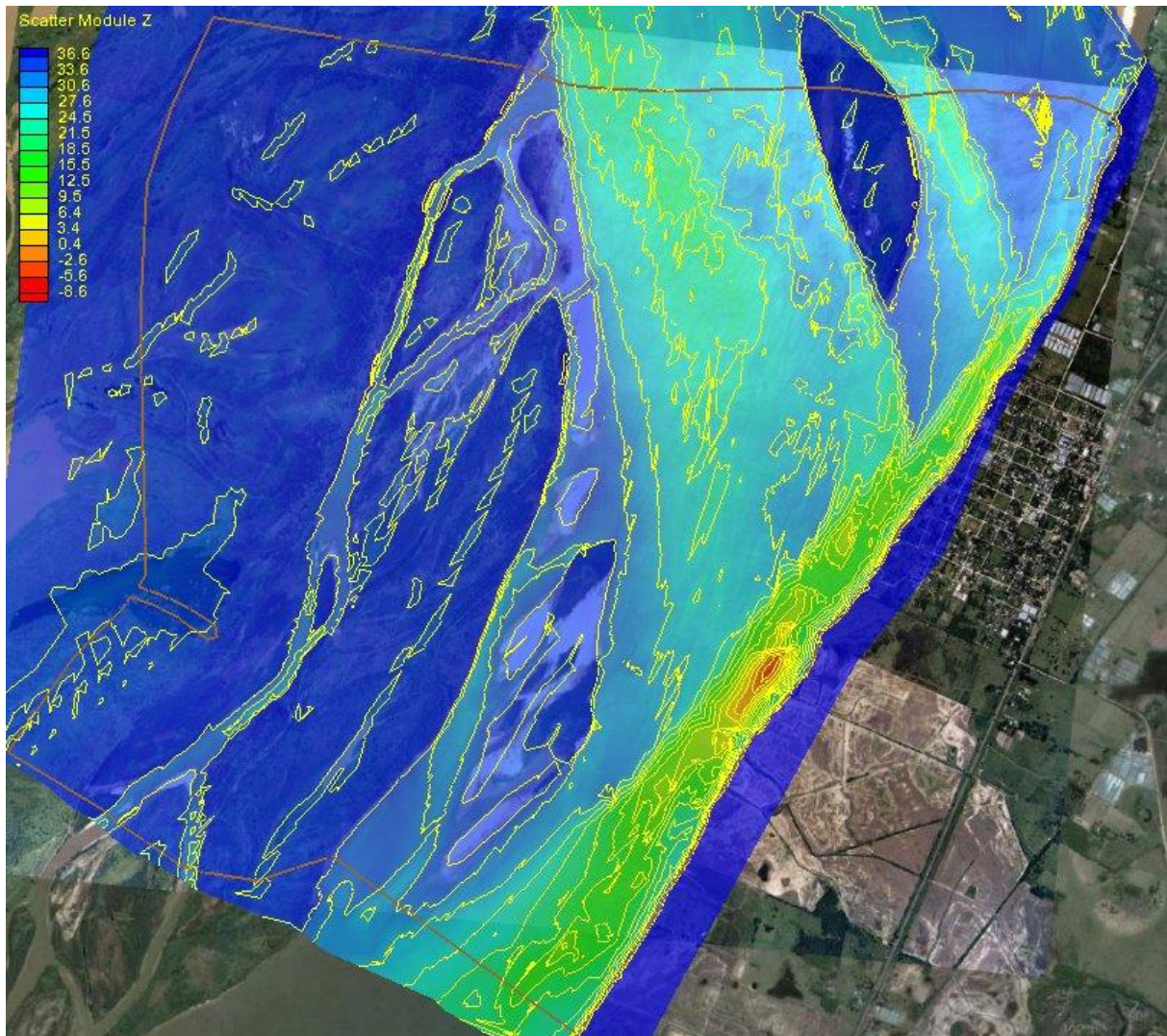
**Fig. 5.8.** Polígonos de rugosidades

Esta modelación se basó en los resultados obtenidos en la modelación general realizada para el estudio de la vinculación vial a los efectos de ingresar las condiciones de borde como caudales de ingreso al sistema y niveles de salida aguas abajo, teniendo en cuenta además la estadística de alturas del río Paraná en las ciudades de Goya y Bella Vista y los aforos realizados el día 27 de octubre en la zona.



Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

En cuanto a la topografía se amplió la información existente con los relevamientos topobatimétricos con más detalles realizados en el cauce y la costa. Con la nube de puntos obtenidas se obtuvo un modelo digital de terreno que luego se utilizó para interpolar con cada nodo de la malla (de unos 8250 nodos) y asignar una cota de terreno a cada nodo.



**Fig. 5.9.** Modelo digital del terreno.

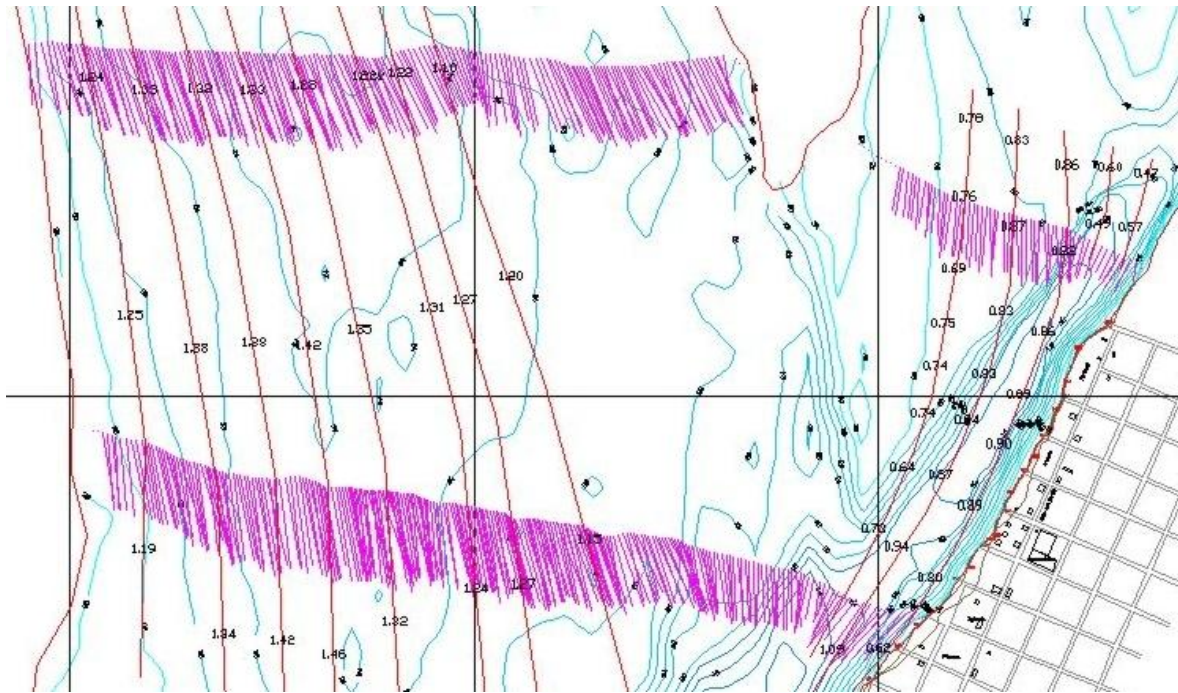
Para la calibración del modelo se utilizó la información de aforos y niveles levantada durante la ejecución de la campaña realizada a fines de octubre. En esta oportunidad se realizaron aforos frente a la ciudad de Lavalle y en un perfil ubicado más al norte donde se tomaron los dos brazos principales del río separados por una isla que se encuentra en el medio del cauce. Los aforos se realizaron con un perfilador dopler que suministra información de



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

velocidad en toda la vertical, así como velocidad media en la vertical y dirección de la misma.

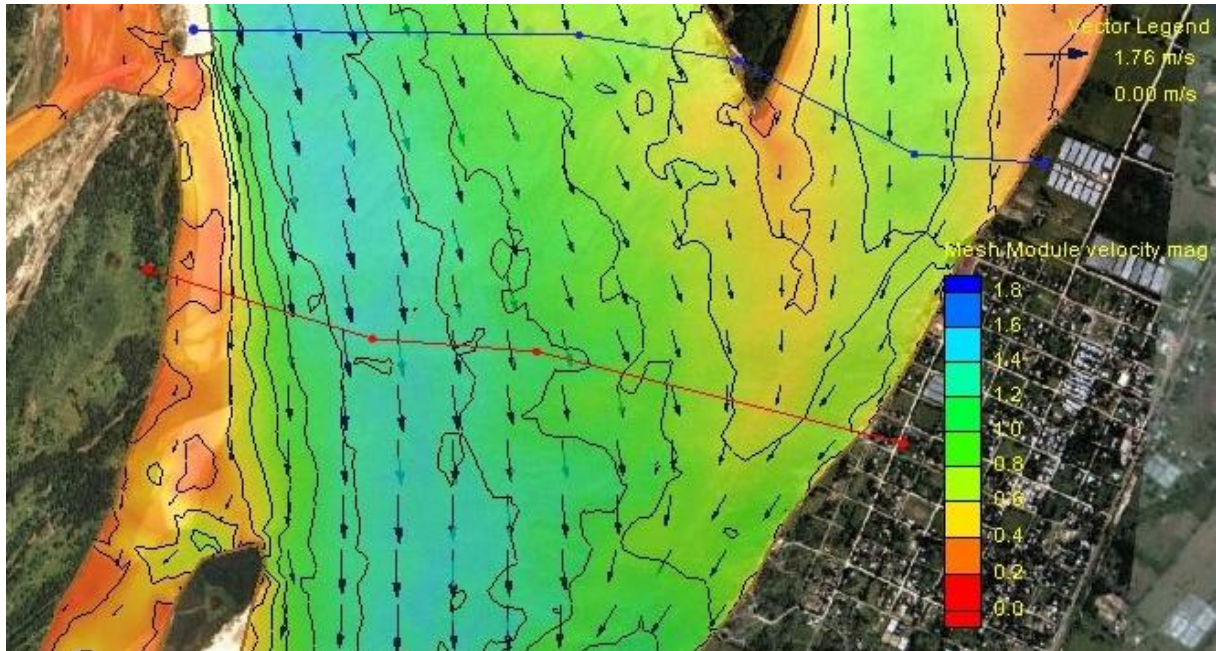
También se realizaron corridas de flotadores, con las que se pudieron determinar líneas de corrientes y velocidades puntuales.



**Fig. 5.10.** Aforos y corridas de flotadores.

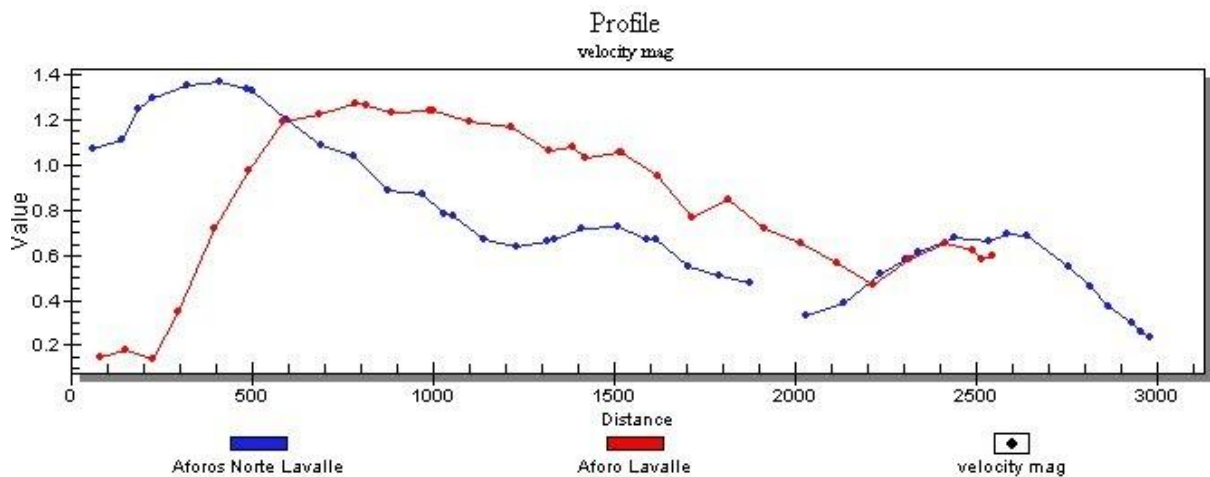
Se ingresaron el caudal aforado y el nivel relevado aguas abajo al modelo obteniendo una salida en la que ubicaron perfiles de observación y puntos dentro de los mismos.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes



**Fig. 5.11.** Salida de calibración del modelo.

En estos perfiles de observación se obtuvieron resultados del modelo muy parecidos a los relevados, principalmente en el perfil ubicado frente a Lavalle y el del brazo izquierdo ubicado al norte.



**Fig. 5.12.** Velocidades del modelo en coincidencia con los perfiles aforados.

A su vez con la información puntual se compararon los valores observados en los aforos con los suministrados por el modelo obteniéndose un muy buen grado de coincidencia en las direcciones del flujo y encontrándose las magnitudes de los valores puntuales dentro del



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

rango de 0,1 m/s respecto de la velocidad medida, salvo en el brazo derecho del perfil norte donde se encontraron algunos valores con tolerancias de menos de 0,15m/s (esc. amarilla).

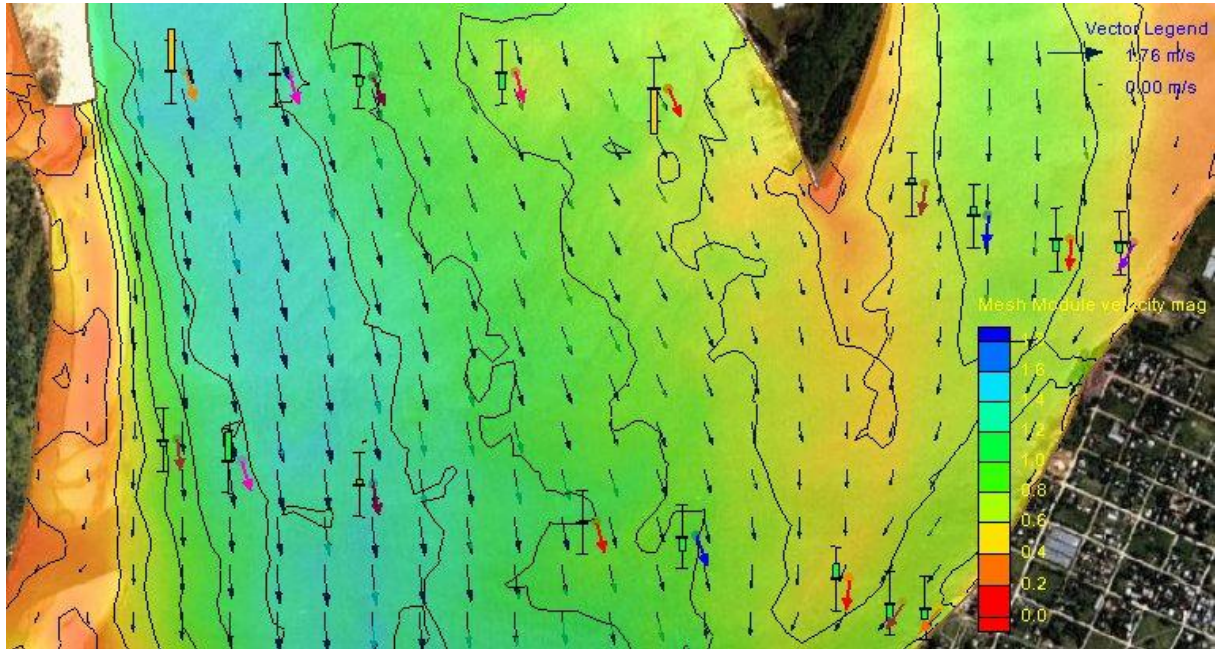


Fig. 5.13. Vectores de velocidades puntuales aforadas y salida del modelo.

Observation Points										
	Color	Observe	Name	x	y	Angle	Observed Value	Interval	Computed Value	Residual Value
1	■	✓	Brazo Norte Izq. 1	557959...	679041...	209.9	0.41	0.1	0.380	-0.030
2	■	✓	Brazo Norte Izq. 2	557943...	679042...	183.9	0.66	0.1	0.624	-0.036
3	■	✓	Brazo Norte Izq. 3	557921...	679048...	185.2	0.65	0.1	0.677	0.027
4	■	✓	Brazo Norte Izq. 4	557905...	679056...	190.1	0.54	0.1	0.559	0.019
5	■	✓	Brazo Norte Der. 1	557838...	679081...	156.7	0.82	0.1	0.680	-0.140
6	■	✓	Brazo Norte Der. 2	557798...	679085...	165.5	0.71	0.1	0.655	-0.055
7	■	✓	Brazo Norte Der. 3	557761...	679084...	158.0	1.06	0.1	1.031	-0.029
8	■	✓	Brazo Norte Der. 4	557739...	679085...	162.8	1.23	0.1	1.233	0.003
9	■	✓	Brazo Norte Der. 5	557712...	679085...	161.3	1.21	0.1	1.348	0.138
10	■	✓	Perfil Lavalle 1	557908...	678946...	219.2	0.66	0.1	0.625	-0.035
11	■	✓	Perfil Lavalle 2	557899...	678947...	213.9	0.71	0.1	0.651	-0.059
12	■	✓	Perfil Lavalle 3	557885...	678954...	186.9	0.43	0.1	0.475	0.045
13	■	✓	Perfil Lavalle 4	557845...	678965...	160.1	0.85	0.1	0.806	-0.044
14	■	✓	Perfil Lavalle 5	557819...	678968...	164.9	0.98	0.1	0.983	0.003
15	■	✓	Perfil Lavalle 6	557761...	678978...	169.8	1.22	0.1	1.238	0.018
16	■	✓	Perfil Lavalle 7	557727...	678984...	163.4	1.07	0.1	1.162	0.092
17	■	✓	Perfil Lavalle 8	557710...	678990...	173.7	0.92	0.1	0.901	-0.019

Fig. 5.14. Valores de velocidades puntuales aforadas y salida del modelo.



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

#### 5.4 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA

Se realizaron corridas del modelo para crecientes de 5, 20 y 100 años de recurrencia, considerando como condiciones de borde el nivel aguas debajo de modo que resulte un nivel similar al calculado para la localidad de Lavalle para distintas recurrencias e ingresando un caudal aguas arriba correspondiente al del cauce principal de acuerdo a la distribución de caudales adoptada.

Para la creciente de 100 años de recurrencia se consideró un caudal de 42.600 m<sup>3</sup>/s que pasan por el puente principal, lo cual representa un 67% del caudal total del río Paraná para la crecida de 100 años de recurrencia en Lavalle. El 33% restante transcurre por el valle de inundación. Para la creciente de 20 años de recurrencia se consideró un caudal de 37.100 m<sup>3</sup>/s que representa el 77% del caudal total del Paraná, y para la de 5 años de recurrencia se ingresó un caudal de 30.600 m<sup>3</sup>/s que representa un 84% del caudal total del Paraná.

En los gráficos siguientes se muestran los resultados del modelo para las crecidas analizadas.

Como puede observarse en las salidas del modelo se presentan grandes profundidades junto a la costa, encontrándose una fosa paralela a esta que comienza unos cientos de metros al norte de Lavalle y alcanza las mayores profundidades entre la zona sur de la ciudad y la traza del puente, llegando a un máximo de unos 45m de profundidad para esta crecida.

Frente a la ciudad de Lavalle llegan a encontrarse profundidades de 25 a 35m muy cercanas a la costa, con un talud de alrededor de 1:3. Sin dudas estas profundidades son un relicto del paso del thalweg que hace unos 50 años se encontraba hacia la izquierda de la isla ubicada al norte de Lavalle y hoy en día se ha cambiado a la derecha de la isla, pero sigue actuando como colector de todo el flujo que transcurre entre el brazo principal ubicado a la derecha de dicha isla y los brazos secundarios que se extienden entre esta isla y la costa correntina, al norte de Lavalle.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

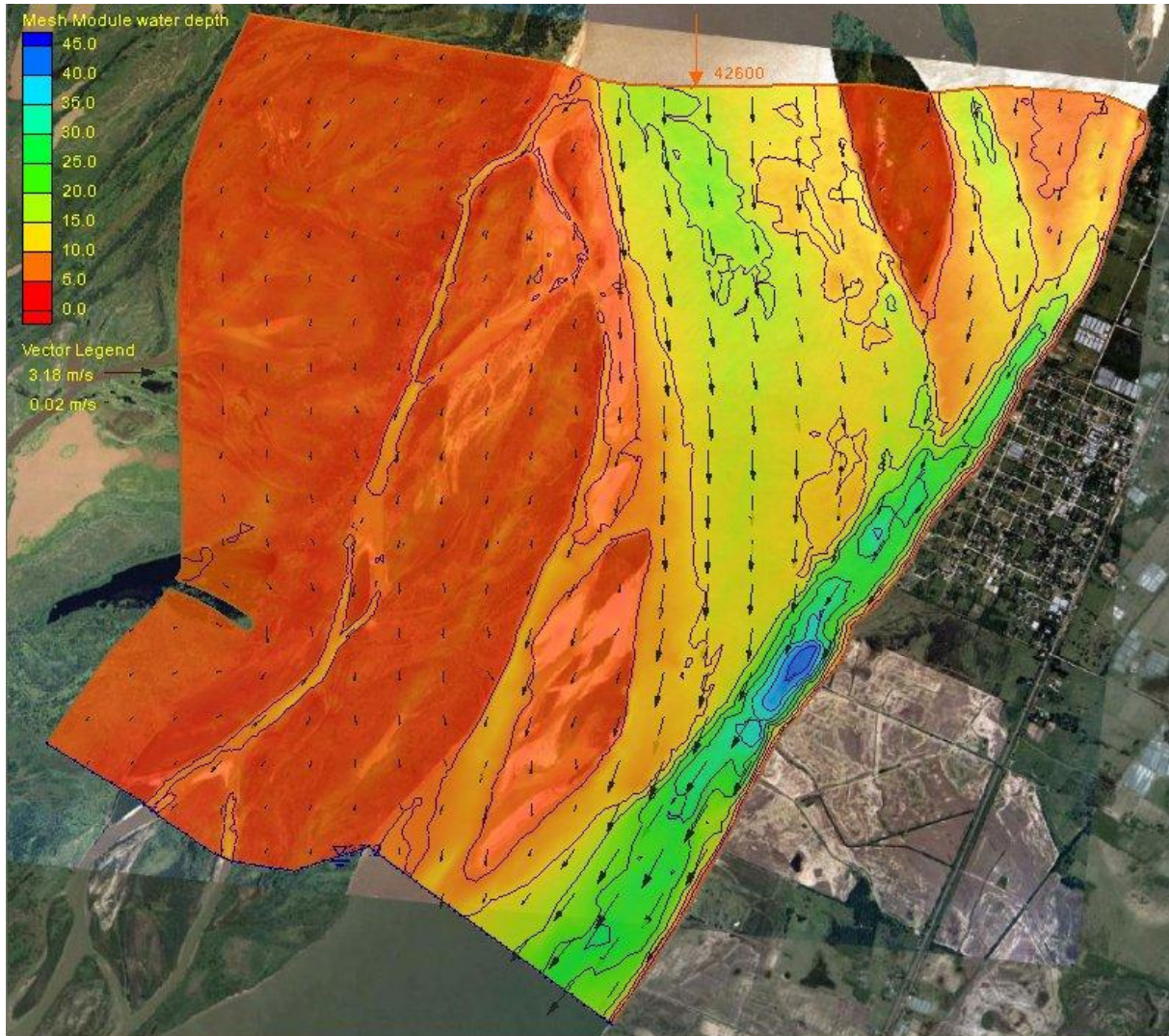
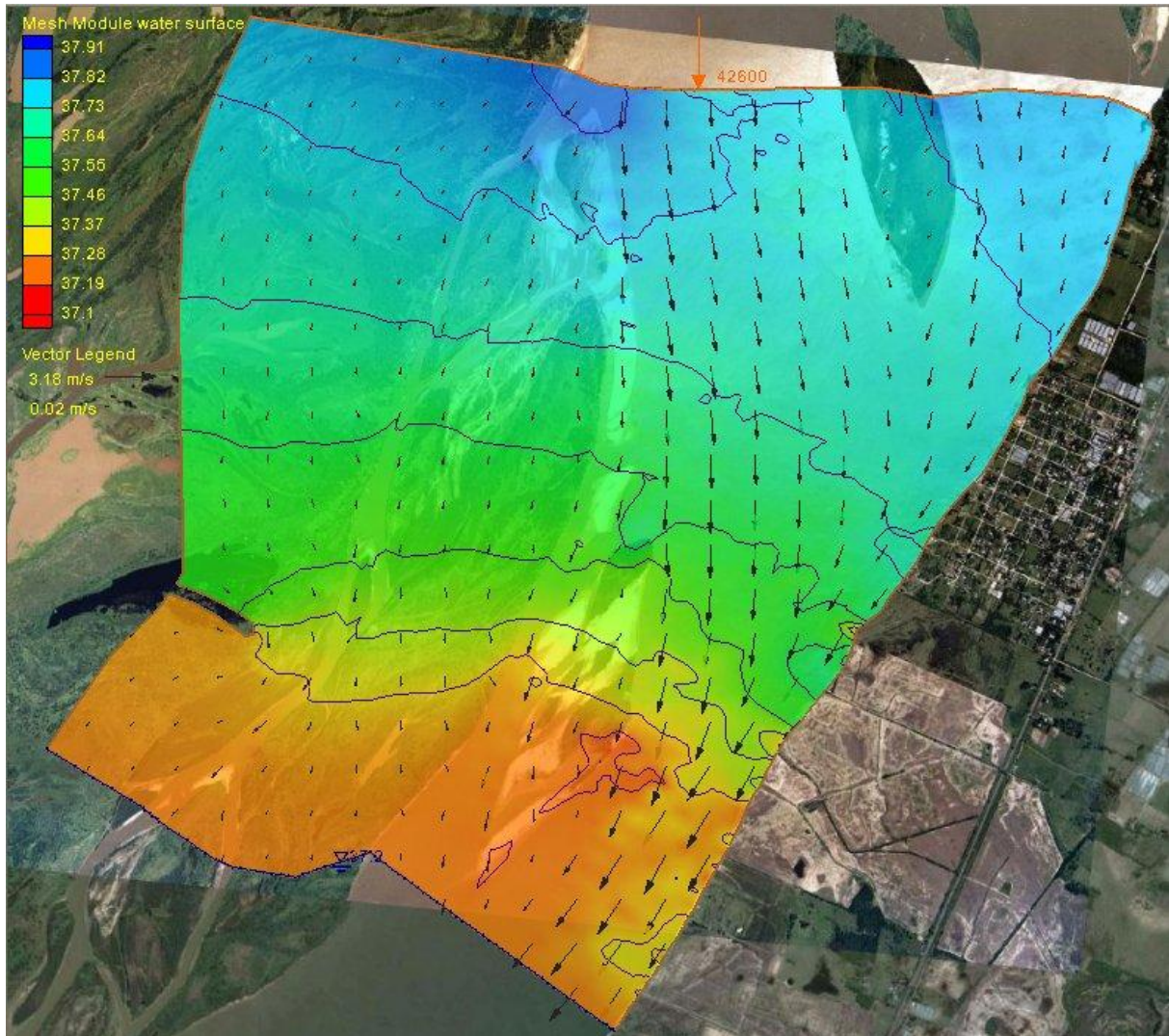


Fig. 5.15. Profundidades y vectores de velocidad para crecida de 100 años de recurrencia.



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes



**Fig. 5.16.** Niveles del agua y vectores de velocidad para crecida de 100 años de recurrencia.

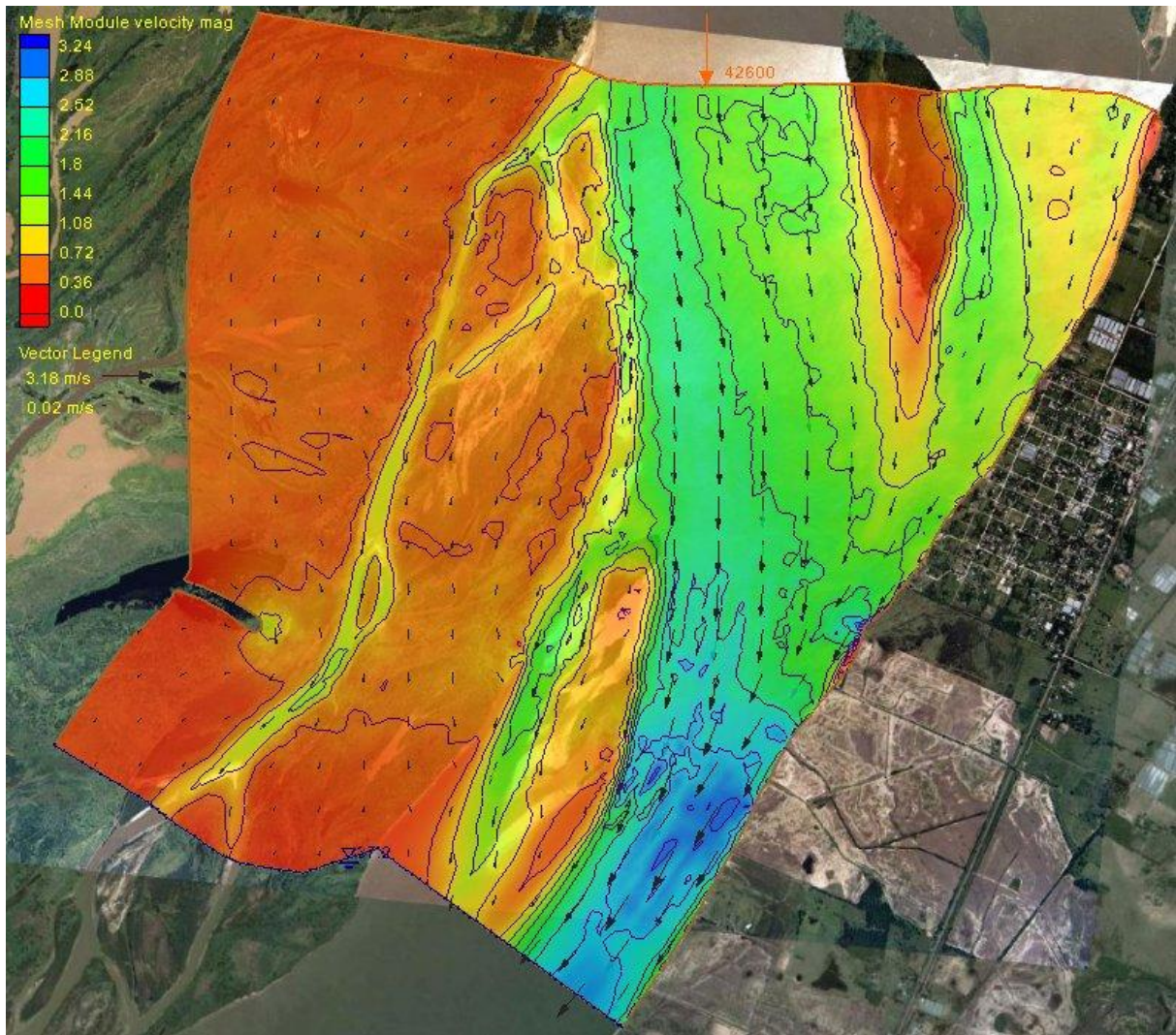
El nivel de aguas abajo del modelo se adoptó como 37,20m, con lo cual se obtuvo un nivel de 37,64 a 37,73m en Lavalle.

Se observa una fuerte pendiente longitudinal del agua entre la localidad de Lavalle y la zona del puente, debida a la contracción del flujo del cauce principal y la consiguiente aceleración del mismo en esta zona, justamente donde se encuentran las mayores profundidades.

En esta zona se produce por lo tanto un incremento de las velocidades del cauce, tal como se aprecia en la figura siguiente, las velocidades máximas en el cauce se incrementan desde valores poco mayores a 2 m/s a la altura de Lavalle pero cercanos a la zona de islas, hasta valores de alrededor de 3m/s en la zona del puente.



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes



**Fig. 5.17.** Rangos y vectores de velocidad para crecida de 100 años de recurrencia.

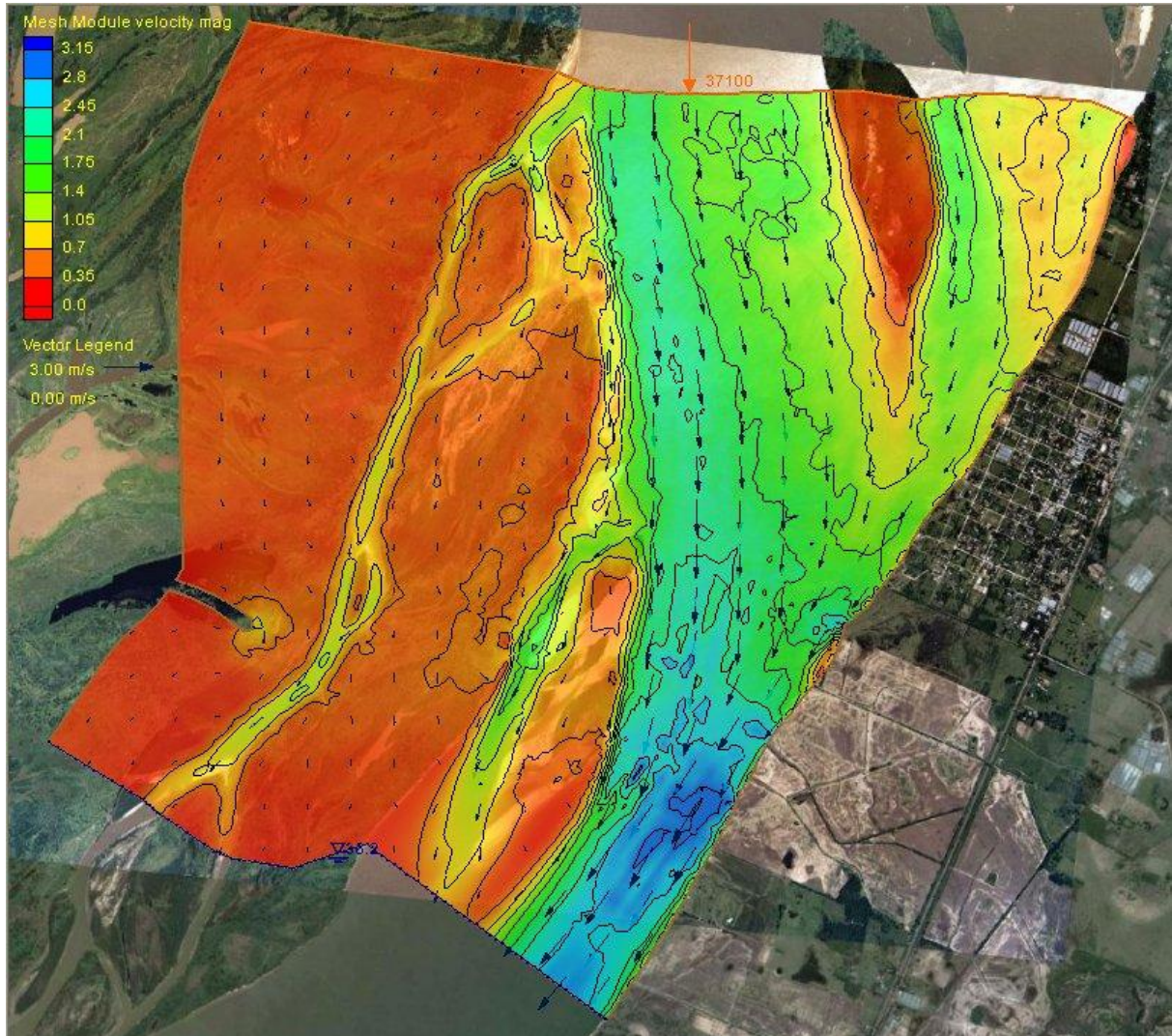
Frente a la costa de Lavalle los valores mayores de velocidad están comprendidos entre 1,08 y 1,44 m/s, y se dan en forma cercana a la costa en la mitad sur de la ciudad, mientras que la mitad norte de la ciudad la velocidad es un poco menor y aumenta hacia el sur, con un valor puntual de más de 2,5m/s en la saliente que presenta la costa a unos 700m al sur de la zona urbana.

El caso de la crecida de 20 años de recurrencia presenta una distribución de velocidades muy similar a la crecida de 100 años de recurrencia pero con valores que en general se encuentran en el orden de 0,10m/s menos para la zona del cauce, y se observa una disminución mayor de la velocidad en la zona de islas y de cauces secundarios que se



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

encuentran sobre las islas. Esto significa que se produce una mayor concentración del flujo en la zona del cauce por la menor capacidad de conducción que presenta la zona de islas.



**Fig. 5.18.** Rangos y vectores de velocidad para crecida de 20 años de recurrencia.

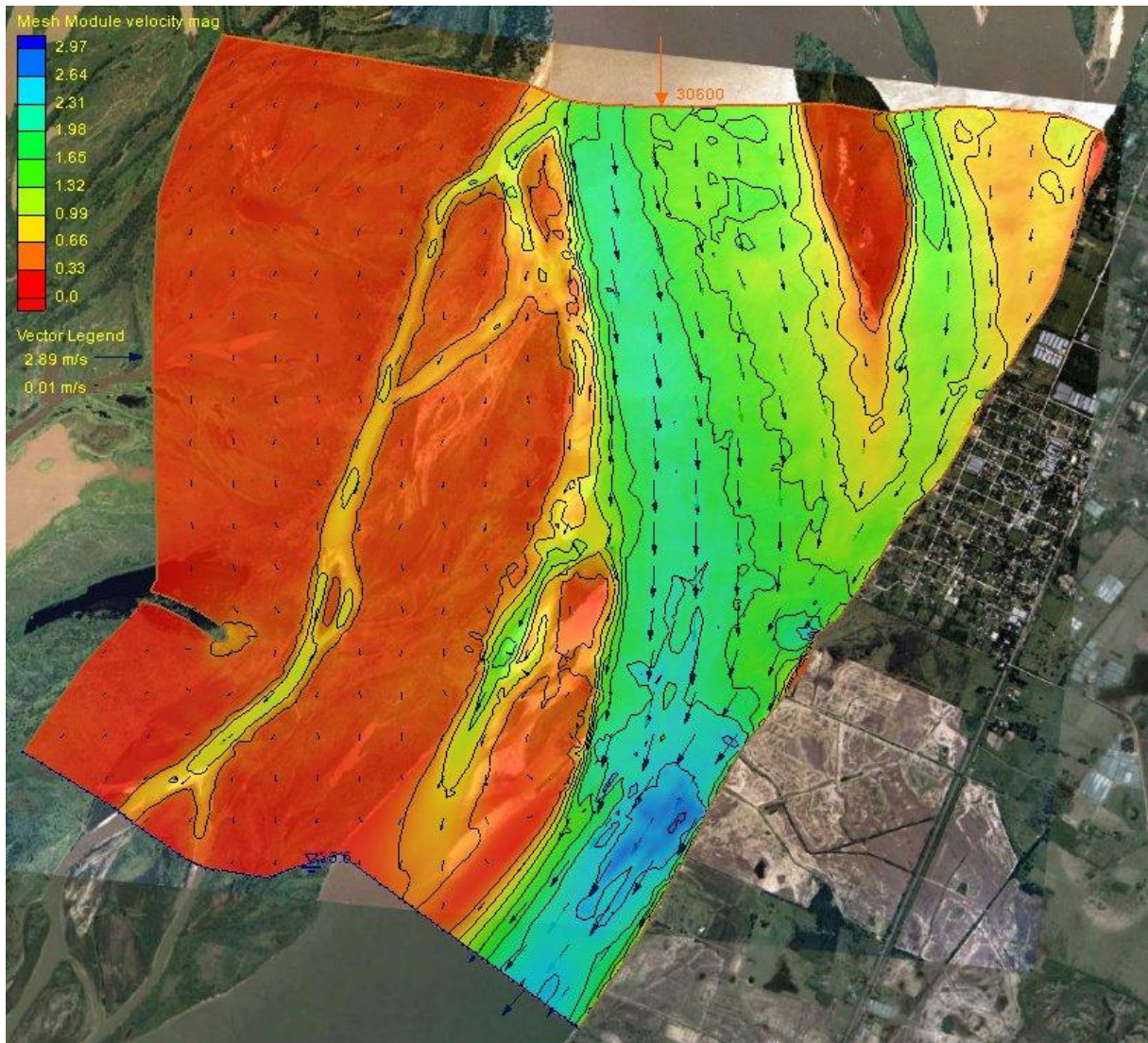
El nivel de aguas abajo del modelo se adoptó como 36,20m, con lo cual se obtuvo un nivel de alrededor de 36,70 m en Lavalle.

Para la creciente de 5 años de recurrencia también se presenta una distribución de velocidades muy similar a las crecidas de 20 y 100 años de recurrencia pero con valores que en general se encuentran en el orden de 0,10m/s menos que los de la creciente de 20 años de recurrencia para la zona del cauce, y se observa también una disminución mayor de



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

la velocidad en la zona de islas y de cauces secundarios que se encuentran sobre las islas, con una mayor concentración del flujo en la zona del cauce.



**Fig. 5.19.** Rangos y vectores de velocidad para crecida de 5 años de recurrencia.

El nivel de aguas abajo del modelo se adoptó como 35,50m, con lo cual se obtuvo un nivel de alrededor de 35,88 m en el centro de Lavalle.



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

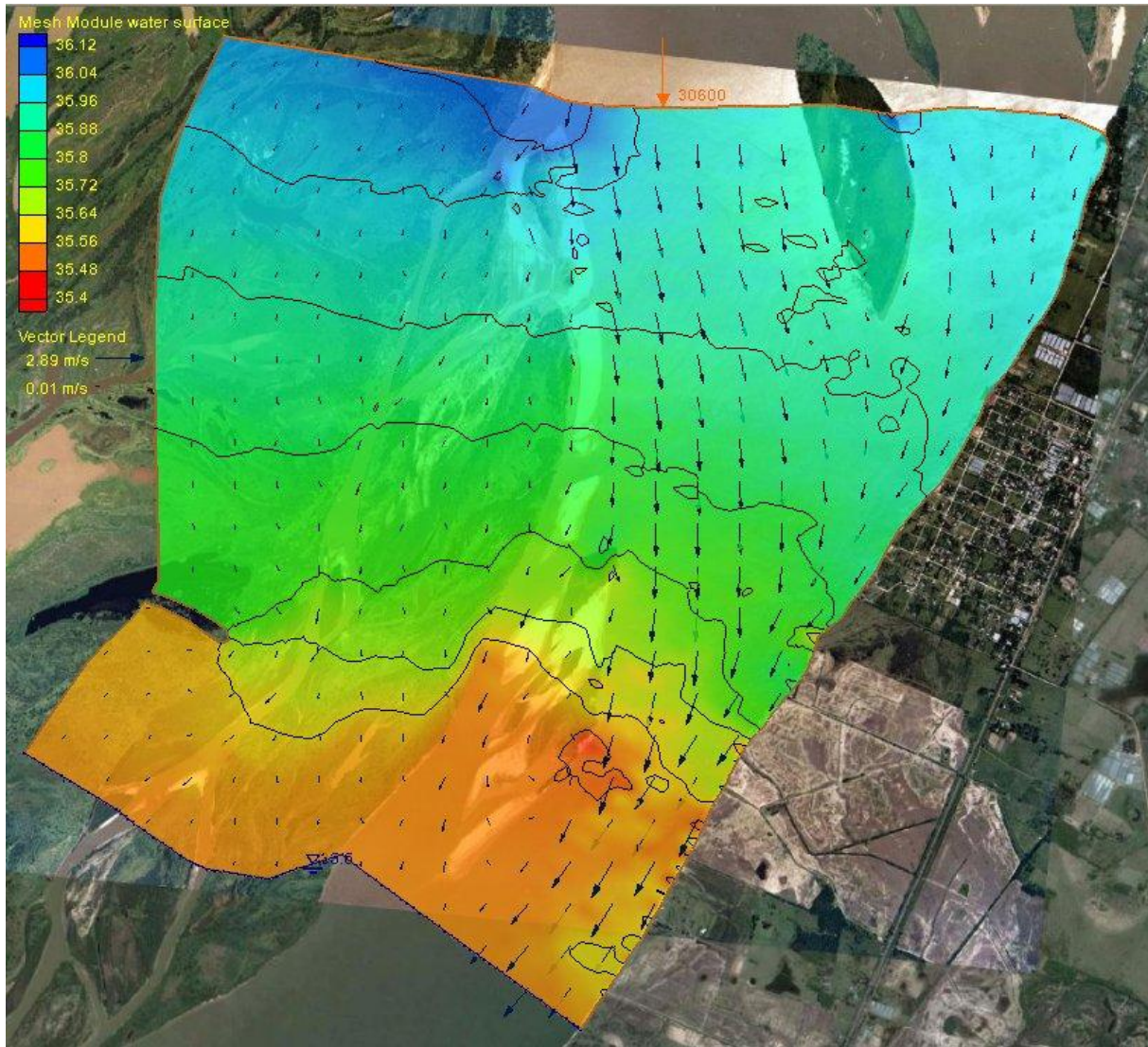


Fig. 5.20. Niveles del agua y vectores de velocidad para crecida de 5 años de recurrencia.

## 5.5 ESTUDIO DE EROSIÓN

El cálculo de erosión generalizada se efectúa con los resultados del modelo en los mismos perfiles transversales utilizados para el estudio de evolución morfológica, aplicando la fórmula de Lischtvan – Lebediev.

La misma es ampliamente utilizada cuando se trata de evaluar la socavación generalizada que se produce en el lecho de un curso de agua al presentarse una crecida, debido al

Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

aumento de la capacidad de arrastre de material sólido que adquiere la corriente por efecto del incremento de velocidades en el tramo ó sección en cuestión.

La posibilidad de arrastre de los materiales del fondo en cada punto, se considera dependiente de la relación que existe entre la velocidad media de la corriente y la velocidad media requerida para arrastrar las partículas del fondo. La primera velocidad depende de las características hidráulicas del curso: pendiente, rugosidad y tirante. La segunda, depende de las características del material del fondo y del tirante.

Como característica del material se toma el diámetro medio en suelos no cohesivos y la densidad seca cuando se trata de suelos cohesivos.

La erosión del fondo del cauce en una sección transversal cualquiera es producto del desequilibrio entre el material que sale y el que es aportado.

En líneas generales al presentarse una crecida aumenta la velocidad del curso de agua, lo cual provoca un aumento del arrastre de material sólido generándose una erosión del fondo. Al aumentar el caudal aumenta la velocidad del agua y aumenta la socavación y la sección hidráulica, hasta alcanzar la socavación máxima de equilibrio asociada al caudal máximo. La etapa de depósito se produce cuando disminuye el caudal y la capacidad de arrastre.

La metodología de Lischtván – Lebediev presenta dos formulaciones de acuerdo al material del lecho, que para el caso de cauces definidos son:

### **Lecho Granular**

$$h_s = [(\alpha \cdot h_0^{5/3}) / (0.68 \cdot \beta \cdot \mu \cdot \phi \cdot d_m^{0.28})]^{1/(1+X)}$$

Donde:

$h_s$ : profundidad del flujo luego de producida la erosión general (m),

$h_0$ : profundidad inicial de la corriente, para el caudal de diseño, en (m),

$\beta$ : coeficiente de recurrencia, función del período  $T_R$  (en años), dado por la fórmula siguiente:

$$\beta = 0.8416 + 0.03342 \cdot \ln(T_R)$$

$\mu$ : coeficiente de corrección por contracción de flujo, se tabula en función de la velocidad media del flujo y la distancia libre entre pilas. Si se calcula erosión en una sección donde no existe puente, se considera igual a la unidad.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

$\phi$ : coeficiente de corrección por la densidad del agua durante la creciente. Si se considera agua clara,  $\phi=1$ , si existe transporte de sedimentos está en función de la densidad de la mezcla agua+sólidos en suspensión.

Para  $\gamma_{as} = 1 \text{ t/m}^3 \Rightarrow \phi = 1$

Para  $\gamma_{as} > 1 \text{ t/m}^3 \Rightarrow \phi = -0,54 + 1,5143 \gamma_{as}$

$d_m$ : diámetro medio de las partículas de material granular, en (mm),

X: exponente variable que depende de  $d_m$ :

$$X = 0.394557 - 0.04136 \cdot \log(d_m) - 0.00891 \cdot \log^2(d_m)$$

$\alpha$ : coeficiente de sección o de distribución de caudal, según la fórmula siguiente:

$$\alpha = Q_d / (H_m^{5/3} \cdot B_e)$$

$Q_d$ : caudal para la recurrencia de cálculo,

$H_m$ : tirante hidráulico= $A/B_e$ ,

$B_e$ : ancho efectivo del canal, en (m),

A: área de flujo, en ( $\text{m}^2$ ).

### **Lecho Cohesivo**

El tirante para la condición de erosión está dado por:

$$h_s = [(\alpha \cdot h_0^{5/3}) / (0.60 \cdot \beta \cdot \mu \cdot \phi \cdot \gamma_d^{1.18})]^{1/(1+X)}$$

Donde:

$h_s$ : ídem suelos granulares,

$h_0$ : ídem suelos granulares,

$\beta$ : ídem suelos granulares,

$\mu$ : ídem suelos granulares,

$\phi$ : ídem suelos granulares,  
( $\text{tn/m}^3$ ),

$\gamma_d$ : peso volumétrico seco del material cohesivo, en

X: exponente variable que depende de  $\gamma_d$ :

$$X = 0.892619 - 0.58073 \cdot \gamma_d + 0.136275 \cdot \gamma_d^2$$

$\alpha$ : ídem suelos granulares:



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

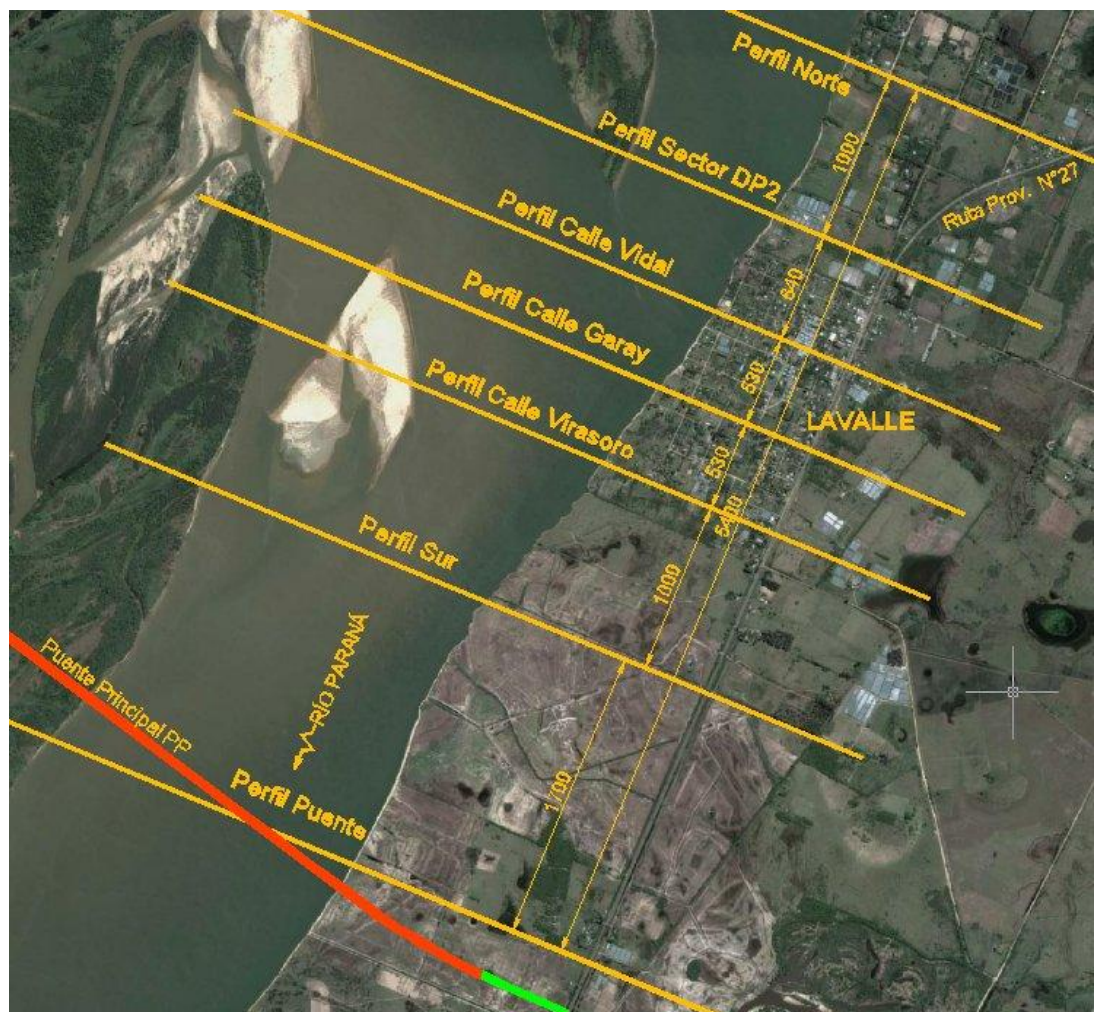
### Perfiles Heterogéneos

En los casos en que el perfil estratigráfico del subsuelo es heterogéneo alternándose suelos granulares de distintos diámetros y/o suelos cohesivos de diferente compactidad. En estos casos se procede por tanteos, esto es, se calcula para las condiciones del primer estrato, si la erosión supera el espesor del mismo, se pasa al siguiente y así sucesivamente, hasta llegar a la condición que la profundidad de erosión "cae" dentro del estrato para el cual se ha calculado.

### Parámetros geotécnicos e hidráulicos

Para la definición de las características geotécnicas se utilizan los resultados de los estudios geotécnicos realizados en el cauce, para los distintos estratos.

Para cada sección donde se calcula la erosión se tomaron los resultados dados por el modelo para una determinada crecida en esta sección, luego se aplican las fórmulas de cálculo de erosión para distintas verticales.

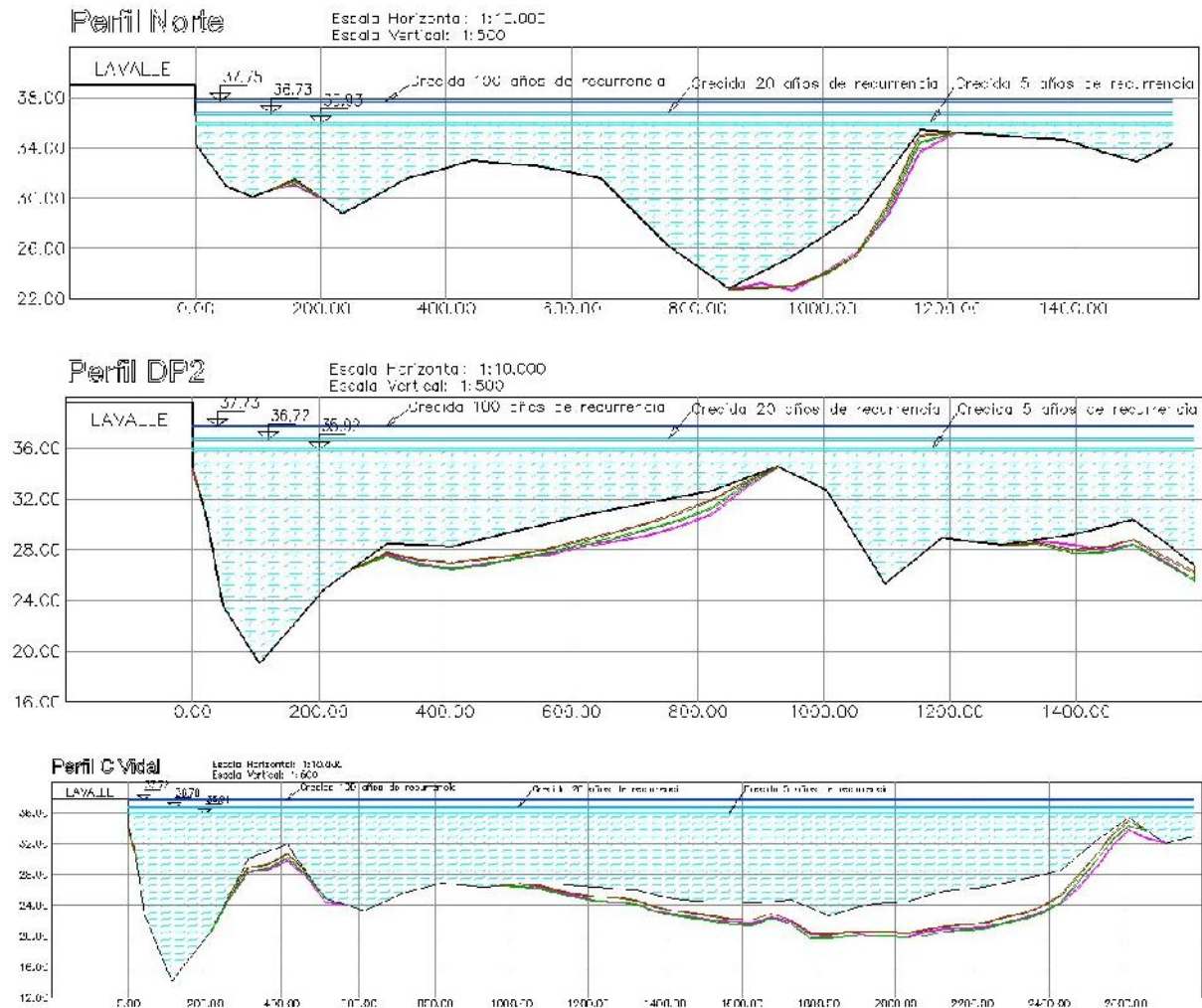


**Fig. 5.21.**  
Ubicación  
de Perfiles

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

**Resultados obtenidos**

El cálculo de erosión se realiza para los mismos perfiles transversales que los utilizados en el estudio de evolución morfológica, para crecidas de distinta importancia, para lo cual se eligieron crecidas de 100, 20 y 5 años de recurrencia de acuerdo a las distintas alternativas modeladas. En las figuras siguientes se muestran los perfiles con las erosiones.



**Fig. 5.22.** Perfiles con erosión zona norte y centro de Lavalle.

En general se observa que la erosión al norte y frente a Lavalle se da principalmente sobre la margen derecha, con valores máximos de 2,50 a 5,0m. Junto a la costa no se dan erosiones al norte de Lavalle pero si frente a la ciudad las que no superan 1,50m de profundidad. En la fosa ubicada junto a la costa no se esperan erosiones, solo en los perfiles ubicados aguas debajo de la ciudad donde el flujo se concentra más y las velocidades logran erosionar el fondo del cauce.



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

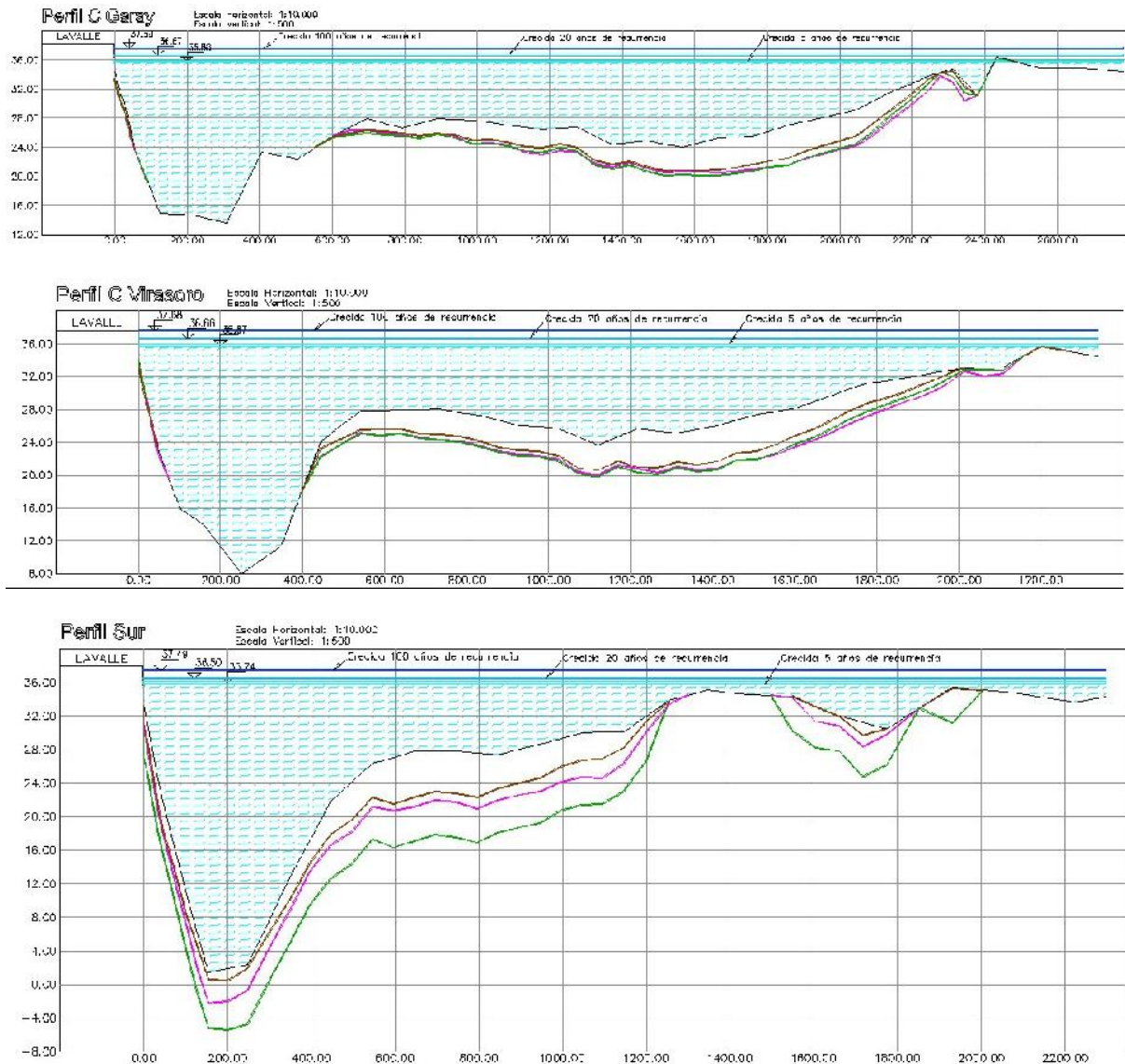


Fig. 5.23. Perfiles con erosión zona centro y sur de Lavalle.

Por lo tanto se espera que la profundización del cauce se vaya produciendo principalmente hacia aguas debajo de la ciudad y no frente a la misma, con una tendencia pronunciada a erosionar sobre la margen derecha del río frente a Lavalle, con desplazamiento de los bancos de arena hacia el sur, y erosiones menores sobre la costa de la ciudad, que se incrementan aguas debajo de esta. En la mayoría de los perfiles no existen diferencias importantes entre las erosiones de las crecidas de 5, 20 ó 100 años de recurrencia, por lo que el proceso erosivo se da en forma paulatina a lo largo de los años con crecidas regulares y no sólo luego de crecientes extraordinarias.



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

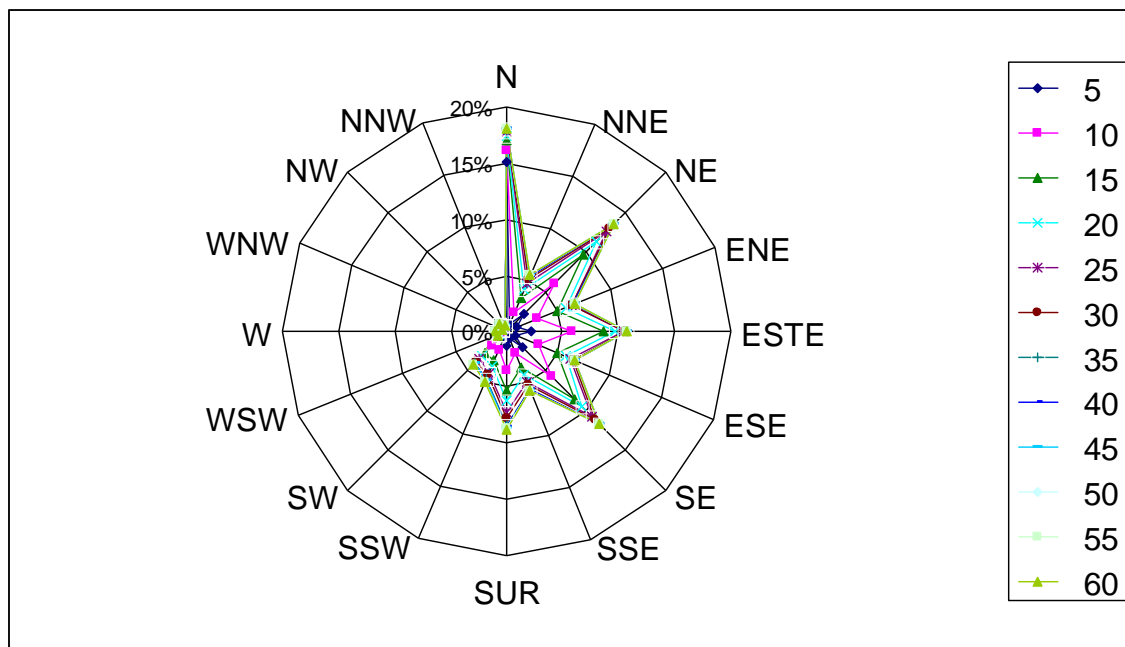
## 6 ESTUDIO DE OLEAJE Y CÁLCULO DE PROTECCIONES

### 6.1 ESTUDIO DE VIENTOS

Para el análisis de vientos se tuvieron en cuenta datos correspondientes a la estación Reconquista Aero (Prov. de Santa Fe) del Servicio Meteorológico Nacional, obtenidos del "Estudio acciones atmosféricas – Informe sobre condiciones de viento para el cálculo de terraplén" perteneciente al Proyecto Ejecutivo de la Vinculación Vial entre las ciudades de Goya (Prov. De Corrientes) y Reconquista (Prov. De Santa Fe). En dicho estudio se utilizaron registros horarios de vientos de superficie medidos o reducidos a 10 m sobre el nivel del terreno, correspondientes al período 1956 - 2007.

#### 6.1.1 Rosa de los vientos.

Según análisis del estudio precedente, se ha verificado que la frecuencia del registro de los datos no resulta confiable para las direcciones intermedias que se agregan para completar la rosa de 16 direcciones a partir de la de 8 direcciones (NNE, ENE, etc.), según puede apreciarse en la figura siguiente, no obstante se brindan los resultados obtenidos para los vientos extremos, los cuales deben considerarse con cierta precaución en estas direcciones.



**Fig. 6.1.** Estadística Direccional de Vientos registrados en el período 1956-2007 en la Estación Reconquista Aero

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

Se puede apreciar además que los vientos más frecuentes provienen de la dirección Norte, seguidos por los de los cuadrantes Este y Sur, mientras que los vientos provenientes del Oeste son menos frecuentes.

### 6.1.2 Permanencia de una hora.

La Tabla adjunta presenta los valores de vientos máximos, obtenidos de valores registrados cada hora, para distintas recurrencias se indican a continuación.

Serie 1956-2007 - Permanencia 1 hora																
Tr	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO
años	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h
2	41.3	43.0	43.0	38.9	41.3	40.3	46.5	50.4	57.1	52.8	49.4	35.2	26.8	16.6	25.3	23.1
5	57.7	56.0	54.2	48.2	56.7	50.7	59.3	61.1	75.5	64.9	60.7	53.0	40.6	28.1	36.3	30.7
10	68.6	64.7	61.6	54.3	66.9	57.5	67.8	68.2	87.6	72.9	68.1	64.8	49.8	35.7	43.6	35.7
20	79.0	72.9	68.7	60.2	76.6	64.1	76.0	75.0	99.3	80.6	75.3	76.0	58.6	43.0	50.5	40.5
50	92.6	83.6	77.9	67.9	89.3	72.6	86.5	83.8	114.5	90.5	84.6	90.7	70.0	52.5	59.6	46.7
100	102.7	91.7	84.8	73.6	98.7	79.0	94.4	90.4	125.8	97.9	91.5	101.6	78.5	59.6	66.4	51.3

**Tabla 6.1.** Velocidades del viento de 1 h de permanencia en distintas direcciones.

### 6.1.3 Permanencia de seis horas.

Según análisis de datos efectuados en el estudio antes mencionado, en los primeros años los valores extraídos de la serie de viento provista por el Servicio Meteorológico Nacional no se han registrado para todas las horas del día, no obstante, se los empleo para la determinación de los datos máximos anuales en cada dirección, a los efectos de maximizar la longitud del registro.

Para el análisis de 6 horas de permanencia, dadas las características anteriormente mencionadas, se utilizó un período de menor longitud que abarca los años 1994 a 2007, lo cual disminuye la confiabilidad de los resultados, por lo que se efectuó un ajuste de los mismos, empleando la metodología que se resume en los siguiente pasos:

- A partir de la serie corta de vientos horarios (1994-2007), se obtuvo una serie de vientos promedios (de 6 horas).

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

- Se determinó para ambas series para el período corto (permanencia 1 y 6 horas) los vientos con diferentes recurrencias empleando la distribución de extremos de Gumbel, calculada por el método de cuadrados mínimos.
- Se obtuvieron los coeficientes de reducción por mayor permanencia del viento, para distintos períodos de recurrencia y en las 16 direcciones según la metodología recomendada por el Coastal Engineering Manual (2001) del US Army Corps of Engineers.
- Finalmente se aplicaron estos coeficientes de reducción a la serie 1956-2007 para obtener los vientos de 6 horas de permanencia correspondientes a distintos períodos de recurrencia en las 16 direcciones.

Como resultado del análisis anterior se muestra la Tabla siguiente.

Serie 1956-2007 - Permanencia 6 horas Por Ajuste de 1 hora																
Tr	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO
años	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h	km/h
2	33.1	35.3	32.9	32.3	28.6	34.4	37.7	39.4	37.1	40.3	38.7	26.1	23.6	16.0	21.1	22.7
5	35.5	39.5	35.3	38.2	29.7	44.4	47.4	48.0	44.2	45.2	47.6	32.9	30.3	20.6	27.9	30.2
10	37.5	42.2	37.1	42.0	31.0	51.1	53.8	53.7	48.9	48.5	53.5	37.3	34.5	23.4	32.2	35.2
20	39.6	44.9	38.9	45.7	32.5	57.6	59.9	59.3	53.4	51.7	59.1	41.4	38.4	25.9	36.3	40.0
50	42.4	48.3	41.3	50.3	34.5	65.9	67.7	66.4	59.3	55.8	66.4	46.8	43.5	29.2	41.5	46.3
100	44.6	50.9	43.1	53.8	36.0	72.2	73.6	71.8	63.6	59.0	71.9	50.7	47.2	31.6	45.5	51.0

**Tabla 6.2.** Velocidades del viento de 6 hs de permanencia en distintas direcciones.

## 6.2 CÁLCULO DEL OLEAJE

### 6.2.1 Consideraciones Generales

En la determinación del oleaje en el espejo de agua, es necesario considerar los siguientes factores que intervienen en la formación del oleaje y la marea eólica:

- Velocidad del viento en magnitud y dirección.
- Dimensiones y configuración del espejo de agua (relieve del fondo, profundidad del agua, longitudes de espejo de agua en las direcciones que sopla el viento).



Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

La sobre-elevación del tirante de agua sobre la línea de la ribera inducida por el viento, se denomina marea eólica y se produce en riberas a sotavento del viento (opuesto a la dirección del viento).

Los valores que alcance dicha sobre-elevación serán función de la persistencia con la que sopla el viento, de la longitud libre de obstáculos del agua en dicha dirección (FETCH), la profundidad del agua y de la velocidad del viento. El otro efecto causado por el viento se refiere a la formación de olas que se desplazan en los espejos de agua, dependiendo su tamaño de los mismos parámetros que el efecto anterior.

Se llama “Set-up” a la altura estimada que puede alcanzar la ola para una determinada combinación de factores (Fetch, profundidad del agua, intensidad del viento) en el sector de la ribera o defensa considerado. La altura significativa, es el promedio de altura de las olas que integran el tercio superior del espectro generado ( $h_{13\%}$ ).

Se denomina “Run-up” a la altura vertical que alcanza una ola (altura de rodamiento) que trepa sobre el paramento mojado de un terraplén, luego de romper cerca o sobre dicha superficie. Su valor es directamente proporcional a la altura y velocidad de la ola y a la inclinación del talud sobre el cual rompe, e inversamente proporcional a la relación altura/longitud de onda de la ola. Y como se expresara posteriormente depende del material de recubrimiento, en cuanto a su rugosidad y permeabilidad.

El mayor desarrollo de métodos y fórmulas para el estudio de este fenómeno corresponde al estudio en embalses y zonas de aguas profundas. Tal es el caso de uno de los métodos más conocidos, el de Braslavskov, que puede utilizarse para aguas profundas o poco profundas, y ha sido últimamente utilizada ampliamente en la zona para los diseños de obra como la represa Paraná Medio, Defensas contra Inundaciones de Santa Fe, Gualeguay y Federación, verificaciones para el endicamiento en las Islas Lechiguana, etc; dicho método fue tomado como base por la Norma Soviética SNYP II – 57 – 75. Parte II Normas de diseño, cap. 57 (1976), la cual también está indicada para aplicación en el libro “River Training Techniques, Fundamentals, Design and Applications” (Przedwojski, B. y otros, Ed. Balkema, 1995. Holanda).

Esta metodología es la que se ha usado para determinar el oleaje, y a continuación se desarrolla en particular. Las olas se expresan en términos de su altura, período, velocidad de propagación y longitud de onda. Los principales factores que afectan las olas (haciendo referencia solamente a las inducidas por viento) son la velocidad del viento, su duración

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

(persistencia), longitud del Fetch y profundidad del agua. En aguas profundas la altura de ola no depende de la profundidad del agua, mientras que en aguas poco profundas tiene influencia el efecto de fricción de fondo.

### **6.2.2 Situaciones analizadas**

De acuerdo a la extensión de la obra de protección de costas se analizó el efecto de oleaje en la parte media de la misma. A partir del cual se referencia longitudes y ángulos para dichos cálculos.

Situaciones analizadas:

- Nivel máximo de río correspondiente a 50 años de recurrencia, junto con vientos correspondientes a 2 años de recurrencias para cada una de las direcciones.
- Nivel máximo de río correspondiente a 5 años de recurrencia, junto con vientos correspondientes a 20 años de recurrencias para cada una de las direcciones.

Sin embargo puede considerarse que dichos fenómenos tienen una recurrencia superior a la que suele utilizarse en el diseño de este tipo de obras que generalmente se diseñan para 25 a 50 años de recurrencia.

Debido a la configuración del perfil de costa, el cual consta de un talud inferior de 1:3 y otro superior de 1:2,5 con una berma intermedia, el nivel para una crecida de 50 años de recurrencia es coincidente con el talud 1:2,5, así como el nivel para una recurrencia de 5 años corresponde con el talud inferior 1:3.

### **6.2.3 Determinación del fetch efectivo $D_p$ .**

Este valor representa la distancia efectiva sobre la cual actúa el viento de diseño; su expresión es:

$$D_p = 0,27 [ D_0 + 0,854(D_1+D-1) + 0,5(D_2+D-2) ]$$

en donde:

- $D_0$  : Fetch Real, es la distancia entre el extremo del espejo de agua y la obra medido en la dirección del viento máximo elegido;
- $D_1$  : Longitud del rayo trazado a  $22^\circ 30'$  a la izquierda de  $D_0$ ;
- $D-1$  : Longitud del rayo trazado a  $22^\circ 30'$  a la derecha de  $D_0$ ;

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

- D2 : Longitud del rayo trazado a 45° a la izquierda de D0 ;
- D-2 : Longitud del rayo trazado a 45° a la derecha de D0;

En los gráficos adjuntos se muestran los Fetch determinados para distintas direcciones.

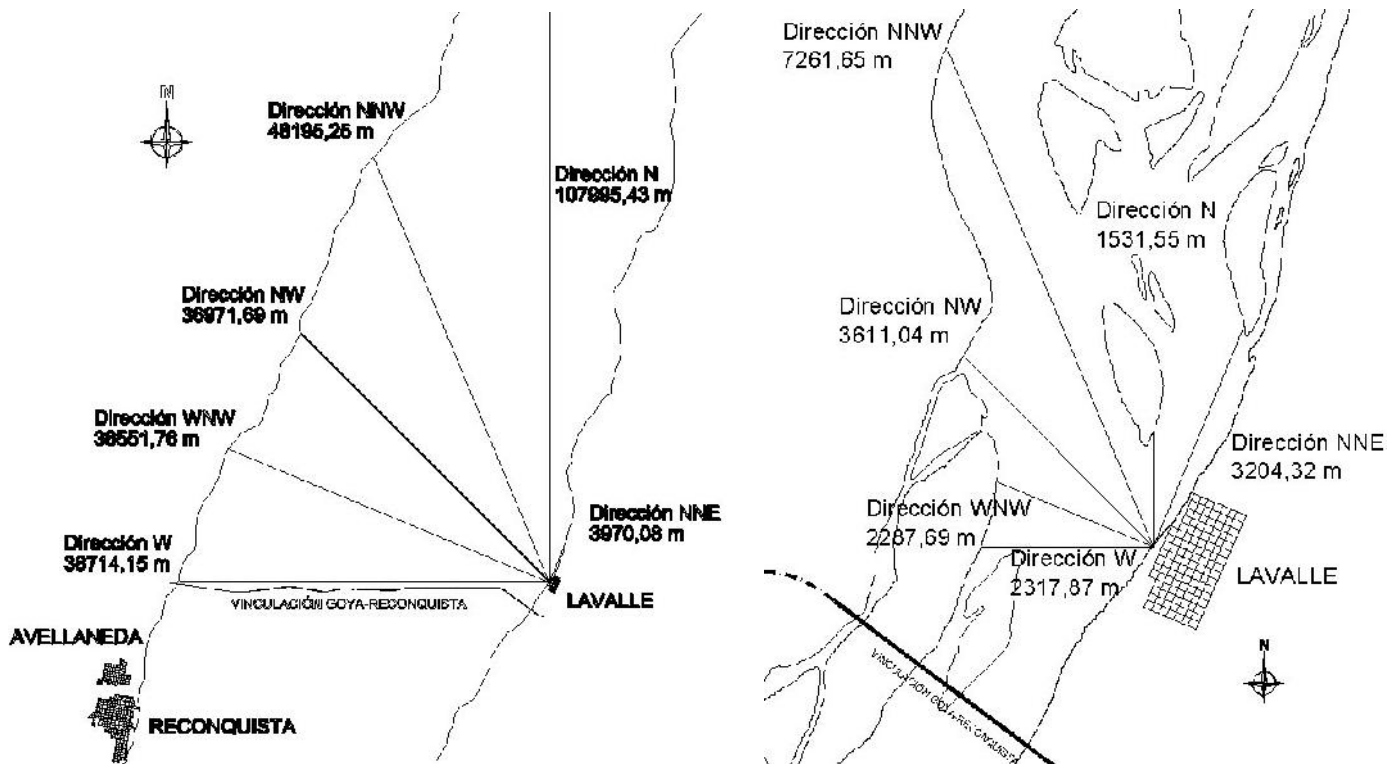


Fig. 6.2. Cálculo del Fetch para crecientes de 50 (izq.) y 5 (derecha) años de recurrencia.

#### 6.2.4 Altura de la ola (Set-up).

En primer término deben calcularse las relaciones siguientes, que dan como resultado magnitudes adimensionales:

$$\frac{g \times Dp}{W^2} \quad (1)$$

$$\frac{g \times t}{W} \quad (2)$$

$$\frac{g \times P}{W^2} \quad (3)$$

Donde:

- g: aceleración de la gravedad (m/seg<sup>2</sup>)
- Dp: Fetch efectivo (m)
- W: velocidad del viento para la dirección y persistencia adoptada.
- t: persistencia del viento adoptada en función del fetch (segundos)



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

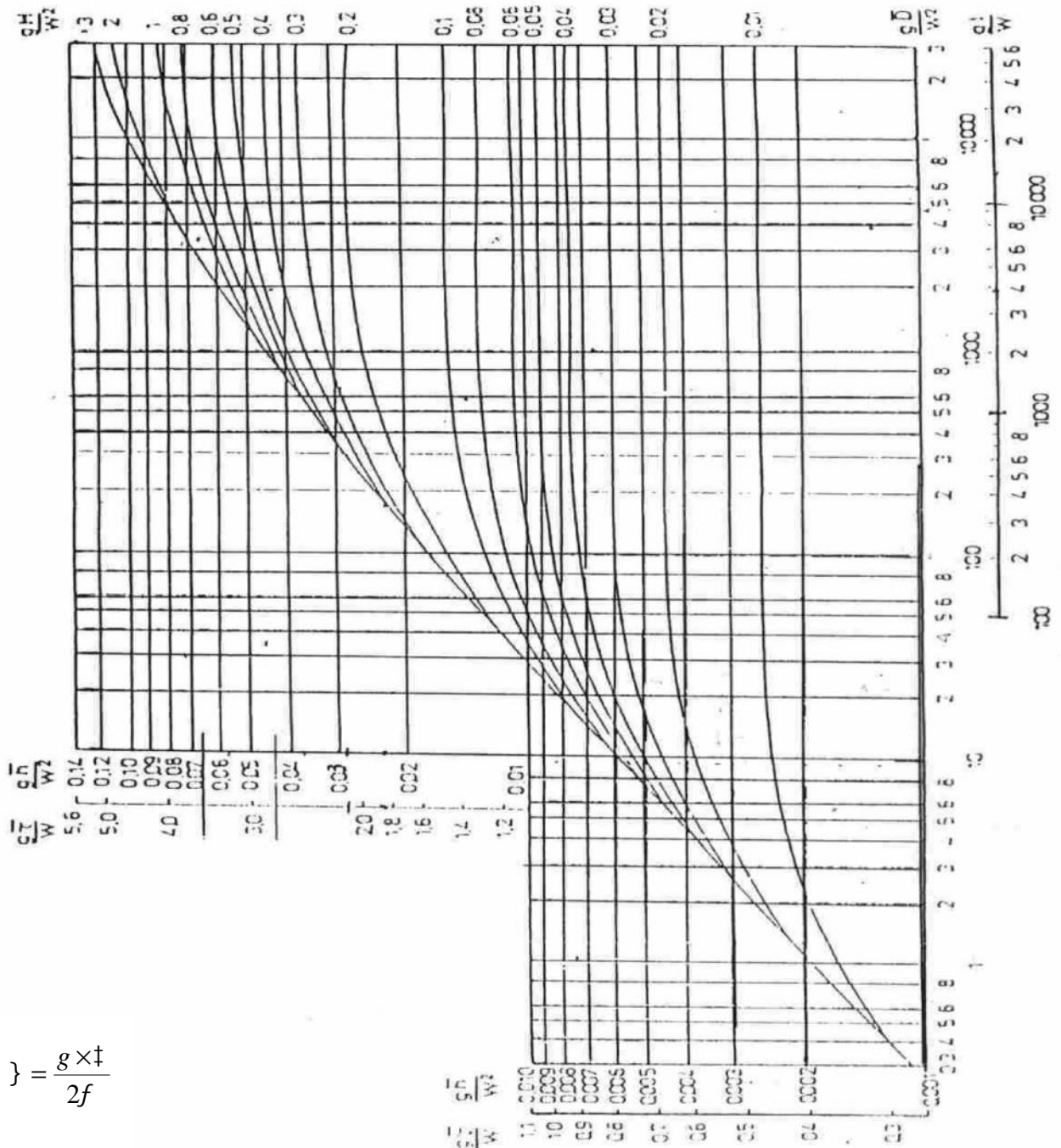
- P: profundidad media del espejo de agua.

Con estos valores adimensionales, del Gráfico N°1 , se obtienen los valores adimensionales:

$$\frac{g \times h_m}{W^2} \quad (1)$$

$$\frac{g \times \dagger}{W^2} \quad (2)$$

**GRÁFICO N° 1**



$$\left. \begin{matrix} \\ \end{matrix} \right\} = \frac{g \times \dagger}{2f}$$

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

De donde se obtienen, ingresando con el menor valor de (1) y (2):

- $h_m$  : altura de la ola media (m) y
- $t$  : período de la onda media (seg)

La longitud de onda de la ola, en metros, se obtiene con la expresión:

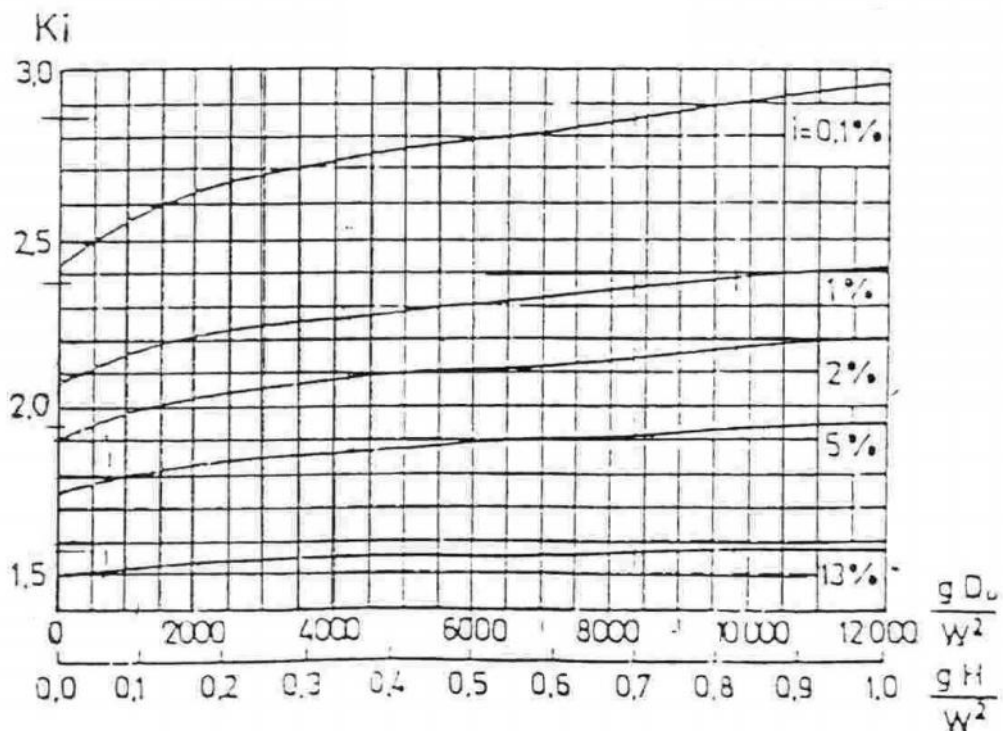
$$\frac{g \times t^2}{2f} = \lambda \quad \text{ó} \quad \lambda = 1,56 \times t^2$$

Para determinar la altura de la ola del tren de olas correspondiente a una determinada probabilidad  $i\%$  de ser superada, se debe calcular el factor de frecuencia  $K_i$  (%) de forma que:

$$h_{i\%} = h_m \times K_i(\%)$$

El factor de frecuencia se obtiene del Gráfico N° 2 con los valores adimensionales 1 y 3, se obtiene para un determinado valor de  $i\%$  el factor  $K_i$  (%).

**GRÁFICO N° 2**



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

### 6.2.5 Resultados obtenidos.

Los cálculos realizados se indican en las planillas siguientes, indicándose la ola media y la ola que es superada en el tren de olas con el 13% de probabilidad. Esta última ola está recomendada en la bibliografía para utilizar en diseños de protección de costas (la ola que es superada con el 1% de probabilidad se utiliza para el diseño de embalses), debiéndose efectuar el cálculo de run-up, según la protección a efectuar en cada tramo de la misma.

**Nivel río 50 años** de recurrencia: 37,30

**Viento 1h duración 2 años** de recurrencia:

DIRECCIÓN DEL VIENTO	O	N	NO
Velocidad viento 1h (km/h)	26.78	41.29	25.31
Fetch efectivo (km)	45.26	46.18	49.33
Profundidad media (m)	8.33	8.33	8.33
<b>h<sub>m</sub></b> Altura ola media (m)	<b>0.34</b>	<b>0.62</b>	<b>0.31</b>
<b>T</b> Período (seg)	2.54	3.39	2.44
<b>L<sub>o</sub></b> Longitud de onda media (m)	10.08	17.95	9.27
<b>h<sub>13%</sub></b> Altura ola superada (m)	<b>0.53</b>	<b>0.96</b>	<b>0.49</b>
<b>h<sub>1%</sub></b> Altura ola superada 1% (m)	0.82	1.45	0.76

**Nivel río 5 años** de recurrencia: 35,90

**Viento 1h duración 20 años** de recurrencia:

DIRECCIÓN DEL VIENTO	O	N	NO
Velocidad viento 1h (km/h)	58.61	78.98	50.51
Fetch efectivo (km)	3.68	3.32	3.70
Profundidad media (m)	6.93	6.93	6.93
<b>h<sub>m</sub></b> Altura ola media (m)	<b>0.57</b>	<b>0.64</b>	<b>0.45</b>
<b>T</b> Período (seg)	2.82	2.84	2.59
<b>L<sub>o</sub></b> Longitud de onda media (m)	12.43	12.60	10.46
<b>h<sub>13%</sub></b> Altura ola superada (m)	<b>0.86</b>	<b>0.96</b>	<b>0.69</b>
<b>h<sub>1%</sub></b> Altura ola superada 1% (m)	1.19	1.32	0.94

### 6.2.6 Calculo de altura de ola y marea eólica



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

Adicionalmente se efectuó el cálculo de la marea eólica, la cual surge al soplar en forma constante el viento en una dirección, provocando un aumento de nivel en el punto del cuerpo de agua hacia el cual sopla, por empuje del volumen de agua. Para el cálculo de la marea producida por el viento, se utiliza el método propuesto por el Beach Erosión Board de los Estados Unidos, el cual indica que la sobre elevación  $S$  del nivel de reposo está dada por la expresión:

$$S = \frac{W^2 \times D_o \times \cos \Gamma}{62816 \times H}$$

donde:

- $D_o$ : fetch considerado como la distancia del espejo de agua abarcado por el viento (en Km).
- $W$ : velocidad del viento correspondiente a la dirección analizada (en Km/h).
- $H$ : profundidad media del cuerpo a lo largo de la dirección del Fetch (en m).
- $\Gamma$ : ángulo que formado entre el eje longitudinal del depósito de agua y la dirección del viento de cálculo.

**Nivel río 50 años** de recurrencia: 37,30

**Viento 1h duración 2 años** de recurrencia:

DIRECCIÓN DEL VIENTO	O	N	NO
<b>W</b> Velocidad viento 6h (km/h)	23.62	33.08	21.10
<b>Do</b> Fetch real (km)	38.71	108.00	36.97
<b>H</b> Profundidad media (m)	8.33	8.33	8.33
<b>a</b> Ángulo de incidencia viento	72	18	63
<b>S</b> Marea eólica (m)	<b>0.01</b>	<b>0.21</b>	<b>0.01</b>

**Nivel río 5 años** de recurrencia: 35,90

**Viento 1h duración 20 años** de recurrencia:

DIRECCIÓN DEL VIENTO	O	N	NO
<b>W</b> Velocidad viento 6h (km/h)	38.41	39.60	36.29
<b>Do</b> Fetch real (km)	2.32	1.53	3.61
<b>H</b> Profundidad media (m)	6.93	6.93	6.93
<b>a</b> Ángulo de incidencia viento	72	18	63
<b>S</b> Marea eólica (m)	<b>0.00</b>	<b>0.01</b>	<b>0.00</b>

Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

### 6.2.7 Ascenso (Run-up) de la ola sobre el paramento mojado de la defensa.

La altura del ascenso  $H_{(hi\%)}$  que el tren de olas de altura  $h_{i\%}$  provoca sobre el paramento mojado del terraplén de defensa al encontrarse con el mismo en forma perpendicular y con profundidades del espejo de agua  $P \geq 2h_{i\%}$  se determina mediante la siguiente expresión:

$$H_{(hi\%)} = K_{\Delta} \times K_{HN} \times K_C \times K_{HR} \times K_s \times h_{i\%}$$

en donde:

- $K_{\Delta}$  : Coeficiente en función de las características de protección del talud mojado (rugosidad relativa y permeabilidad) - ver Tabla N° 2;
- $K_{HN}$  : Coeficiente en función de las características de protección del talud mojado (rugosidad relativa y permeabilidad) - ver Tabla N° 2;
- $K_C$  : Coeficiente en función del talud y la velocidad del viento de diseño - ver Tabla N°1;
- $K_{HR}$  : Coeficiente en función del talud ( $\cotg \theta$ ) y la esbeltez de la ola  $\lambda / h_{i\%}$ . Se determina de los gráficos para  $h_{i\%}$  y luego de hallado el ascenso para esta ola se puede deducir para las demás;
- $K_{\beta}$  : Coeficiente en función del ángulo de incidencia del viento de proyecto respecto a la normal de la defensa – ver Tabla N° 3;
- 

TABLA N° 1

		Talud ( $\cotg \theta$ )			
		0,4	0,4 a 2	3 a 5	> 5
Coeficiente	Velocidad del viento mayor de 20 m/s	1,3	1,4	1,5	1,6
	Velocidad del viento menor de 10 m/s	1,1	1,1	1,1	1,2

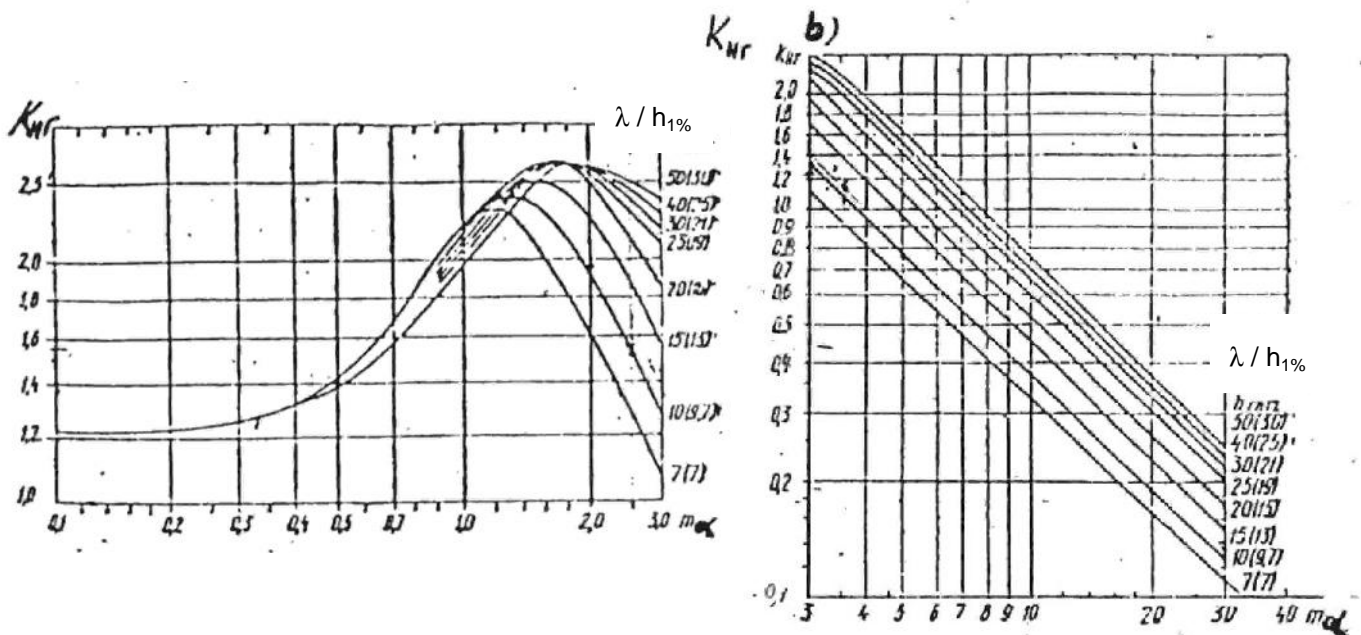
Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

TABLA Nº 2

Características de la protección del talud	$\Delta / h_{i\%}$	$K_{\Delta}$	$K_{HN}$
LOSAS DE HORMIGON ARMADO	--	1	0.9
CANTO RODADO, PIEDRAS o BLOQUE DE HORMIGON ARMADO	< 0,002	1	0,90
	0,05 – 0,01	0,95	0,85
	0,02	0,90	0,80
	0,05	0,80	0,70
	0,15	0,75	0,60
	> 0,2	0,70	0,50
CUBIERTA VEGETAL	0,09 – 0,012	0,95	0,85

$\Delta$  : Diámetro medio en metros de los granos del material de protección del talud o dimensión media de los bloques de hormigón.

GRÁFICO Nº 3





Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

TABLA N° 3

Valor del Ángulo $\beta$ (en grados)	0	10	20	30	40	50	60
Coefficiente $K\beta$	1	0,98	0,96	0,92	0,87	0,82	0,76

Para cada recurrencia que se quiera analizar, puede realizarse el cálculo indicado precedentemente, cambiando los valores que correspondan u obtener un valor aproximado, determinando la altura de rodamiento de las olas sobre el paramento mojado de la defensa (run-up) para la recurrencia del 1% y multiplicando el ascenso calculado  $H(h_{1\%})$  por un coeficiente de ajuste  $K_i$  obtenido de la Tabla N° 4.

$$H(h_{i\%}) = K_i \times H_{i\%}$$

TABLA N°4

<b>Recurrencia <math>i\%</math></b>	<b>0,1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>30</b>	<b>50</b>
<b>Coefficiente <math>K_i</math></b>	1,1	1	0,96	0,91	0,86	0,76	0,68

Se determino la altura alcanzada por la ola, a partir del nivel de río utilizado para el cálculo, nivel sin ola, más la marea eólica sumado al ascenso de la ola sobre el talud, los niveles resultantes se muestran a continuación:

**Nivel río 50 años** de recurrencia: 37,30

**Viento 1h duración 2 años** de recurrencia:

<b>DIRECCIÓN DEL VIENTO</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>NO</b>
Altura pelo de agua sin ola (m)	37.30	37.30	37.30
<b>S</b> Marea eólica (m)	0.01	0.21	0.01
<b>h</b> <sub>13%</sub> Altura ola superada (m)	0.53	0.96	0.49
Nivel río + 1/2 ola 13% + marea eólica	37.58	38.00	37.56
Ascenso sobre el talud ola 13%	0.33	0.45	0.38
Nivel río + ascenso ola 13% + marea eólica	37.64	37.96	37.69

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

**Nivel río 5 años** de recurrencia: 35,90

**Viento 1h duración 20 años** de recurrencia:

DIRECCIÓN DEL VIENTO	O	N	NO
Altura pelo de agua sin ola (m)	35.90	35.90	35.90
<b>S</b> Marea eólica (m)	0.00	0.01	0.00
<b>h</b> <sub>13%</sub> Altura ola superada (m)	0.86	0.96	0.69
Nivel río + 1/2 ola 13% + marea eólica	36.33	36.38	36.25
Ascenso sobre el talud ola 13%	0.47	0.34	0.56
Nivel río + ascenso ola 13% + marea eólica	36.38	36.24	36.47

### 6.3 CÁLCULO DE LA PROTECCIÓN

La protección de costas será verificada para dos tipos de sistemas: un sistema de protección flexible compuesto por bloques de hormigón vinculados a un geotextil, capaz de adaptarse a movimientos del talud, y por otro lado bloques de hormigón intertrabados a tracción y compresión en la dirección de los 3 ejes principales. Según lo indicado anteriormente la protección tipo manta estará exclusivamente sobre el talud inferior de 1:3. Para el talud superior de 1:2,5 se muestran los cálculos para ambos tipo de protección.

#### 6.3.1 Cálculo por oleaje de la cubierta flexible

El primer sistema de protección propuesto es del tipo flexible y continuo, conformado por dados de hormigón adheridos a un geotextil que actúa como filtro. Las mantas así conformadas deben estar unidas entre si de modo de asegurar una cubierta estructural uniforme y continua.

La altura del bloque de hormigón deberá calcularse de modo que resulte una protección de un peso tal que la haga estable frente a los esfuerzos del oleaje.

Para la estimación de la altura del lastre de hormigón se emplea la fórmula del Ing. Krystian Pilarczyk.

$$\frac{H_s}{(\Delta m \times D)} \leq \frac{F}{m^{2/3}}$$

Rango de validez de la fórmula (  $m < 3$ ,  $\cotg \quad 2$ )

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

$$\lambda_o = \frac{\tan \gamma}{\sqrt{\frac{H_s}{\rho_w}}} = 1,25 \times T_p \times H_s^{-0,5} \times \tan \gamma$$

en donde:

- Hs = altura de ola significativa (H<sub>13%</sub>)
- T<sub>p</sub> = período de ola en segundos
- Δm = densidad relativa del sistema = {(ρ<sub>s</sub> / ρ<sub>w</sub>) - 1} . (1 - n) + (ρ<sub>sr</sub> - 1) . n
- ρ<sub>s</sub> = densidad del hormigón = 2,40 t/m<sup>3</sup>
- ρ<sub>w</sub> = densidad del agua = 1 t/m<sup>3</sup>
- ρ<sub>sr</sub> = densidad de la piedra de relleno de junta = 1,60 t/m<sup>3</sup>
- n = porosidad de la protección (hueco entre bloques) = 33%
- D = espesor del revestimiento en metros
- γ = ángulo de la pendiente con la horizontal en grados
- λ<sub>o</sub> = longitud de onda en metros
- F = factor global que depende de las características del revestimiento. De acuerdo a ensayos realizados sobre revestimientos de características similares al propuesto se ha determinado un valor de F entre 5 y 6. Adoptamos un valor promedio F=5,5.

Los resultados obtenidos para este tipo de protección se sintetizan en la planilla siguiente:

**Nivel río 50 años** de recurrencia: 37,30

**Viento 1h duración 2 años** de recurrencia:

#### CÁLCULO DE LA CUBIERTA FLEXIBLE DE PROTECCIÓN

Configuración	Nivel Río.	h <sub>13%</sub> (m)	T <sub>p</sub> (seg)	λ <sub>o</sub>	Talud	Talud proyectado	e <sub>m</sub>	D <sub>m</sub>	F	D <sub>mín</sub> (m)	D <sub>adop</sub> (m)
H50 V2 (NO)	37.3	0.49	2.44	9.27	1:2.5	1:2.5	1.706	1.136	5.5	0.113	0.11
H50 V2 (N)	37.3	0.96	3.39	17.95	1:2.5	1:4.4	0.993	1.136	5.5	0.153	0.15
H50 V2 (O)	37.3	0.53	2.54	10.08	1:2.5	1:3.1	1.423	1.136	5.5	0.108	0.11



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

**Nivel río 5 años** de recurrencia: 35,90

**Viento 1h duración 20 años** de recurrencia:

**CÁLCULO DE LA CUBIERTA FLEXIBLE DE PROTECCIÓN**

Configuración	Nivel Río.	h <sub>13%</sub> (m)	T <sub>p</sub> (seg)	l <sub>o</sub>	Talud	Talud proyectado	e <sub>m</sub>	D <sub>m</sub>	F	D <sub>mín</sub> (m)	D <sub>adop</sub> (m)
H5 V20 (NO)	35.9	0.69	2.59	10.46	1:3	1:3.1	1.280	1.136	5.5	0.129	0.13
H5 V20 (N)	35.9	0.96	2.84	12.60	1:3	1:5.2	0.695	1.136	5.5	0.120	0.12
H5 V20 (O)	35.9	0.86	2.82	12.43	1:3	1:3.7	1.034	1.136	5.5	0.141	0.14

De adoptarse este tipo de solución, se tiene una altura de bloque D = 15 cm tanto para talud superior 1:2,5 y para talud inferior 1:3.

### 6.3.2 Cálculo por oleaje de la cubierta con bloques intertrabados

Este sistema de protección está conformado por bloques de hormigón armado que por su forma especial se van entrelazando de modo de constituir un sistema que actúa como un conjunto de piezas trabadas y no como bloque individuales.

Para determinar la altura necesaria del bloque de hormigón se emplea la fórmula del Ing. Krystian Pilarczyk cuyos coeficientes han sido determinados en base a ensayos realizados sobre protecciones de características similares a la propuesta.

$$\frac{H_s}{(\Delta m \times D)} \leq \frac{(\epsilon u \times w)}{< m^{2/3}} \cos \gamma$$

Rango de validez de la fórmula ( m < 3, cotg 2)

$$< m = \frac{\tan \gamma}{\sqrt{\frac{H_s}{\gamma}}} = 1,25 \times T_p \times H_s^{-0,5} \times \tan \gamma$$

en donde:

- H<sub>s</sub> = altura de ola significativa (H<sub>13%</sub>)
- T<sub>p</sub> = período de ola en segundos

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

- $\Delta m$  = densidad relativa del sistema =  $\{(\rho_s / \rho_w) - 1\} \cdot (1 - n)$
- $\rho_s$  = densidad del hormigón = 2,40 t/m<sup>3</sup>
- $\rho_w$  = densidad del agua = 1 t/m<sup>3</sup>
- $n$  = porosidad de la protección (hueco entre bloques) = 0%
- $D$  = espesor del revestimiento en metros
- $\alpha$  = ángulo de la pendiente con la horizontal en grados
- $\lambda_o$  = longitud de onda en metros
- $\psi u$  = factor que tiene en cuenta la mejora de la estabilidad del sistema con respecto al enrocado (=1 para enrocado, y >1 para sistemas de revestimientos) en el caso de bloques trabados  $\psi u$  2,50
- $\phi$  = factor de estabilidad ante el movimiento incipiente, que puede ser calculado con la fórmula  $\phi = 6,2 \times P_b^{0.18} (S_b^2 / N)^{0.1}$  donde  $P_b$  es el factor de permeabilidad (entre: 0,5 para escollera a 0,1 para revestimiento impermeable, en este caso 0,30),  $S_b$  depende del ángulo del talud, 2 para  $\cotg \alpha = 2$  y 3 para  $\cotg \alpha > 3$ ,  $N$  es el número de olas que puede limitarse a 3000 en caso de un terraplén con cuerpo impermeable.

Los resultados obtenidos para este tipo de protección se sintetizan en la planilla siguiente:

**Nivel río 50 años** de recurrencia: 37,30

**Viento 1h duración 2 años** de recurrencia:

CÁLCULO DE LA CUBIERTA CON BLOQUES INTERTRABADOS												
Configuración	$h_{13\%}$ (m)	$y u$	$P_b$	$S_b$	$N$	Talud	Talud proyecto ado	$\phi$	$e_m$	$D_m$	$D_{min}$ (m)	$D_{adop}$ (m)
H50 V2 (NO)	0.49	2.50	0.30	2.50	3000	1:2.5	1:2.5	2.69246	1.706	1.400	0.080	0.08
H50 V2 (N)	0.96	2.50	0.30	2.50	3000	1:2.5	1:4.4	2.69246	0.993	1.400	0.104	0.10
H50 V2 (O)	0.53	2.50	0.30	2.50	3000	1:2.5	1:3.1	2.69246	1.423	1.400	0.076	0.08

En el caso que se decida utilizar éste tipo de protección se adoptará una altura de bloque constante de  $D = 10$  cm.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

Cabe mencionar que en ambos casos el índice de rompiente  $\xi_m$ , resulta inferior a tres y en todas las direcciones analizadas, siempre  $\cotg \alpha > 2$ , con lo que se verifica la primera condición de validez de la fórmula utilizada.

### 6.3.3 Verificación por efecto de la corriente

El cálculo correspondiente se efectuó para la manta flexible inferior, la cual reviste un talud 1:3 y cuyo espesor resulto igual a 0,15 m.

Para la verificación de la estabilidad de la cubierta flexible por efecto de las corrientes de agua, se utilizaron las fórmulas desarrolladas por Pilarczyk (Manager, Hydraulic Engineering Division, Delft, The Netherlands). La que puede ser calculada usando la siguiente fórmula general:

$$V^2 = \Delta m \cdot D_n \cdot K_s \cdot 2g \cdot \Psi_c / (0,0035 \cdot \Phi_c \cdot K_t \cdot K_h)$$

en donde:

- $V$  = velocidad media de la corriente = 1,54 m/s
- $\Delta m$  = densidad relativa del sistema =  $\{(\rho_s / \rho_w) - 1\} \cdot (1 - n) = 0,938$
- $\rho_s$  = densidad del hormigón = 2,40 t/m<sup>3</sup>
- $\rho_w$  = densidad del agua = 1 t/m<sup>3</sup>
- $D_n$  = espesor característico
  - $D_n = D$  para mantas con aberturas rellenas
  - $D_n = (1-n) \cdot D$  para mantas con áreas no rellenas
- $n$  = porosidad del revestimiento = 33 %
- $K_s$  = factor de talud =  $\cos \alpha \cdot \sqrt{[1 - (\tg \alpha / \tg \phi)^2]}$ 
  - $\alpha$  = ángulo de talud con la horizontal = 18,435 °
  - $\phi$  = ángulo de fricción interna del material = 90 °
- $g$  = aceleración de la gravedad
- $\Psi_c$  = parámetro crítico de Shields = 0,05
- $\Phi_c$  = parámetro de estabilidad, para fondo rugoso = 1,00



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

- $K_t$  = factor de turbulencia, para mediana turbulencia = 1,50
- $K_h$  = factor de profundidad, para prof. > 10 m  $\rightarrow K_h = 0,15$

La velocidad admisible según cálculo:

$$V = 3,34 \text{ m/s} > 1,54 \text{ m/s}$$

En conclusión, el dimensionamiento de la manta flexible, correspondiente a un nivel de crecida de 2 años de recurrencia, dado por el oleaje verifica al efecto de la corriente de agua quedando de un espesor  $D = 15 \text{ cm}$ .

## 7 DISEÑO DE LA PROTECCIÓN

A continuación se describen las características y criterios adoptados en el diseño de la obra de protección. La solución propuesta tiene como objetivo detener el problema de retroceso de la margen dentro de los límites en que se aplica, debido a problemas geotécnicos e hidráulicos.

La magnitud de las acciones que deben soportar estas obras de protección está dada por los resultados de estos estudios, en los que se observó que si bien el proceso de inestabilidad geotécnica continúa, el proceso de erosión fluvial se está deteniendo en gran medida en la zona urbana ya que se ha trasladado hacia el sur, y seguirá esta tendencia a mediano plazo.

Por lo tanto de revertirse a largo plazo la tendencia actual de desarrollo de meandros, produciéndose un corrimiento en el thalweg que avance nuevamente sobre la zona urbana, se presentaría un problema de otra magnitud, y las dimensiones de las obras superarían a las planteadas. Cabe mencionar que de los estudio de evolución morfológica no se vislumbra que se produzca un cambio tan importante. Por lo tanto puede pensarse que las obras propuestas brindan seguridad ante la evolución actual de los fenómenos de dinámica fluvial, cubriendo como mínimo un período de 30 a 50 años, de acuerdo a la escala de tiempo en que se desarrollan estos fenómenos.

No sería lógico, ni económicamente viable, plantear hipótesis de reanudación de los procesos erosivos que avanzaron durante los últimos 60 años en la zona de Lavalle produciendo el retroceso de la costa, ya que el curso natural de estos fenómenos se desarrollará a corto y mediano plazo en otras direcciones.

Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

### 7.1 DISEÑO DE LA PROTECCIÓN FLEXIBLE

Básicamente consiste en revestir el talud sumergido y el pie de la barranca con una cubierta flexible de protección formada por una manta de geotextil tejido de alta resistencia con bloques de hormigón adheridos, de 15cm de espesor, que generan el lastre suficiente para soportar las cargas del oleaje o el arrastre debido a la velocidad de la corriente, protegiendo el suelo natural de la costa, ya que el geotextil cumple las funciones de filtro.

Esta cubierta de protección tiene la permeabilidad suficiente en el espacio que queda entre los bloques de hormigón para evitar la concentración de presiones de poros producidas por nivel freático. Además tienen la capacidad de adaptarse a las erosiones que podrían producirse en el extremo libre inferior, previniendo el avance del proceso erosivo. Esta cubierta flexible termina a cota una cota superior de 36,00m, en una berma a un nivel intermedio de la barranca que representa una altura un poco superior a la alcanzada por una creciente de 5 años de recurrencia.

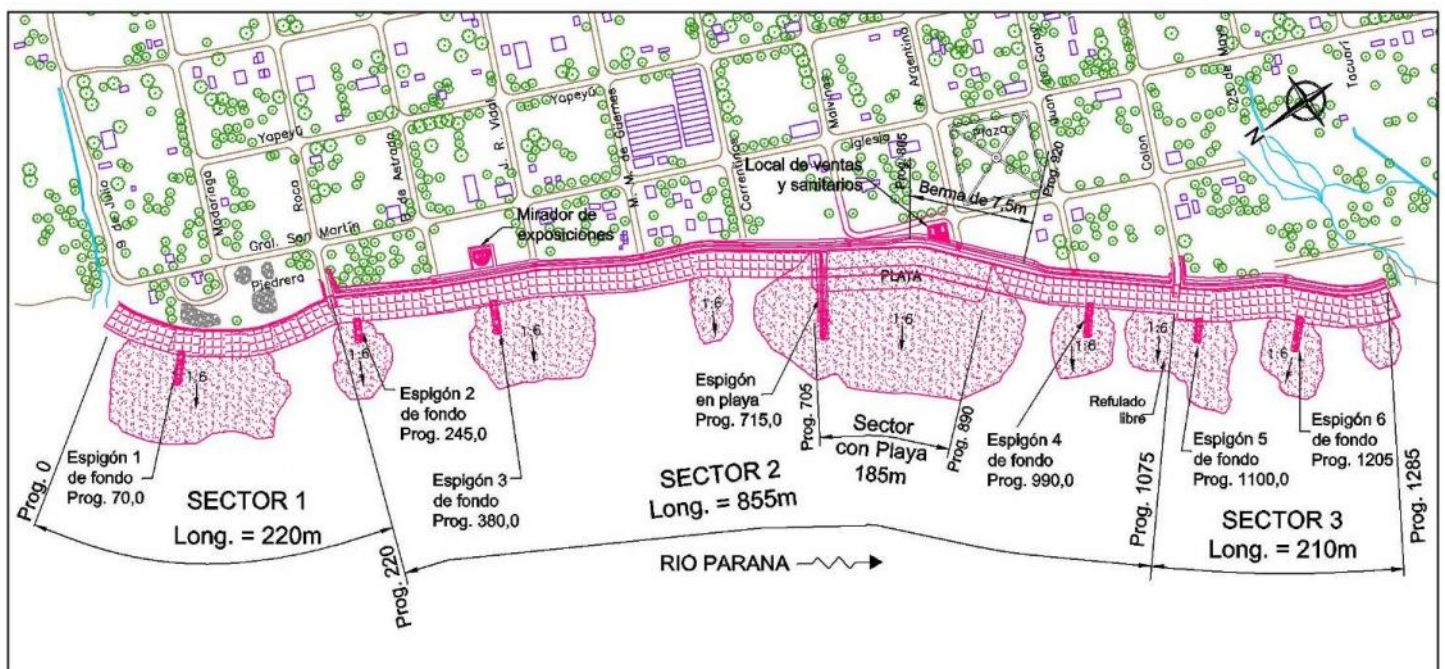
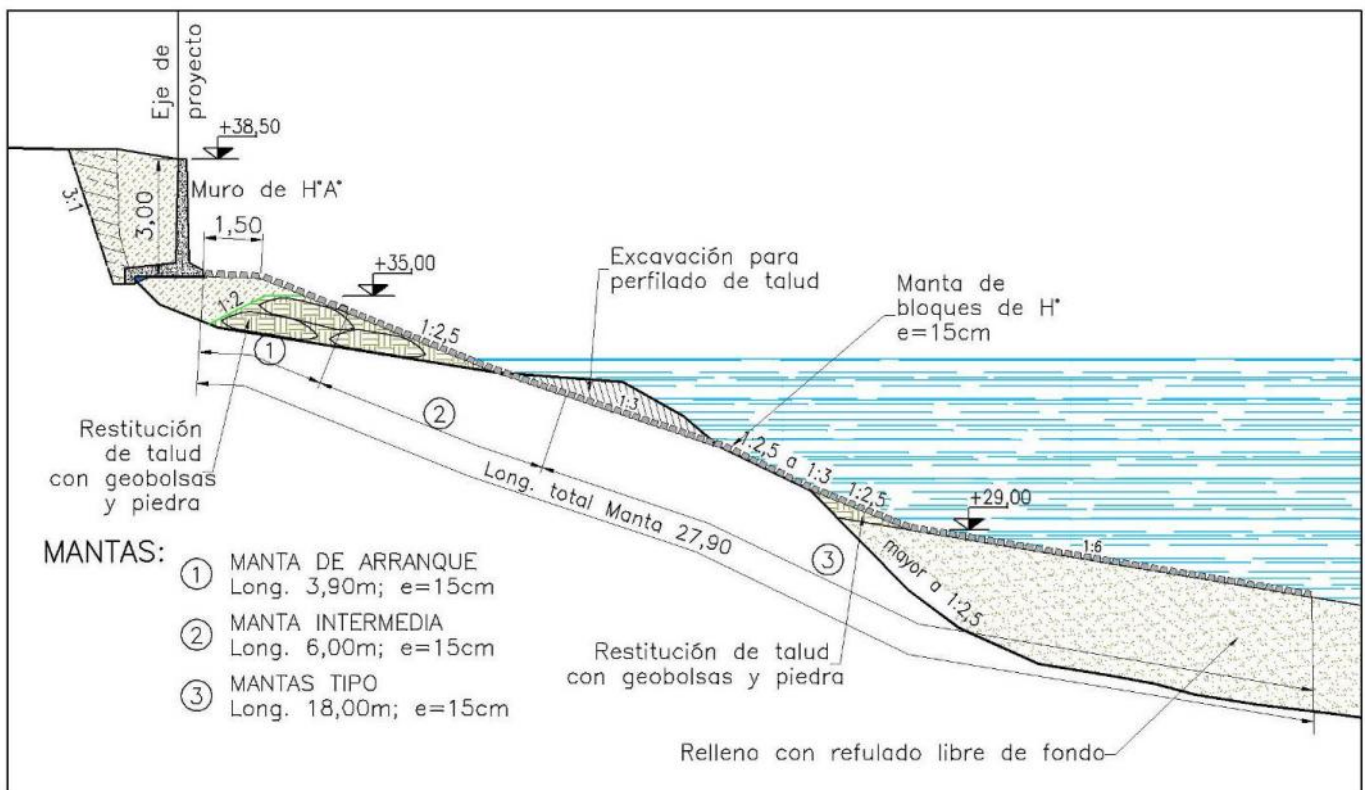


Fig. 7.1. Planta de la protección de costa de la ciudad de Lavalle.

El tramo defendido ha sido dividido en tres sectores distintos, en función de las acciones de erosión a que puede estar sometida la cubierta y a la situación de los perfiles transversales existentes que difieren a lo largo de la costa.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

El Sector 1, que corresponde a un determinado perfil transversal tipo, se ubica al inicio de la obra aguas arriba, donde luego se encuentra una pedrera, en la que se carga material a embarcaciones para ser transportado. Tiene una longitud de 220m, y la protección consiste en una cubierta flexible de 27,90m de longitud, que parte de la base de un muro de sostenimiento de 3m de altura, a cota 35,50m. La cubierta flexible tiene un primer tramo casi horizontal de 1,50m de largo y luego se coloca sobre un relleno conformado en su borde externo por geobolsas y una superficie regularizada con piedra con un talud de pendiente 1:2,5, desde allí sigue sobre el talud natural con pendiente menor a 1;2,5 o excavado si esta es menor a 1:3, hasta cota 29,00m donde se apoya en ciertos sectores que presentan un talud más abrupto sobre un refulado de fondo que le da pie a la cubierta.



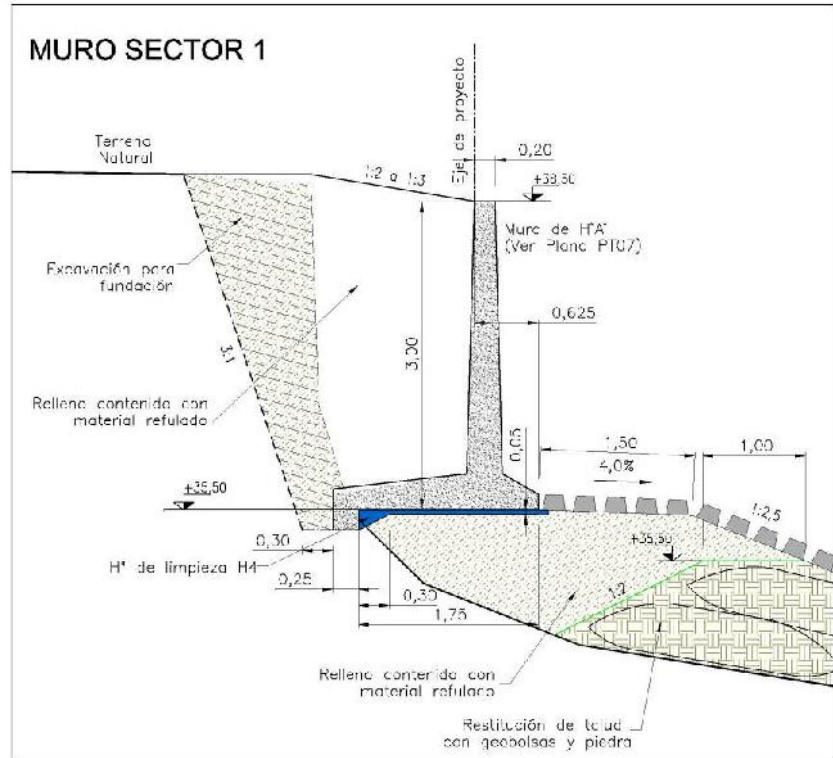
**Fig. 7.2.** Perfil tipo de la defensa en Sector 1, zona pedrera.

Detrás del relleno con geobolsas se conforma un relleno con material refulado sobre el que se apoya un muro de sostenimiento de 3m de altura que llega prácticamente al nivel superior de la barranca.



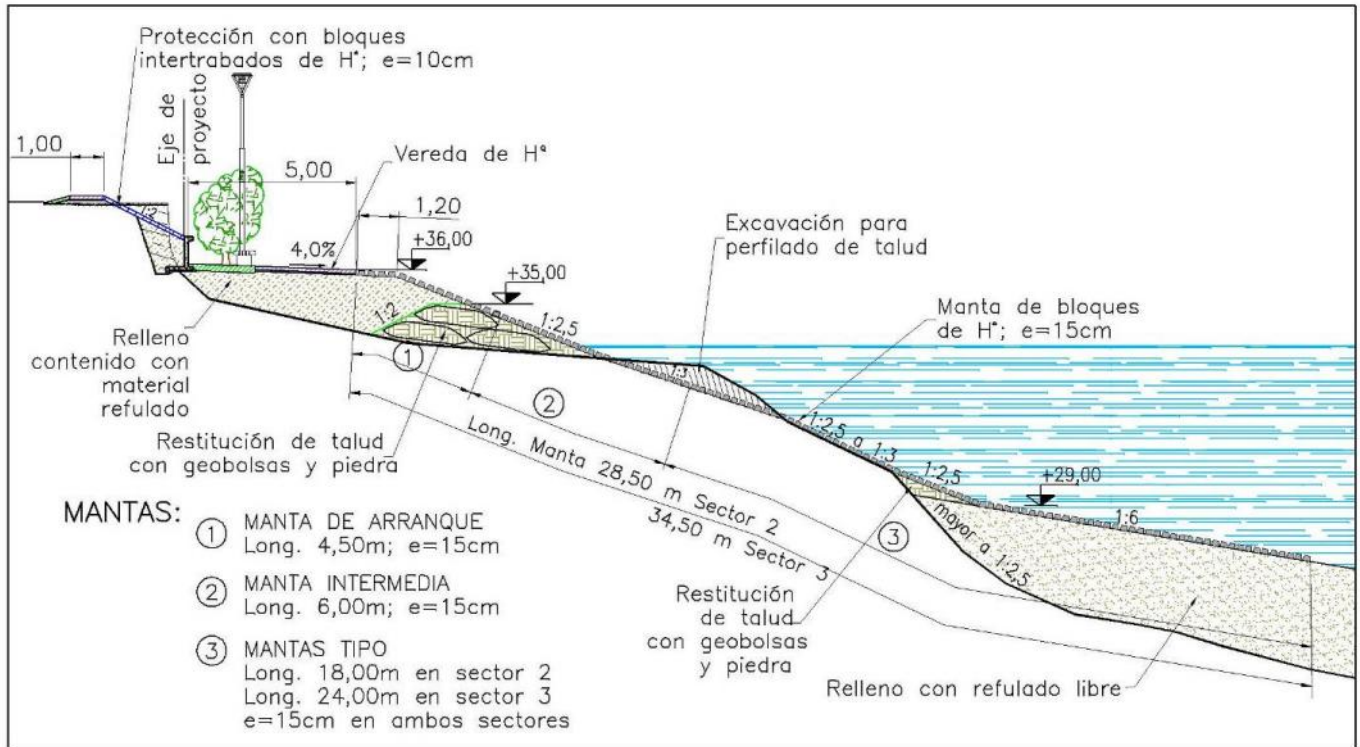
Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

**Fig. 7.3.** Detalle muro de sostenimiento de 3m de altura en Perfil tipo Sector 1, zona pedrera.



El Sector 2 se extiende por 855m, desde progresiva 220m hasta progresiva 1075m. En este sector la cubierta tiene una longitud de 28,50m y comienza debajo de la vereda de hormigón armado de 10 cm de espesor y 3m de ancho que se ubica en berma intermedia, con cota superior de borde de 36,00m.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes



**Fig. 7.4.** Perfil tipo de la defensa en Sector 2 y 3, zona con berma intermedia.

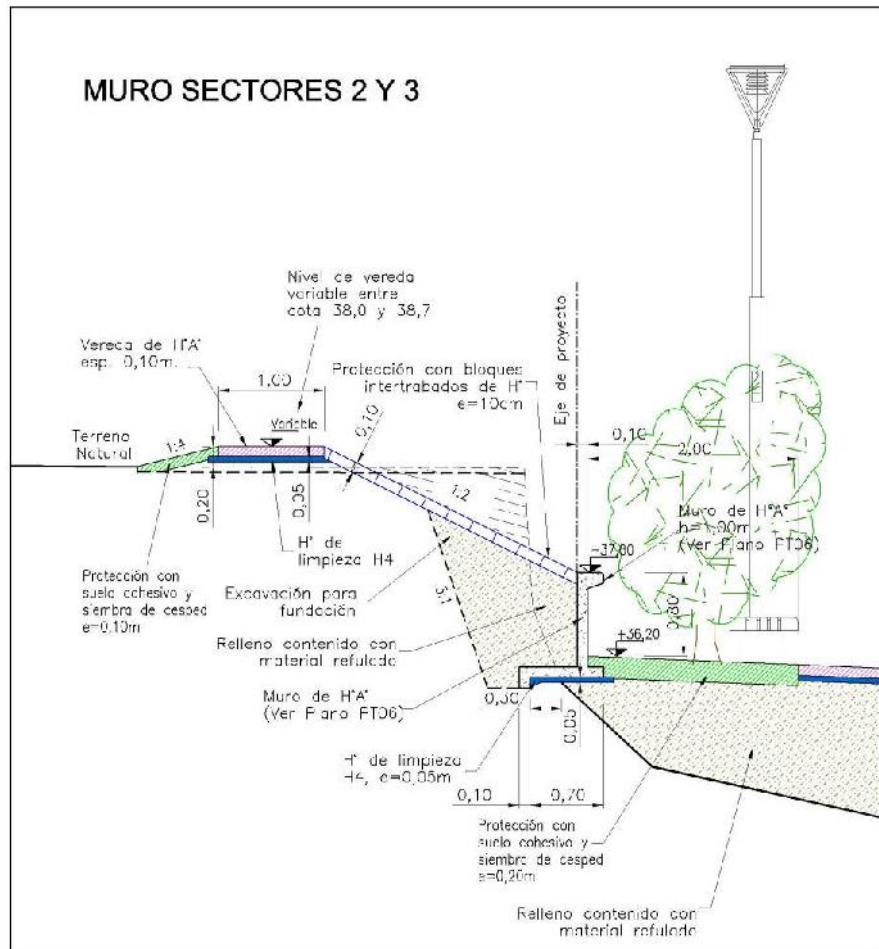
Desde allí sigue un tramo casi horizontal de la cubierta de 1,20m de longitud, continuando luego la manta por un talud con pendiente de 1:2,5 conformado por un relleno con geobolsas regularizado superficialmente con piedra.

Luego sigue la manta por el talud natural de la costa con pendiente menor a 1:2,5, o excavado con pendiente 1:3 en caso que esta sea más suave, hasta llegar a cota 29,00m donde se apoya sobre un refulado de fondo en caso de encontrarse con pendientes mayores a 1:2,5.

La berma intermedia tiene 5m de ancho en general con 2m de espacio verde detrás de la vereda que llevan un recubrimiento de suelo cohesivo de 20 cm de espesor y siembra de césped, los que se ubican junto con la vereda sobre un relleno conformado por material refulado. En el borde posterior de la berma se ubica un muro de sostenimiento de 1,00m de altura, con cota de base 36,00m, el que queda enterrado 20cm, con lo que tiene una altura libre de 80cm y sirve de banco corrido. Hacia atrás de este muro continúa superiormente una protección de bloques intertrabados con pendiente 1:2, que llega hasta la parte superior de de la barranca, generalmente hasta cota 38,20m, donde termina junto a una vereda superior de hormigón armado de 1m de ancho.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

**Fig. 7.5.** Detalle muro de sostenimiento de 1m de altura y protección superior con bloques intertrabados, Perfil tipo Sector 2 y 3.



Entre progresiva 705 a 890m se extiende un sector de playa conformado por un refulado libre colocado encima de la cubierta flexible, por lo que en caso de ocurrir alguna erosión esta llegará solo hasta la cubierta flexible. En el extremo superior de la playa se ubica un espigón conformado por un cuerpo de geobolsas regularizado superficialmente con piedra, que se protege con mantas de 12m de longitud transversal al mismo. Entre progresivas 780 a 890m la berma se ensancha 7,50m, con 4m de vereda y 3,50m de espacio verde.

El Sector 3 se ubica al sur de la ciudad entre progresivas 1077 y 1285m, es en general igual al sector 2 con la berma de 5m, pero la cubierta flexible tiene una longitud de 34,50m.

Además se han incluido una serie de espigones de fondo a continuación de la cubierta flexible, a construirse en sectores donde se ejecuta el refulado libre de fondo, el cual quedará sobre elevado de los sectores contiguos, y por lo tanto más expuesto a la erosión.



Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

Estos espigones tienen longitudes de 20 ó 30m de longitud horizontal, con 3m de ancho superior y 1m de altura, con taludes laterales 1:2, que se solapan sobre la cubierta 2 ó 3m. En total son 6 espigones, tres aguas arriba de la zona de playa y 3 aguas abajo, más la continuación del espigón de playa con el mismo tipo de protección.

Se prevén dos bajadas de lanchas al inicio y fin del Sector 2, en coincidencia con calle Roca y Colón. Estas tienen 6m de una calzada de hormigón de pendiente 1:5, que luego se continúa con cubierta flexible de 20cm. Luego en coincidencia con todas las calles que llegan a la defensa se prevén escaleras de 2 ó 3m de ancho, según su ubicación, para acceder desde el terreno superior a la berma intermedia.

Esta obra permitirá no solo defender el borde costero de la erosión, sino que brindará un mejor contacto de la población con el mismo, recuperando una zona de esparcimiento y posibilitando también la inclusión de playas, lo que brinda una proyección totalmente distinta a la ciudad.

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

## 7.2 DISEÑO ESTRUCTURAL

Los estudios básicos desarrollados y el dimensionamiento de la cubierta de protección se completan con los cálculos de las estructuras de hormigón armado de los muros de sostenimiento y edificios, así como la estabilidad global de taludes.

### 7.2.1 Estabilidad global de la obra

A fin de determinar el grado de seguridad al deslizamiento de los perfiles con la obra proyectada para el caso de la zona de la pedrera y de la defensa con berma intermedia. Para ello se realizó el correspondiente estudio de estabilidad de taludes. Los escenarios ensayados tuvieron en cuenta distintos niveles del río.

Para la evaluación de coeficiente de seguridad al deslizamiento se dispone de un Software de Modelación Geotécnica denominado SLOPE/W que ha sido creado específicamente para estos análisis por la compañía GEO SLOPE de Canadá, que es un Software de modelación geotécnica que utiliza la teoría del equilibrio último para determinar el factor de seguridad de taludes de tierra y rocas.

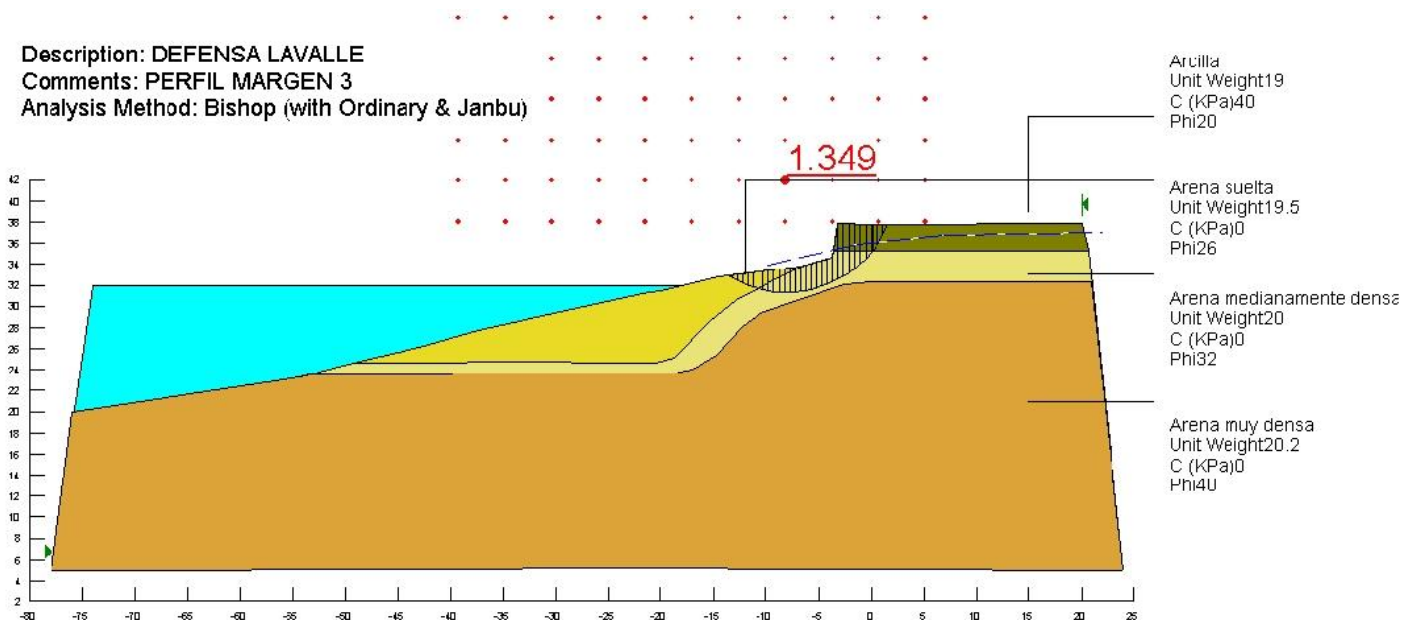


Figura 7.6. Análisis de estabilidad Situación actual Perfil Margen 3.

Se ingresaron tanto la geometría de los perfiles, como las características geotécnicas de los materiales. El perfil analizado se corresponde con el Perfil Margen 3 del estudio geotécnico,

Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

al cual se modificó para considerar la situación límite más desfavorable con un talud sumergido de 1:2,5. Y se le incorporaron las obras, primero para el perfil del Sector 1 de la pedrera y luego el perfil de los Sectores 2 y 3 con berma intermedia.

Description: DEFENSA LAVALLE  
Comments: PERFIL MARGEN 3  
Analysis Method: Bishop (with Ordinary & Janbu)

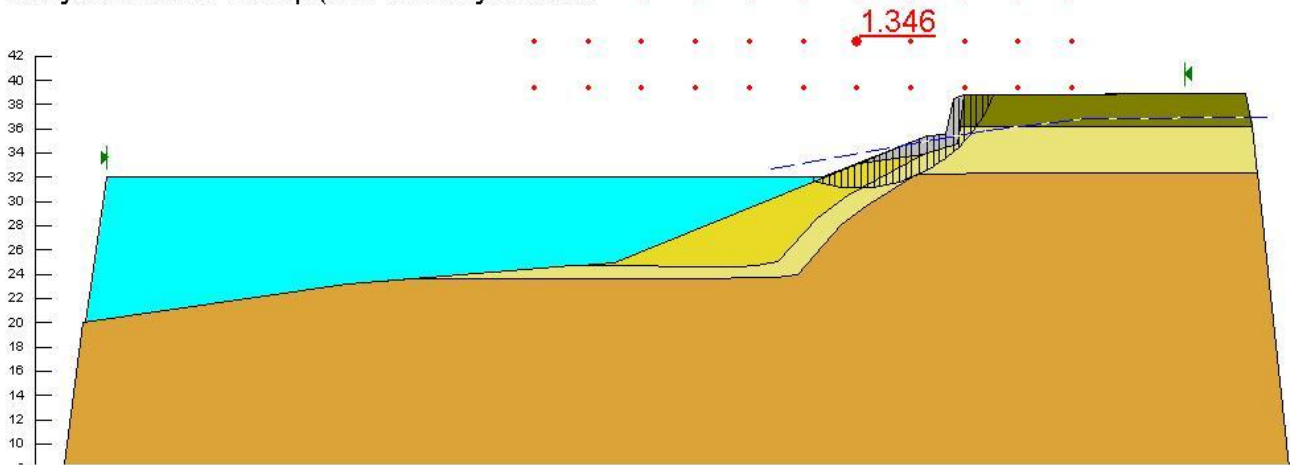


Figura 7.7. Análisis de estabilidad Proyecto zona Pedrera.

Description: DEFENSA LAVALLE  
Comments: PERFIL MARGEN 3  
Analysis Method: Bishop (with Ordinary & Janbu)

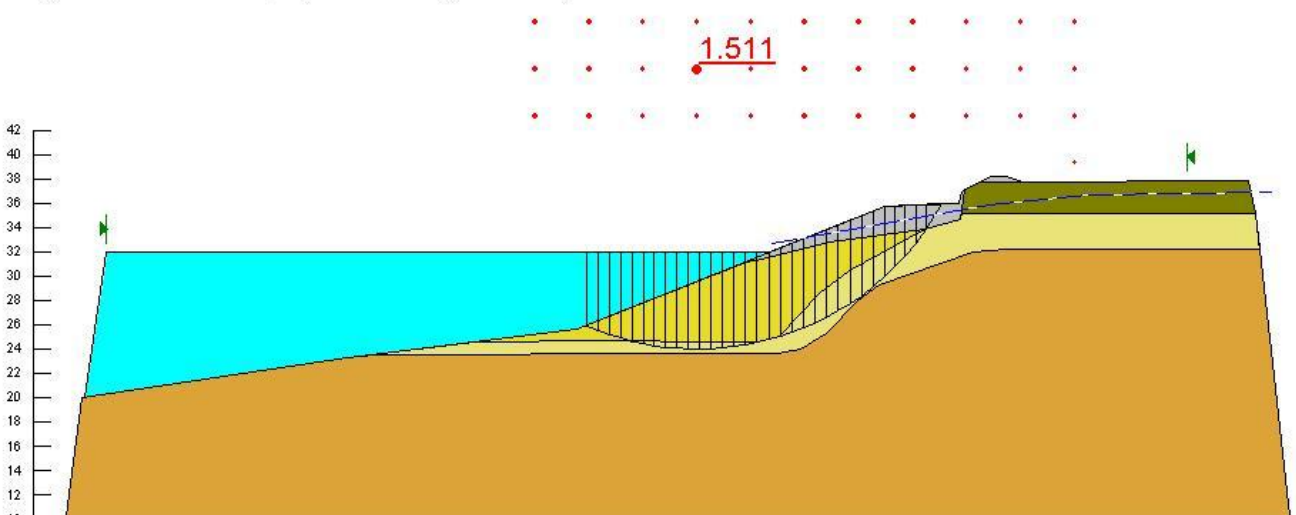


Figura 7.8. Análisis de estabilidad Proyecto zona con berma intermedia.



Obra: "Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle" Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

En ambos casos la situación con proyecto resultó estable, pero con menor grado de seguridad para la zona de la pedrera que para la zona con berma intermedia, donde la seguridad es mayor que la situación actual.

Para aquellas situaciones donde el talud sumergido tiene pendiente menor a 1:2,5 surge la necesidad de realizar un refulado de fondo como base para restitución del talud a una pendiente más estable, que como mínimo se definió en 1.2,5.

Por otro lado en aquellos casos que el talud sumergido es muy tendido, para reducir la longitud de manta que cubra la misma profundidad, surge la necesidad de realizar una excavación para conformar un talud sumergido con pendiente 1:3.

Para ambos perfiles de obra evaluados se definió la cota de 29,00m de IGM como la cota que limita estos taludes conformados o excavados. Para lo cual las tareas de restitución del talud 1:2,5 o de excavación a 1:3 se limiten a menos de 5m desde el nivel medio del río (33,61m de IGM). Debajo de esta cota los taludes conformados se consideran más tendidos con pendientes 1:6.

### **7.2.2 Cálculo de la resistencia del geotextil**

El cálculo del espesor de la cubierta flexible se determinó en la etapa de Diagnóstico y Alternativas de Protección. En el Anexo 7 se adjunta el cálculo de la resistencia del geotextil tejido de la cubierta flexible, para lo cual se consideraron distintas hipótesis de cálculo, como disminución de la resistencia del geotextil por envejecimiento, disminución del coeficiente de rozamiento entre el geotextil y el suelo, incremento del talud por fallencias constructivas, erosión al pie de la manta, creep e izaje.

Se obtuvo una resistencia mínima de 50KN/m para las mantas en general y en el caso específico de las mantas del borde superior de la defensa se obtuvo una resistencia de 80KN/m.

### **7.2.3 Cálculos de estructuras de hormigón armado**

Se realizaron los cálculos de las estructuras de hormigón armado correspondientes a los muros de sostenimiento de 3m de altura de la pedrera y de 1m de altura del resto de la defensa que sirve como banco corrido.-

Obra: “Defensa de Costa de la Ciudad de Lavalle” Dpto. Lavalle. Provincia de Corrientes

## 8 CÓMPUTOS MÉTRICOS, ANÁLISIS DE PRECIOS Y PRESUPUESTOS

Para los distintos ítems de obra se realizaron los cómputos métricos, los que se agruparon en distintos rubros. Dichos cómputos métricos se realizaron a partir de los perfiles transversales y plantas de los planos.

Para cada uno de los ítems se realizó el análisis de precio, y luego se confeccionó el presupuesto de la obra. En el gráfico siguiente puede verse la distribución del presupuesto según los rubros en que se dividió la obra.

<b>Terraplenes y movimientos de suelos</b>	<b>60.674.386,99</b>
<b>Protección de costa</b>	<b>97.945.439,25</b>
<b>Desagües Pluviales</b>	<b>2.356.362,34</b>
<b>Organización y control de obra</b>	<b>19.317.142,63</b>
<b>PRESUPUESTO DE OBRA</b>	<b>180.293.391,22</b>



**Figura 8.1.** Presupuesto de Obra por rubro