



COMISION ADMINISTRADORA
DEL RIO DE LA PLATA



ESTUDIO PARA LA EVALUACION DE LA CONTAMINACION EN EL RIO DE LA PLATA



SHN



SOHMA

INFORME DE AVANCE

1989

COMISION ADMINISTRADORA DEL

**PROYECTO
RIO DE LA PLATA**

**ESTUDIO PARA LA EVALUACION DE LA
CONTAMINACION EN EL RIO DE LA
PLATA**

Informe de Avance

1989

Ejemplar N° 240

PROLOGO

La Comisión Administradora del Río de la Plata es un organismo internacional, de carácter binacional y fue creado de acuerdo al Artículo 59 del Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo, firmado por la República Argentina y la República Oriental del Uruguay el 19/XI/1973; la instalación efectiva se realizó el 29/III/1977 con presencia de los cancilleres de ambos países.

El Tratado es claro al señalar como una de las funciones prioritarias, la obligación de la Comisión de promover la realización conjunta de estudios e investigaciones de carácter científico, con especial referencia a la evaluación, conservación y preservación de los recursos vivos y su racional explotación y la prevención y eliminación de la contaminación y otros efectos nocivos que puedan derivar del uso, exploración y explotación de las aguas del río.

Es así que cumpliendo con esas responsabilidades a fines de 1978 se convoca a los institutos y organismos de las Partes entendidos en la compleja problemática del río y en especial a los servicios hidrográficos de la República Argentina (Servicio de Hidrografía Naval - SIHN) y de la República Oriental del Uruguay (Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada - SOHMA), iniciando consultas tendientes a establecer un programa conjunto de investigación del Río de la Plata, con particular énfasis en la problemática de la contaminación. Por entonces, la experiencia de los grupos de investigadores abocados al problema era escasa en algunos temas específicos, y los medios disponibles insuficientes e incluso en algunos tópicos inexistentes.

Como resultado de aquella iniciativa se esbozó un programa preliminar exploratorio cuya ejecución comenzó en 1980. Se buscó obtener de este modo, una valoración inicial de algunos parámetros básicos utilizables como indicadores de contaminación.

Simultáneamente, se inició la tarea de recopilación y análisis de antecedentes así como de búsqueda de asesoramiento para la confección de un plan que, con mayor amplitud y extensión, sirviera de marco para un estudio de evaluación de la contaminación en el río. Contando con el aporte de la información inicialmente obtenida y la colaboración de especialistas internacionales en la materia, pudo concretarse en 1981 la confección de un Plan Experimental para la Evaluación de la Contaminación en el Río de la Plata.

El Proyecto organizado en dos áreas principales - Química Marina General y Dinámica del Agua y de los Sedimentos - implica el desarrollo de tareas interdisciplinarias. Esto dio origen al establecimiento de grupos de trabajo en ambos Servicios, para cubrir los aspectos físicos, químicos, geológicos y meteorológicos.

La imprescindible tarea de planificación coordinada, compatibilización, discusión e integración de experiencias y resultados se materializó a través de reuniones periódicas conjuntas en las sedes de los Servicios intervinientes. De esta forma, y progresivamente se evaluó la marcha de las acciones previamente coordinadas y asignadas, y se planificó el desarrollo de las próximas actividades (de campo, laboratorio, gabinete, etc). Este proceso de interacción fundamental, se completó con el intercambio de información, personal y materiales que permitió el uso más racional y eficiente posible de los recursos disponibles.

Tal como se sintetiza en el punto 1 de las Generalidades, numerosos han sido los esfuerzos observacionales realizados desde el inicio de las actividades, y diverso asimismo el grado de éxito obtenido. La extensión del área de estudio, cantidad de parámetros considerados y particularidades del ambiente a relevar, confieren a la tarea un carácter frecuentemente complejo.

Durante el transcurso del programa se elaboraron informes preliminares que, con distintos grados de detalle, describieron fragmentaria y parcialmente diferentes aspectos de la tarea.

La presente publicación compendia los resultados y conclusiones a los que la labor desarrollada hasta 1987 permite arribar. Consecuentemente, esta síntesis constituye en primer término un nuevo aporte al conocimiento del complejo sistema fluvio-marino bajo estudio. Existe un segundo objetivo, que resulta de fundamental importancia para el equipo de investigadores comprometido en el

programa y que se vincula con la prosecución de la **tarea**. En efecto, la confección de esta publicación, permite identificar claramente **varios aspectos del problema** no suficientemente cubiertos aún, y sobre los que será necesario concentrar futuros esfuerzos. Asimismo, la aparición de ciertos interrogantes puntuales y específicos inducirán en algunos casos a la reorientación de líneas de investigación y a la modificación y perfeccionamiento de las experiencias de campo y laboratorio.

Este informe está organizado en cuatro capítulos. En cada uno de los tres primeros se presenta y analiza la información obtenida en diferentes materias específicas : Geología, Física y Química. Un breve capítulo final destaca las conclusiones más significativas del trabajo en su conjunto, con preferente atención hacia las cuestiones ligadas con la evaluación de la calidad de las aguas y la problemática de su contaminación. Algunos planos e ilustraciones que completan el informe, son agregados en forma separada para facilitar al lector su adecuado manejo.

Los investigadores y técnicos mencionados en el punto 2 de las Generalidades constituyen el grupo básicamente responsable de la planificación, obtención, análisis y presentación de estos resultados. El apoyo del personal técnico y administrativo de los planteles integrantes de ambos servicios, así como el aporte de diferentes dotaciones de las embarcaciones para la obtención de datos, han resultado igualmente fundamentales para concretar la tarea aquí desarrollada.

El rol representado en el programa por la Comisión Administradora del Río de la Plata es de vital importancia, pues no sólo ha promovido y facilitado el arduo camino transitado desde sus inicios, sino que le da al mismo el marco jurídico que emana del propio Tratado del Río de la Plata y su Frente Marítimo, haciendo realidad la integración de dos Estados en el estudio del río a través de organismos idóneos como lo son el SOHMA y el SIHN.

Los resultados obtenidos indican la conveniencia de asegurar la continuidad de estos esfuerzos en el futuro y de expandir y diversificar a través de medidas adecuadas el aprovechamiento de la información técnica recogida, por círculos cada vez más amplios de usuarios.

AGRADECIMIENTOS

Los Servicios Hidrográficos de ambos países responsables del desarrollo del presente programa de investigación desean agradecer a los siguientes organismos cuyos aportes han complementado al brindado, principalmente, por la **Comisión Administradora del Río de la Plata**:

- A la **Secretaría de Ciencia y Tecnología** de la República Argentina y a la **Oficina de Planeamiento y Presupuesto (Cooperación Internacional)** de la República Oriental del Uruguay por la especial atención brindada al programa.

- A la **Organización de los Estados Americanos (OEA)** por el apoyo económico en las diferentes áreas y etapas del estudio.

- A las **Oficinas de la Representación de la Secretaría General de la OEA** en la Argentina y de la **Secretaría General de la OEA** en Uruguay por la preocupación siempre puesta de manifiesto en el desarrollo del estudio.

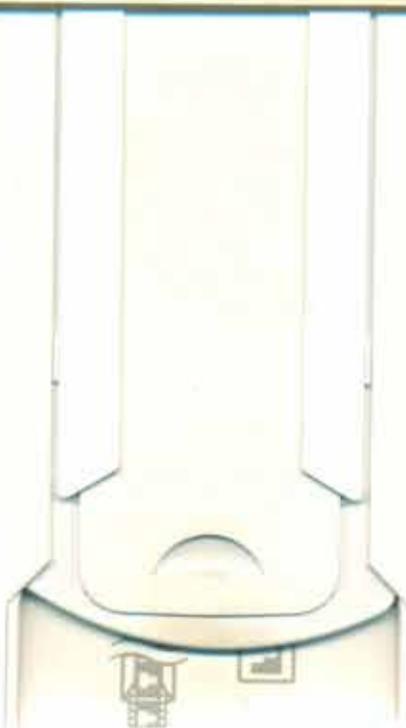
- A los diferentes científicos y/o instituciones que directa e indirectamente han vertido sus opiniones o asesorado a los equipos intervinientes.

INDICE

PROLOGO.....	I
AGRADECIMIENTOS	V
GENERALIDADES	IX
1 SINTESIS DE CAMPAÑAS Y ACTIVIDADES DE CAMPO.....	IX
2 PROFESIONALES, TECNICOS Y PERSONAL MILITAR INTERVINIENTES	XI
3 DESCRIPCION DEL AREA BAJO ESTUDIO	XIII
CAPITULO I - ASPECTOS GEOLOGICOS	1
INTRODUCCION	1
SECCION 1 - Características generales de la morfología.....	1
SECCION 2 - Variabilidad morfológica.....	17
SECCION 3 - Sedimentos superficiales de fondo	31
SECCION 4 - Síntesis.....	40
ANEXO 1.1 - Bibliografía.....	43
Figuras del Capítulo I	49
CAPITULO II - ASPECTOS FISICOS	73
INTRODUCCION	73
SECCION 1 - Análisis de la información hidrológica.....	73
SECCION 2 - Mareas en el Río de la Plata	80
SECCION 3 - Análisis de los sistemas de corrientes del Río de la Plata.....	92
SECCION 4 - Síntesis.....	119
ANEXO 2.1 - Modelo hidrodinámico para el Río de la Plata	122
ANEXO 2.2 - Consideraciones sobre los efectos de la salinidad en la circulación.....	141
ANEXO 2.3 - Consideraciones sobre los procesos de circulación litoral.....	150
ANEXO 2.4 - Bibliografía.....	163
Figuras del Capítulo II.....	165
CAPITULO III - ASPECTOS QUIMICOS	207
INTRODUCCION	207
SECCION 1 - Materiales y métodos	211
SECCION 2 - Parámetros físico-químicos generales.....	215
SECCION 3 - Hidrocarburos, metales y biocidas	291
SECCION 4 - Fitoplancton : Biomasa y composición.....	372
SECCION 5 - Síntesis.....	401
ANEXO 3.1. Bibliografía	407
CAPITULO IV - CONCLUSIONES	413

FE DE ERRATA

- pág. X - Donde dice: ROU "URUGUAY ARTIGAS"
Debe decir: ROU "URUGUAY", ROU "ARTIGAS"
- pág. XII- Punto 2.5 Donde dice: (1980-1987)
Debe decir: (1988-1989)
- pág.157 - Ecuación 21- Donde dice: $E - \text{sen } \theta \cos \theta$
Debe decir: $E \text{ sen } \theta \cos \theta$
- pág.212 - Tabla III.2-Nitrato- Donde dice: Stricland
Debe decir: Strickland
- pag.214 - Donde dice: analizadas
Debe decir: extraídas
Donde dice: extraídas
Debe decir: tomadas
- Figs.III 103, III 107 y III 108 - Donde dice: 1 mg/m^3
Debe decir: 3.3 mg/m^3
- Fig.III 108 - Donde dice: dietrítica
Debe decir: detritica
- pág. 413 - quinto párrafo - Entre : cabecera,
y : limos
Intercalar : hasta
- pag.407 - Intercalar entre octavo y noveno párrafo:
COI - UNESCO. 1983 . Method of Seawater Analysis.
COI - UNESCO. 1984 . Manuales y Guías Nº 13. Manual para la vigilancia del Aceite y de los Hidrocarburos del Petróleo Disueltos o Dispersos en el Agua de Mar y en las Playas.
Agregar a continuación del undécimo párrafo:
EPA. 1983. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United States Environmental Protection Agency.
- pág.408 - Intercalar entre cuarto y quinto párrafo:
GEMS -1976. GEMS/AGUA. Guía Operacional. Traducido del original en inglés (1976). Publicado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).1983.



GENERALIDADES

1.- SINTESIS DE CAMPAÑAS Y ACTIVIDADES DE CAMPO.

La información utilizada para el desarrollo de los tópicos incluídos en el presente trabajo procede de tres distintos tipos de fuente :

-Recopilaciones bibliográficas y de datos, provenientes de estudios y archivos disponibles en los servicios hidrográficos participantes (SIHN - SOHMA) y en otros organismos.

- Fuentes de carácter permanente o de oportunidad. Bajo esta denominación se agrupan aquellos medios de obtención de datos aprovechables, aún cuando no hayan sido inicialmente destinados al desarrollo del programa : estaciones mareográficas y/o meteorológicas permanentes, actividades hidrográficas y/u oceanográficas ajenas al programa, etc.

- Actividades de campaña (terrestres o embarcadas), específicamente realizadas en el marco del programa.

A través de los esfuerzos observacionales mencionados en último término, se obtuvo la totalidad de los valores de parámetros químicos aquí analizados.

Asimismo se amplió, mediante el correspondiente fondeo de instrumental, el conjunto de datos preexistentes en materia de corrientes y mareas. Con similar criterio, se efectuaron muestreos geológicos y relevamientos geofísicos tendientes a conformar un adecuado cuadro de la morfología y distribución sedimentaria del área bajo estudio.

Cerca de noventa muestreos costeros periódicos, fundamentalmente sobre la costa uruguaya, fueron efectuados para la obtención de información básica y como complemento de la actividad desarrollada por las embarcaciones.

Para el desarrollo de las tareas sintéticamente descriptas fueron utilizadas diferentes unidades navales de Argentina y Uruguay, en su gran mayoría

pertenecientes a ambas Armadas (ROU "URUGUAY ARTIGAS", ROU "CAMPBELL", ROU "HURACAN", ROU "RIO NEGRO", ROU "SALTO", ROU "PAYSANDU", ROU "VANGUARDIA", ARA "CORMORAN", ARA "PETREL" y ARA "COMODORO RIVADAVIA"). Esta actividad significó para el período 1980-1987 la ejecución de más de cincuenta campañas, generalmente de duración no superior a 5 días.

El grado de éxito obtenido en las tareas de muestreos físico-químicos y geológicos, así como el de los relevamientos sísmicos fue muy satisfactorio, con ocasionales limitaciones generadas por condiciones meteorológicas adversas. Menor rendimiento se obtuvo en cambio, en tareas de medición de corrientes y mareas mediante fondeo de instrumental. En este sentido, se registró la pérdida accidental de varios instrumentos, ocasionada fundamentalmente por la presencia de buques de pesca o en tránsito en la zona.

La actividad de buques de investigación en el área fue también aprovechada cuando las circunstancias lo hicieron posible. De este modo, se participó en campañas de buques tales como el B/PFAO "CRUZ DEL SUR" (INSTITUTO NACIONAL DE PESCA DEL URUGUAY), y el ARA "PUERTO DESEADO", las que permitieron obtener información de utilidad para el programa.

Otras unidades de ambas Armadas fueron también utilizadas durante sus tránsitos por la zona, para tareas de fondeo, inspección y/o recuperación de instrumental.

2.- PROFESIONALES , TECNICOS Y PERSONAL MILITAR INTERVINIENTES.

Se detalla a continuación la nómina de los profesionales y técnicos más estrechamente vinculados a las distintas etapas de ejecución del programa en su faz técnica. Se indica el lapso de actuación en los casos en que ésta no haya abarcado a la totalidad del período de trabajo incluido en este informe (1980-1987). Los profesionales cuyos nombres se destacan con asterisco, son los responsables por la redacción final de los distintos capítulos de la publicación.

La relación que sigue, no es exhaustiva. La tarea ha sido desarrollada dentro del ámbito de los Departamentos de Oceanografía de ambos Servicios, y, más concretamente en los correspondientes a las divisiones Física, Geología y Química. La totalidad de los profesionales y técnicos integrantes de dichas divisiones, ha tenido por tanto, algún tipo de participación en las actividades de planificación, campañas, análisis y elaboración, que el programa demanda.

2.1.- Area GEOLOGIA.

Dr. Gerardo PARKER	(SIHN) *
Dr. Roberto VIOLANTE	(SIHN,1985-1987)
Lic. Ricardo AYUP	(SOHMA,1980-1984)
Lic. Rodolfo BIER	(SOHMA,1983-1986)
Lic. José CAVALLOTTO	(SIHN,desde 1982)
Lic. Jorge LOPEZ LABORDE	(SOHMA,desde 1984) *
Lic. Susana MARCOLINI	(SIHN,desde 1982)
Téc. Daniel GHIORZO	(SIHN,1983,1984)
Téc. Alejandro de LEON	(SIHN,desde 1981)
Téc. María del Carmen LOPEZ	(SIHN,1983-1985)
Téc. Horacio MARTINEZ	(SIHN)

2.2.- Area FISICA.

Dr. Carlos MAZIO	(SIHN,desde 1986) *
Ing. Néstor W. LANFREDI	(SIHN,1980-1987)
Lic. Ernesto FORBES	(SOHMA,desde 1985)
Lic. Carlos MARTINEZ	(SOHMA) *
Téc. Jorge SPERONI	(SIHN)

2.3.- Area QUIMICA.

Dr. Atilio FRANÇOIS	(SOHMA,1981-1983)
Dr. Aldo ORLANDO	(SIHN) *
Dr. Ricardo RISO	(SOHMA,1980-1986)
Ing. Etefvina ARRAGA	(SIHN)
Ing. Américo KURUCZ	(SOHMA,desde 1984)
Ing. Miguel MOYANO	(SOHMA,desde 1986)
Lic. José BAZAN	(SIHN)
Lic. Gustavo NAGY	(SOHMA)
Lic. Ana PERDOMO	(SOHMA,desde 1981) *
Bach. César LOPEZ	(SOHMA)
Anal. Pedro CASTELS	(SOHMA,desde 1983)
Téc. Omar CAMPODONICO	(SOHMA,1980-1986)
Téc. Omar MARCUCCI	(SIHN)
Téc. Daniel MOLINA	(SIHN)
Téc. Henry MORESCO	(SOHMA)
Téc. Enrique SIK	(SIHN)

2.4.- Obtención de datos

Comandantes y Dotaciones de las embarcaciones antes detalladas (1980-87)

2.5.- Coordinación de la Redacción del Informe de Avance

Plana Mayor de los Departamentos Oceanografía de ambos Servicios (1980-87)

3.- DESCRIPCION DEL AREA BAJO ESTUDIO.

El Río de la Plata se ubica en la costa Este de América del Sur, entre los paralelos 34° y 36° 20' de latitud Sur y los meridianos 55° y 58° 30' Oeste, aproximadamente.

De acuerdo con el Tratado del Río de la Plata firmado por la República Argentina y la República Oriental del Uruguay en noviembre de 1973, el mismo se extiende desde el paralelo de Punta Gorda (latitud 33° 55' Sur) hasta su desembocadura en el Océano Atlántico, ubicada en la línea imaginaria que une Punta Rasa (RA) con Punta del Este (ROU). Su longitud aproximada es de 320 km y su sección es creciente hacia el SE, variando su ancho desde los 2 km en su nacimiento hasta los 220 km en su desembocadura.

Para facilitar una clara apreciación de la dimensión del área bajo estudio, se detallan las anchuras correspondientes a diferentes secciones :

Paralelo Punta Gorda.....	1.7 km
Punta Lara (RA) - Colonia (ROU).....	38 km
Punta Atalaya (RA) - Punta Jesús María (ROU)	68 km
Punta Rasa (RA) - Punta Brava (ROU).....	161 km
Punta Rasa (RA) - Punta del Este (ROU).....	220 km

La longitud aproximada de la costa Norte es de 416 km, y de 393 km en la costa Sur.

El Río de la Plata constituye el colector de la segunda cuenca hidrográfica de América del Sur, la que con un área aproximada de 3.100.000 km² se extiende por territorios de Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay.

Un sector de esta cuenca (ríos Paraná Superior y Uruguay), se desarrolla en terrenos geológicos precámbricos pertenecientes al escudo brasileño, de superficie ondulada, muy rebajada por la erosión y con un sistema fluvial muy ramificado. El resto (ríos Paraná Inferior y Paraguay), recorre una inmensa llanura aluvial reciente, que comprende el bajo Matto Grosso y la llanura Chaco-Pampeana.

Dada la extensión de la cuenca, sus características planialtimétricas y pluviométricas son muy variables, con alturas que oscilan entre los 100 y 2000 m, y promedios anuales de precipitación entre 100 y 3000 mm.

El sistema hidrológico puede ser considerado como puramente pluvial, a pesar del régimen mixto (níveo-pluvial) de las regiones más elevadas de la cuenca.

El Río de la Plata nace en la confluencia de los ríos Paraná y Uruguay, los que le aportan un caudal cercano a los 20.000 m³/s. Este valor fluctúa, principalmente a causa de las variaciones estacionales de las precipitaciones, siendo a su vez otro factor influyente, el régimen de descarga de represas hidroeléctricas tales como Salto Grande en el río Uruguay.

Una veintena de ríos menores, y más de medio centenar de arroyos, aportan a su vez sus aguas a lo largo de ambos márgenes del río.

Distintos autores han propuesto la subdivisión del Río de la Plata en tres zonas o regiones geográficas, en base a criterios geológicos o físicos. La denominación y límites de dichas zonas, se indican a continuación :

a) Interior o Superior : corresponde al sector ubicado al Oeste de la línea Colonia - Buenos Aires.

b) Media o Intermedia : ubicada entre las líneas Colonia - Buenos Aires, y Montevideo - Punta Piedras.

c) Exterior o Inferior: ubicada hacia el Este de la línea Montevideo - Punta Piedras y hasta el límite exterior del río (Punta del Este - Punta Rasa).

La escasa profundidad del río, no permite la generación de mareas en su interior por lo que toda alteración del nivel de sus aguas es debida a la acción de la marea oceánica, influida por las perturbaciones atmosféricas. Esta acción se traduce en una marea de régimen diurno con desigualdades diurnas y amplitudes medias del orden de 1 m en la costa Sur y 0.35 m en la Norte, de complejas características.

Las corrientes que se manifiestan en el Río de la Plata son el resultado, fundamentalmente, de los fenómenos asociados a la onda de mareas y a la descarga fluvial de los ríos Paraná y Uruguay.

El Río de la Plata Exterior o Inferior, constituye un amplio sistema abierto al mar. Este hecho le confiere características de ambiente fluvio-marino, con las particulares consecuencias implícitas. Estos ecosistemas, ricos en sales nutrientes aportadas por sus tributarios y la dinámica costera, constituyen áreas potencialmente productivas. Como consecuencia, configuran amplias zonas de desove y cría de especies comerciales y/o de valor ecológico.

Los sistemas fluviomarinos son, por sus características físico químicas, sensibles a la contaminación. El Río de la Plata recibe además, el aporte de desechos urbanos e industriales de grandes ciudades, como Buenos Aires y Montevideo entre otras, así como el correspondiente a tributarios que recorren una amplia cuenca agrícola-ganadera con importantes centros poblados industrializados.

CAPITULO I

ASPECTOS GEOLOGICOS

INTRODUCCION.

El área Geología Marina contribuye al " Estudio para la Evaluación de la Contaminación en el Río de la Plata " mediante :

- el estudio del relieve del fondo : bajo la premisa de que cada unidad morfológica identificada constituye un ambiente dinámico con características propias que deberá ajustarse a sistemas de circulación locales.

- el estudio de la variabilidad temporal de dichas unidades morfológicas : que permite, conjuntamente con el estudio de las formas, determinar zonas de acumulación y erosión identificándose así, las zonas potencialmente críticas para la acumulación de contaminantes.

- el estudio de los sedimentos superficiales de fondo : considerados como indicadores de la circulación a largo plazo. La distribución de diámetros y modas elementales, en el contexto general del río, permite detectar las zonas de depositación más favorables para cada fracción granulométrica.

- el estudio de los registros acústicos : a efectos de diferenciar las áreas sujetas a la dinámica actual de las relictas.

SECCION 1.- CARACTERISTICAS GENERALES DE LA MORFOLOGIA.

El estudio de la morfología del lecho del Río de la Plata es de fundamental importancia ya que está directamente relacionada con la dinámica de sus aguas. Cada rasgo morfológico puede ser interpretado como la interacción de la hidrodinámica y

las características geológicas del lecho; es así que la identificación y estudio de las diferentes formas, y de su interacción, mediante su correlación con formas conocidas, permite una primera aproximación a su génesis y, a partir de ella, inferir la dinámica que gobierna al sistema.

1.1.- Antecedentes.

Fueron varios los relevamientos realizados en el Río de la Plata durante el siglo pasado, algunos descriptivos y poco precisos, otros simples bosquejos para satisfacer las necesidades del navegante. En orden cronológico, caben citar :

a) Carta Esférica del Río de la Plata (1803), realizada por el Capitán de Fragata de la Marina Española Dn. Andrés de Oyarvide.

b) Carta del Río de la Plata (1811-1814), realizada por el Capitán J. Warner (RN - HMS "NEREUS").

c) Corrección a la Carta de Oyarvide en el Río de la Plata Superior o Interior editada en 1812 (1869), Almirantazgo Británico, publicación de la carta N° 2544 " Río de la Plata ".

d) Levantamiento del Tte. Dawson y SubTte. Hamond (1871).

e) Carta del Río de la Plata (1873), realizada por el hidrógrafo francés Robiquet, según los levantamientos franceses, ingleses y españoles.

f) Corrección a la Carta de Oyarvide (1875), realizada por José Murature , según los mapas de Sullivan.

En 1901 se crea la Comisión del Río de la Plata a cargo del Capitán de Navío Sáenz Valiente de la cual resultó la carta náutica N° 5.

A partir de esta época se han realizado distintos relevamientos hidrográficos, algunos de ellos de suma importancia, entre los que se cuentan los antecedentes cartográficos que el Ministerio de Obras Públicas (República Argentina) realizara desde 1895 y que se concretaran en las cartas publicadas en 1905, 1926, 1947 y 1957.

En 1964, a 60 años del relevamiento realizado por Sáenz Valiente, se promueve la creación de una comisión para efectuar el " Relevamiento Integral del Río de la

Plata", tarea realizada en conjunto por los Servicios Hidrográficos de Argentina y Uruguay.

Los relevamientos realizados por esta comisión (1964-1969) constituyeron la información básica para la confección de planos batimétricos y del estudio morfológico del Río de la Plata, por ser éste el levantamiento de carácter integral más reciente.

Ante la necesidad de contar con cartas que abarquen la totalidad del Río de la Plata, confeccionadas bajo un sistema de proyección compatible no sólo con los planos de sondaje sino también con la información topográfica terrestre, a la vez que resultase de un tamaño manejable, se confeccionó un plano base, a escala 1/250.000, asentado sobre un sistema de coordenadas Gauss Krüger.

1.2.- Recopilación de la información.

La primera etapa en el desarrollo de esta tarea consistió en la recopilación de información topográfica-batimétrica proveniente de los archivos técnicos de ambos Servicios (SIHN y SOHMA) y del Ministerio de Obras Públicas (Rep. Argentina), de todas las campañas hidrográficas hechas a la fecha en el Río de la Plata, de los puntos trigonométricos costeros e interiores, así como la búsqueda bibliográfica referente a la morfología del río.

Del análisis de dicha información fueron elegidos, a efectos del objetivo planteado, aquellos relevamientos de carácter integral que abarcaran las mayores áreas. (Fig. I.1).

1.3.- Armado del Plano Base.

La heterogeneidad en las áreas y escalas de los levantamientos (Fig. I.2), llevó a seleccionar una escala compatible con el plano base, resultando la de 1/100.000 como la más apta, no sólo por ser aproximadamente la mitad del plano base, lo cual otorga precisión adecuada a la reducción, sino porque a dicha escala se relevaron amplios sectores del río.

El siguiente paso consistió en la división del plano base en mosaicos, en escala 1/100.000, con márgenes de superposición de 8 km en todos sus bordes, y la construcción de un reticulado de 8 km de lado, a efectos de asegurar la precisión en el traslado de los puntos y ensambles (Fig. I.3).

La confección de cada mosaico se realizó mediante el volcado con superposición de los diferentes sondajes originales cuando eran a igual escala, o por reducciones fotográficas controladas cuando lo eran a diferentes escalas. Previamente se transformaron los valores de pies y pulgadas a metros y se refirieron al nivel medio local de cada zona (Fig. I.4).

Concluido el volcado de los mosaicos se trazaron las isobatas cada metro de profundidad. Para que no constituyera una simple interpolación de datos, el trazado se realizó mediante la observación permanente de los registros ecográficos, aplicando para el trazado un criterio morfológico.

Una vez concluido el trazado de las isobatas en la totalidad de los mosaicos, éstos fueron reducidos fotográficamente, de la escala original 1/100.000 a 1/250.000, y ensamblados en base a un sistema de coordenadas Gauss Krüger. Se obtuvo así, un plano batimétrico de todo el río con una discriminación superior a la de su escala y donde todos los posibles errores gráficos fueron eliminados mediante su reducción. En consecuencia, este plano (dada la metodología seguida para su construcción) es único en su tipo y de precisión acorde al objetivo planteado.

1.4.- Inconvenientes encontrados.

En el armado de cada mosaico se observaron una serie de inconvenientes que afectaban su exactitud :

a) deformación del papel : relacionada con los planos de sondaje que no fueron elaborados en soporte estable; en promedio, fue del orden de 5-6 mm cada 80 cm. Se resolvió trazando un nuevo sistema de cuadrícula de 8 km de lado, igual a la del mosaico. Para ello, se determinó en todos los casos, el coeficiente de distorsión en "x" e "y", por diferencia entre la distancia teórica entre dos puntos trigonométricos y la medida sobre el plano a la escala del papel distorsionado, eliminándolos en forma fotográfica.

b) posicionamiento de las líneas de sondaje : es decir errores que al trazar las isobatas provocaban configuraciones anómalas, no señaladas en los registros acústicos. Confirmada, en los registros, la inexistencia del rasgo topográfico, fueron eliminadas aquellas líneas de sondaje que originaban la distorsión a efectos de suavizar el diseño de las isobatas.

c) discrepancias entre los valores de sondaje en las áreas de superposición de levantamientos : en estas zonas se observaron diferencias del orden de los 50 cm. Ante la imposibilidad de corregirlo, este error constituyó un factor determinante en la selección de la equidistancia de la carta; las diferencias fueron compensadas gráficamente.

d) densidad de sondajes : relacionada con el espaciamiento entre líneas de sondajes. A este respecto el International Hydrographic Bureau (1982) recomienda usar para levantamientos, a escala 1/100.000, una separación entre líneas de sondajes de 1 km (1 cm a la escala de representación) y una exactitud, para las profundidades registradas, de 30 cm. Como la información del levantamiento elegido es totalmente heterogénea, se compatibilizaron a la escala de los mosaicos siguiendo las recomendaciones del organismo internacional . Por otra parte, en los casos en que la densidad de sondajes fuese muy grande se seleccionaron, de cada reducción, datos batimétricos al azar cuya separación no fuera superior a 1.0 cm ni menor a 0.5 cm. De acuerdo con ésto el plano no puede discriminar aquellas formas cuyo tamaño sea del orden de 500 m.

1.5.- Unidades morfológicas.

En el plano batimétrico confeccionado (Plano 1-Separata), se advierten a través del diseño de las isobatas, áreas con rasgos particulares que fueron analizadas bajo la categoría de unidades morfológicas, entendiéndose por tales a "aquellas superficies deposicionales o erosionales reconocidas por sus características topográficas" (Dictionary of Geological Terms, 1962). Cada una de éstas unidades esta identificada en el plano morfológico (Plano 2-Separata). Su caracterización geológica, así como su interpretación genética se pasa a describir :

PLAYA HONDA -

Es la prolongación subácuea del Delta del Paraná, desde donde se extiende hacia el SE hasta la línea imaginaria Pta. Quilmes-Colonia; su límite, en forma aproximada, lo enmarca la isobata de 6m. Está separada de la costa uruguaya por el Sistema Fluvial Norte y de la costa argentina por la Franja Costera Sur.

Constituye un extenso bajofondo, cuya forma corresponde a la de una plataforma de perfil transversal convexo de suaves pendientes. Se encuentra atravesada por una

serie de canales entre los que se destaca el Canal de las Palmas y los Pozos de Barca Grande, ubicados en el extremo Oeste.

Está constituida por sedimentos de naturaleza arenosa en la parte Norte, que gradan a limos arenosos hacia el Sur y a limos hacia el SE, los cuales evidencian la influencia de los ríos Uruguay-Paraná Guazú, en el sector Norte y central, y Luján-Paraná de las Palmas en el sector Sur (Parker et al., 1985). Descripciones de perforaciones (Parker, 1985) indican un espesor máximo de 9 m, apoyándose en discordancia sobre arcillas verdes del Holoceno Inferior correspondientes a la Formación Atalaya, alcanzando el conjunto los 25 m.

Esta unidad conforma la parte subáerea del Delta y es el sustrato sobre el que emerge el delta subaéreo, considerando Urien (1966) que constituye las capas cuspidales del delta subfluvial del Paraná. El origen de la unidad está relacionado con los materiales aportados por los cursos fluviales que depositan su carga, por pérdida progresiva de competencia, originando barras en las desembocaduras. Dichas barras obligan a los cursos fluviales a divagar y buscar nuevas salidas; de esta manera, por coalescencia de las barras, se conforma una planicie progradante que termina por aflorar y formar islas que, con el tiempo, se conectan entre sí favoreciendo el avance del frente deltaico y el incremento del delta subaéreo.

SISTEMA FLUVIAL NORTE -

Corresponde a una serie de canales que se extienden desde el nacimiento del Río de la Plata hasta Colonia; se caracteriza por una serie de surcos erosivos labrados en las "toscas" que constituyen el paleocauce del río, generados por la acción hídrica de las descargas del Uruguay y Paraná Bravo. Estos alcanzan los 31 m al Norte de la Isla Martín García y 12 m en los Pasos de Martín García.

El sistema se inicia con el Canal Principal, en la confluencia de los ríos Uruguay y Paraná Bravo, extendiéndose hasta la Isla Martín García, desde donde se bifurca en dos ramas: el Canal del Este y el Canal Buenos Aires, que en conjunto se denominan Pasos de Martín García (Duclout, 1901). El primero de ellos pasa al Norte de la Isla Martín García, continuándose con una sucesión de depresiones y bancos arenosos de ejes aproximadamente paralelos, no coincidentes, dispuestos a modo de "echelon", los que están señalados por los Canales del Infierno, Nuevo, Pozos y Pasos de San Juan, interrumpiéndose en la Barra de San Pedro. El segundo, al Oeste y Sur de la Isla Martín García, termina en la Barra del Globo, la cual se interpone a la corriente fluvial de este canal; dicha barra, dada su ubicación y

composición de "tosca", no se encuentra vinculada al ambiente actual sino que corresponde a un relieve preexistente (Rovereto, 1911).

Entre el Canal Principal y la costa uruguaya una serie de canales de menor profundidad corren paralelos a la misma, tomando la denominación de Canales Camacho y Santo Domingo, ubicados entre Pta. Gorda y Pta. Piedras y entre ésta y Pta. Dorada, respectivamente.

Asociadas a esta unidad se encuentran dos tipos de islas : aluvionales y de núcleos rocosos. Entre las primeras se encuentran algunas de reciente formación, como Juncal, Juncalito, Sola, El Matón y Timoteo Domínguez algunas de ellas asociadas a bancos arenosos que velan en bajamar. Entre las segundas se destaca la Isla Martín García, que constituye un asomo del Basamento Cristalino Precámbrico sobre el que se apoyan en discordancia sedimentos del Pampeano y Post-Pampeano; de menor importancia son un grupo de islas (Hornos, López, Farallón y San Gabriel) y afloramientos rocosos (Repetto, Chata, Meluguez, Cerdeña, La Laja, Anita, Redonda) que se encuentran sobre la costa uruguaya separadas entre sí por el Canal del Medio y el Canal San Gabriel, que constituyen prolongaciones de la unidad hacia el SE.

Este sistema es consecuencia del equilibrio dinámico entre el avance del delta subfluvial hacia el Norte y la descarga del río Uruguay, mecanismo que ha provocado el desplazamiento del Canal Principal en el mismo sentido que el avance del Delta, obligándolo a labrar su cauce sobre las "toscas" exteriores de la margen Norte del paleocauce original, a excepción del Canal Buenos Aires que lo hace dentro del borde Norte interior del paleocauce del río (Duclout, 1901).

Está integrado por canales, bancos longitudinales y dunas subácueas de naturaleza arenosa y perfil asimétrico, de más de 1 km de longitud y hasta 6 m de altura, las cuales constituyen una morfología cuya inestabilidad se asemeja a la de un diseño anastomosado. La estratigrafía (Parker, 1985) se integra por tres unidades litológicas representadas por la Formaciones Pta. Dorada ("toscas", que representan el lecho del río y afloran en el fondo de los canales), Atalaya (arcillas verdes del Holoceno Inferior que se encuentran en los flancos y fondos de los canales) y Playa Honda (arenas y limos aluvionales que forman bancos longitudinales, dunas subácueas, veriles de canales y el sector costero al Este del Canal Principal).

El carácter permanentemente unidireccional de las corrientes (Duclout, 1901) y su diseño en canales y bancos longitudinales manifiesta el régimen eminentemente fluvial de la unidad, dado principalmente por la gran energía del río Uruguay.

BANCO GRANDE DE ORTIZ -

Es el banco situado entre el Canal Norte, que lo separa de la costa uruguaya, y la Gran Hoya del Canal Intermedio, ocupando una gran porción del sector medio del Río de la Plata. Su veril Sur se desprende desde la Isla San Gabriel, en dirección SE, hacia El Codillo, siguiendo el rumbo de la Gran Hoya del Canal Intermedio.

Su forma se asemeja a la de una amplia "meseta" de pendientes pronunciadas hacia el Sur y tendidas hacia el Norte y SE; su límite superior está dado por la isobata de los 6 m.

Su superficie contiene suaves ondulaciones en correspondencia con el Banco de Los Pescadores en el extremo Oeste, el Banco Maipú en la parte central, y el Banco Ortiz, propiamente dicho, en el extremo SE.

Su configuración morfológica responde a la envolvente de corrientes, con un notable predominio de la acción modeladora sobre el refluo y desagües a través del Canal Norte y, fundamentalmente, la Gran Hoya del Canal Intermedio.

Su composición litológica corresponde a limos arenosos que pasan a limos arcillosos hacia los veriles Sur y SE debido, presumiblemente, a la remoción del sustrato arcilloso allí aflorante.

GRAN HOYA DEL CANAL INTERMEDIO -

Es una extensa fosa, ubicada entre el Banco Grande de Ortiz y la Franja Costera Sur, frente a la costa argentina entre Pta. Colorada y Pta. Indio.

Está integrada por tres elementos morfológicos : Rada Exterior, Canal Intermedio y Sistema de Bancos Chico y Magdalena. Estos últimos, de perfil asimétrico y con pendientes más marcadas hacia el Norte, presentan ejes orientados en forma paralela, a modo de "echelon", siguiendo el rumbo del Canal Intermedio.

La presencia de estratos truncados, así como la naturaleza del fondo, indican que corresponde a una fosa labrada en las arcillas verdes del Holoceno Inferior de la Formación Atalaya (Canal Intermedio y Rada Exterior), sobre las que se asientan, en discordancia, sedimentos arenosos de la Formación Playa Honda (Bancos Chico y Magdalena).

Este rasgo morfológico constituye un ejemplo del potencial morfogenético de las corrientes (Parker et al., 1985) ya que su diseño corresponde a condiciones de flujo en el Canal Intermedio y de reflujos en la Rada Exterior (MOP, 1926).

CANAL NORTE -

Se encuentra entre la costa uruguaya y el Banco Grande de Ortiz, extendiéndose desde Colonia hasta el Umbral de Cufre, con una profundidad próxima a los 5 m.

Constituye una suave depresión cubierta por sedimentos limo arenosos y limo arcillosos, similares a los que se encuentran en el Banco Grande de Ortiz (Formación Playa Honda). A lo largo de este canal y cercano a la costa uruguaya, entre Pta. Artilleros y Pta. Negra, dos grupos de rocas afloran en el flanco Norte del canal: Las Pipas y Barriles.

Dada su vinculación con los canales que se extienden desde el Sistema Fluvial Norte, constituye uno de los pasos obligados de las corrientes de derrame (Urien, 1967), que siguen un curso más o menos paralelo a la costa, generando un efecto de erosión y transporte de material en suspensión.

CANAL ORIENTAL -

Es una depresión alargada que se extiende al Este del Canal Norte, separado por el Umbral de Cufre, hasta Pta. del Este; su profundidad va en aumento hacia el Este alcanzando los 20 m en Pta. del Este.

En base a su configuración se diferencian tres sectores:

a) **al Oeste de la Barra del Indio**: limitado por la isobata de 7 m y con una profundidad máxima de 8 m, es considerada como una zona de remoción y transporte de sedimentos (Parker et al., 1985) ya que se observan rasgos erosivos y estratos cortados por la topografía del fondo.

b) **al Este de la Barra del Indio** : es el de mayor extensión y profundidad, 20 m frente a Pta. del Este, desde donde toma el nombre de "Pozos de Fango". Datos de testigos de poca penetración (Urien, 1967) y descripciones de perforaciones (Hydrodynamic, 1970) señalan la presencia de arcillas, con niveles de conchillas, de un espesor superior a los 10 m (Fig. I.5); por otra parte los registros acústicos no revelan la relación estratigráfica de éstas con las arenas transgresivas del Holoceno Inferior (Parker et al., 1985).

Estos elementos llevan a considerar este sector como correspondiente al cauce de un antiguo desagüe del río, relleno por las arcillas transgresivas del Holoceno Inferior y modelado, actualmente, por la acción erosiva generada por las corrientes de marea y de derrame.

c) **el sector intermedio** : alterado en su forma por los depósitos arcillosos de la Barra del Indio (Formación Playa Honda; Parker, 1985).

A lo largo de esta depresión, y próximo a la costa, existen afloramientos rocosos que, en su mayoría, velan en bajamar : La Panela, Bump, Sango, Nuevo, del Este, Monarca, Solís; así como islas : de Lobos, Gorriti, Libertad y Flores, que constituyen prolongaciones del Basamento Cristalino uruguayo.

BARRA DEL INDIO -

Es una suave y amplia planicie que se desprende frente a la costa argentina, entre Pta. Indio y Pta. Piedras, en dirección NE. Al Este limita con el Canal Marítimo y hacia el Oeste pasa, sin solución de continuidad, al Banco Grande de Ortiz. Al Norte interrumpe el Canal Oriental y al Sur limita con la Franja Costera Sur.

Su morfología corresponde a la de una superficie suavemente convexa y subhorizontal con una profundidad entre 6.5 y 7 m, limitando, en su frente marítimo, con un pronunciado escalón de rumbo NE, comprendido entre las isobatas de 7 y 11 m y con un gradiente que varía de Norte a Sur de 0.05 a 0.02%, denominado Frente Marítimo.

Corresponde a una forma de agradación reciente, la más oriental del río, constituida por material arcillosos perteneciente a la facies exterior de Formación Playa Honda (Fig. I.6).

CANAL MARITIMO -

Es una extensa y suave depresión que se encuentra entre la Barra del Indio, Franja Costera Sur, Umbral de Samborombón y el Alto Marítimo. Su rumbo es NE, cambiando a Norte-Sur a la latitud del Banco Rouen, donde se bifurca y continúa hacia el Sur del Cabo San Antonio como un único canal, que se hace más profundo hacia el Sur, alcanzando los 20 m. El perfil transversal es asimétrico, siendo sus pendientes más pronunciadas contra los Bancos Inglés y Rouen y más tendidas hacia Samborombón.

Litológicamente corresponde a arenas, pertenecientes a las "arenas relicto" de la transgresión Holocena Inferior (Urien, 1967), sobre las que se apoyan en discordancia los sedimentos arcillosos progradantes de la Barra del Indio, los cuales avanzan hacia el SE produciendo una compresión de la unidad contra el Alto Marítimo.

ALTO MARITIMO -

Es el sector exterior del Río de la Plata que contiene a los Bancos Inglés, Arquímedes y Rouen. Los dos primeros constituyen zonas estables, con efecto de dorsal o divisoria de aguas (Urien, 1967), separando las depresiones del Canal Oriental y Canal Marítimo. El Banco Inglés, al SE de Montevideo, de perfil asimétrico y pendientes más pronunciadas hacia el Norte, Oeste y NW, posee forma aproximadamente triangular, con su parte más estrecha al Norte y ensanchándose hacia el Sur, donde se desprenden los brazos Norte-Sur y SW. Al Oeste de este Banco, y separado por una amplia depresión, se encuentra el Banco Arquímedes, el menor de los tres, de rumbo general Norte-Sur. Al Sur, a unos 30 km del Banco Inglés, se encuentra el Banco Rouen, de mayor desarrollo, con rumbo general Norte-Sur y perfil asimétrico con pendientes más pronunciadas hacia el Norte y Oeste.

En general, la superficie asociada a esta unidad se muestra rugosa, con un diseño de isobatas de características propias, que contrasta con el relieve suave y llano del Canal Marítimo. Un rasgo notable es la orientación de las escarpas, en sentido Norte-Sur y Este-Oeste, con rumbos similares a las lineaciones estructurales del territorio uruguayo.

La composición litológica es arenosa, con fragmentos de conchillas, y se atribuyen a las "arenas relicto" de la transgresión Holocena Inferior (Urien, 1967); ello haría

suponer, junto a su expresión morfológica y su control estructural, que este sector estaría formado por sedimentos preholocénicos y, probablemente, del Pleistoceno Medio Pre-Bonaerense. Por lo tanto, se interpreta al Canal Marítimo, y por extensión al Canal Oriental, como formas heredadas de un proceso morfológico anterior al que se ajustó el manto arenoso transgresivo del Holoceno.

UMBRAL DE SAMBOROMBON -

Es una superficie triangular determinada por un cambio de pendiente que, a manera de espolón, se interpone entre el centro de la Bahía de Samborombón y el Canal Marítimo.

La naturaleza de su fondo, limos arcillosos en el sector Este que, hacia el Canal Marítimo, progradan sobre las arenas relicto, así como su forma discordante, en relación a la morfología general de la Bahía, permiten suponerlo como vinculado a la proximidad, en el subsuelo, de un sustrato resistente, posiblemente del Pleistoceno Superior.

FRANJA COSTERA SUR -

Es el sector costero argentino comprendido entre el río Luján y el Cabo San Antonio; representado por un plano inclinado que se extiende entre la costa y la isobata de los 6-9 m. Su pendiente es en general mayor que la de la planicie costera y menor que la de los flancos de las depresiones que la limitan.

Por su ubicación, a barlovento de los vientos dominantes, con baja energía de olas, y por la cercanía del Canal Principal, con su gran caudal de sólidos en suspensión, presenta condiciones excepcionales para la recepción de sedimentos.

De acuerdo con las características batimétricas locales, la unidad puede subdividirse en varios sectores :

a) **Río Luján - Riachuelo** : se caracteriza por la proximidad de los "acantilados muertos" labrados en el Pampeano, siendo típicos los afloramientos de "tosca" que se extienden desde la costa (Rusconi, 1931) cubiertos por arenas limosas de la Formación Playa Honda.

b) **Riachuelo - Pta. Blanca** : corresponde a una costa relacionada con sedimentos limo arenosos de la Formación Playa Honda, apoyados discordantemente sobre las arcillas verdes de la Formación Atalaya o sobre "toscas" del Pampeano que asoman a lo largo del sector, a excepción del tramo Pta. Lara-La Plata donde éstas se profundizan y son reemplazadas por las arcillas de la Formación Atalaya. Se encuentra interrumpida por depresiones erosivas, de 5-6 m de profundidad y rumbo paralelo a la costa, tales como las que se encuentran frente a Pta. Quilmes, Pta. Lara, Pta. Colorada y al NW de Pta. Blanca; su origen estaría relacionado con procesos erosivos vinculados a la concentración de líneas de flujo de las corrientes de marea como consecuencia de las salientes rocosas.

c) **Pta. Blanca - Pta. Piedras** : se caracteriza por la presencia en el sector Pta. Blanca-Atalaya de "toscas" que se extienden desde la costa a la isobata de 4 m; mientras que en el sector Atalaya-Pta. Piedras los afloramientos son continuos dando origen al Banco Piedras. La presencia de afloramientos de "tosca" y la morfología asociada a este sector, llevan a interpretarlo como una zona de depositación y transporte de arcillas sobre un sustrato subaflorante que le confiere características propias.

d) **Pta. Piedras - Río del Tuyú** : caracterizado por la presencia de sedimentos limo arcillosos a limosos (Formación Playa Honda), con arreglo estratigráfico propio de un frente de progradación extendido sobre las "arenas relicto" y que, hacia la costa, son parte constituyente de los rellanos de marea. Estos sedimentos se continúan, hacia el Norte, en los sedimentos progradantes de la Barra del Indio y corresponden, en su conjunto, al límite oriental de las acumulaciones del río.

e) **Sistema de Pta. Rasa** : corresponde al extremo Sur de la Franja Costera, integrado por los Bancos que se encuentran frente a Pta. Rasa : Del Cabo y Del Tuyú, con rumbo NW, y San Agustín, con rumbo Norte-Sur. Estos son acumulaciones arenosas, producto de depositación de materiales transportados por deriva litoral hacia el Norte de Pta. Rasa, y separados, entre sí, por canales de marea labrados en sedimentos arcillosos (Formación Atalaya).

1.6.- Toponimia.

Se adoptó aquella aportada por la bibliografía, siendo necesario destacar :

a) la existencia de rasgos no definidos hasta el momento, para los cuales se buscó una denominación.

b) la existencia de denominaciones que no concuerdan con el rasgo morfológico puesto de manifiesto por los planos batimétrico (Plano 1-Separata) y morfológico (Plano 2-Separata).

c) la existencia de discrepancias con la bibliografía.

d) que, en los casos en que se creyó práctico u oportuno, se retomaron antiguas denominaciones, al único efecto de la descripción proporcionada en este informe.

A continuación se definen aquellas denominaciones a las que se refieren los puntos anteriores :

RADA MARITIMA y RADA INTERIOR : corresponden a los dos sectores diferenciados por Figueroa (1898) para el Río de la Plata. El primero abarca el comprendido entre las líneas Pta. Piedras-Montevideo y Cabo San Antonio-Pta. del Este. El segundo comprende a los sectores medio o intermedio y superior o interior, separado de la Rada Marítima por la Barra del Indio.

BANCO GRANDE DE ORTIZ : Tomado de la "Carta Esférica del Río de la Plata" (Oyarvide, 1803).

BANCO MAIPU : Aparecen menciones cartográficas en los relevamientos realizados por el MOP (Rep. Argentina) en 1920 y 1957; en este informe se retoma tal denominación ya que dicho banco se encuentra representado en el plano batimétrico a través de una elevación que ocupa la parte central del Banco Grande de Ortiz. (Planos 1 y 2-Separata)

BANCO PIEDRAS : Se han encontrado discrepancias en cuanto a su ubicación; las cartas del MOP (1920, 1957) y el Derrotero Argentino (1965, 1972) lo ubican como desprendiéndose 32 km al Este de Pta. Piedras. A efectos de este informe, y por corresponderse con el rasgo morfológico indicado en el plano confeccionado (Plano 1-Separata) se entiende por tal al ubicado frente a la costa argentina, entre Pta. Indio y Pta. Piedras, desde donde se extiende hacia el Este unos 32 km (Derrotero Argentino, 1930) y con unos 10 km de ancho. Debe señalarse, además, que su composición de "tosca" indicaría que es producto, en parte, de un proceso morfológico antiguo por lo que sería más correcto denominarlo "Bajo".

RADA EXTERIOR, PASO BANCO CHICO y CANAL INTERMEDIO : En relación a estas tres depresiones no existe coincidencia entre lo indicado por el Derrotero Argentino (1972) y el rasgo morfológico evidenciado en el plano (Plano 1-Separata):

Rada Exterior : Según el Derrotero es la fosa que se encuentra indicada en superficie por las boyas km 37 a 57; este informe se refiere a la ubicada frente a la costa argentina entre Pta. Colorada y Pta. Blanca, limitada exteriormente por la isobata de 8 m, con una profundidad máxima de 12 m y señalizada en superficie por las boyas km 37 y 77.

Paso Banco Chico : Según el Derrotero Argentino (1972) es el canal natural comprendido entre las boyas km 57 a 87; este informe define como tal al pasaje que comunica a la Rada Exterior con el Canal Intermedio, que en superficie, se encuentra representado por las boyas km 57 a 87.

Canal Intermedio : El Derrotero Argentino llama así al canal que está comprendido entre las boyas km 87 a km 121, a partir de la cual empalma con el canal Punta Indio.

En este trabajo se entiende como tal a aquel canal situado entre el Banco Grande de Ortiz y la Franja Costera Sur, limitando en su extremo NW por el Paso Banco Chico y en su extremo SW por el canal Punta Indio. En superficie los límites están indicados por las boyas km 74 y km 121.

CANAL DE LA MAGDALENA : Es el pasaje ubicado entre el Banco Magdalena y el banco de la costa de Atalaya; si bien en los Derroteros de 1930 y 1965 aparece como Canal Magdalena, la adoptada es la denominación más corriente y, por otra parte, la que aparece en la última edición (Derrotero Argentino, 1985).

PASO BANCO MAGDALENA : Es el pasaje ubicado entre los Bancos Chico y Magdalena.

BARRA DEL GLOBO : Aparece definida en el Derrotero Argentino (1985) como la elevación que se encuentra entre el Canal Buenos Aires y los Pozos de San Juan; sin embargo la denominación de "Barra" se encuentra mal empleada ya que, dada su constitución de "tosca", no es consecuencia de un proceso de acreción sino de una forma heredada de un relieve preexistente (Rovereto, 1911), siendo más correcta la denominación de "Bajo".

CANAL MARITIMO : Se denomina así a la extensa y suave depresión comprendida entre el Alto Marítimo, el Canal Oriental, la Barra del Indio y el Umbral de

Samborombón; nace al Norte del Banco Arquímedes y se extiende al SW, siguiendo el rumbo de la Barra del Indio, hasta 45 km de la costa frente a Pta. Piedras, para girar luego al Sur, bifurcándose a la latitud del Banco Rouen y continuado hacia el Sur como un único canal.

CANAL NORTE : Existe falta de coincidencia entre lo indicado por el Derrotero y el plano batimétrico (Plano 1-Separata). Los Derroteros (1930, 1965) señalan como tal a la depresión que corre frente a la costa uruguaya, entre Colonia y el Banco Santa Lucía; este informe se refiere a la que se extiende desde Colonia hasta el Umbral de Cufre, por ser éste un rasgo positivo que limita a la misma. Debe destacarse, además, que el Derrotero utiliza indistintamente los términos de "Canal Norte" y "Paso Norte". Aunque, de acuerdo con el Diccionario Hidrográfico (1974) debería interpretarse como "Paso" al accidente topográfico y como "Canal" al cuerpo de agua superficial señalado por boyas.

CANAL ORIENTAL - Es la depresión que se extiende frente a la costa uruguaya entre el Umbral de Cufre y Pta. del Este, continuándose hacia el Este bajo la denominación de "Pozos de Fango".

RADA DE ATALAYA - Término empleado por Figueroa (1898) para señalar el área comprendida entre la Rada Exterior y los Bancos Chico y Magdalena.

BARRA DEL INDIO - Tomado de Rovereto (1911) quien se refiere como "Barra o Punta del Indio" a la extensa elevación que arranca desde el Banco Piedras hacia la costa uruguaya con rumbo NE; por su parte, Sáenz Valiente (1901-1904) se refiere a este rasgo como a "...una línea (que une Pta. Piedras-Montevideo) formada por lo que hidrográficamente se llama barra (cordón litoral)..." y, más recientemente, el Derrotero Argentino (1930, 1965) hace referencia a este rasgo como "Barra Exterior del Plata".

QUEBRADA DEL BANCO ORTIZ - No existe coincidencia entre lo indicado por el Derrotero (1985) y el rasgo morfológico señalado en el plano (Plano 1-Separata). Según el Derrotero es el pasaje que se desprende desde la boya km 99 del Canal Intermedio y atraviesa el extremo Sur del Banco Grande de Ortiz, en dirección a Montevideo, donde su extremo oriental está a unas 10 millas a los 218° de Pta. San Gregorio y el extremo occidental está señalado en superficie por la boya luminosa N° 4; en este informe se entiende por tal al pasaje ubicado al Norte del Banco Ortiz y limitado por la isobata de 6 m.

SECCION 2.- VARIABILIDAD MORFOLOGICA.

Con el objetivo de aportar elementos al estudio de la dinámica del Río de la Plata se intentaron establecer las variaciones morfológicas recientes de su lecho, sobre la base de la confrontación del plano batimétrico, construido con la información del levantamiento integral realizado entre 1964 y 1969 (Plano 1-Separata), y el confeccionado a partir del efectuado en 1901-1904 por la comisión a cargo del Capitán de Navío Sáenz Valiente (Plano 3-Separata).

2.1.- Antecedentes.

En relación con el tema planteado son varias las menciones encontradas en la bibliografía pero, en muchos casos, se hace referencia a comparaciones entre relevamientos que están representados por planos que tienen el carácter de reconocimientos hidrográficos y que no cuentan con marcas fijas y precisas que hagan confiables los datos aportados.

El primer trabajo que brinda una noción de las variaciones morfológicas del lecho del río es el de Sáenz Valiente que realiza un estudio comparativo entre la información hidrográfica tomada por él (1901-1904) y la "Carta Esférica" (Oyarvide, 1803). En dicho trabajo expresa el autor que las alteraciones sufridas por el lecho del río son consecuencia de la decantación y sedimentación más que de la erosión; destacando un incremento del Banco Piedras e indicando que "los derrames al Río de la Plata aportan, aproximadamente, 0.25 km^3 por año de sedimento, que van a extenderse sobre la costa de la Bahía de Samborombón hacia el mar, a cuya causa es justo atribuir el crecimiento extraordinario de las tierras lindantes a ese tramo del litoral". Por otra parte, al observar el aporte sedimentario, señala que "las condiciones del Río de la Plata son sumamente favorables para la formación de un delta marino".

Duclout (1901), en su detallado estudio de los Pasos de Martín García establece, por comparación entre cuatro relevamientos realizados en 1847, 1856, 1872 y 1901, que ni los bancos ni los canales han sufrido cambios notables de situación desde 1850, con la única excepción del Canal Buenos Aires, cuya existencia es señalada a partir de 1856; resumiendo sus observaciones: "casi todos los canales se excavan y los bancos se rellenan".

Rovereto (1911), en base a la comparación de los mismos relevamientos, señala el avance del frente del Delta y el crecimiento y formación de nuevas isla aluviales, coincidiendo con Duclout al referirse a los Pasos de Martín García en que han mantenido su ubicación, conservando su individualidad, y destacando pequeños desplazamientos con aumento de profundidad (Fig. I.7).

Más recientemente el Derrotero Argentino (1972) hace referencia a cambios de configuración en la morfología del Río de la Plata Superior o Interior, que se manifiestan en la prolongación del Delta, por agregado de nuevos bancos subfluviales, citándose, sobre la base de la comparación del levantamiento de 1964-1969 con otro de 1899, valores de avance del frente deltaico de 1500 m en el tramo comprendido entre río Sauce y Barca Grande y de 6700 m entre Barca Grande y río Luján.

La comisión del "Levantamiento Integral del Río de la Plata" (CLIAP), en un informe de 1974, hace mención a un análisis de la variación del lecho del Río de la Plata Superior y, parcialmente, del sector Medio, en base a la confrontación del levantamiento integral (1964-1969) con otros anteriores, determinando diferencias cualitativas y cuali-cuantitativas entre las que se destacan el avance frontal del Delta, que aumenta de Norte a Sur, y el relleno de Playa Honda, a excepción del sector occidental donde señala un "proceso marcado de erosión según los ejes de los Pozos de Barca Grande y de las Palmas, con un canal nuevo y corto, de 12 pies, excavado al SE de éste último". Para la zona de los bancos y canales de Martín García destaca "la tendencia general histórica, desde 1876, al encauce progresivo de las aguas en un menor número de canales, cada vez más profundos, a medida que la sedimentación general progresa en el resto".

2.2.- Selección de los relevamientos a comparar.

Del análisis de la información hidrográfica existente se encontró que no eran muchos los levantamientos que pudieran emplearse a los efectos de una comparación batimétrica, ya que la información anterior al presente siglo era incompleta, poco precisa, en mal estado de conservación y, en muchos casos, sólo croquis con poco datos batimétricos. Se eligió el levantamiento realizado por la comisión a cargo de Sáenz Valiente en 1901-1904, por ser el relevamiento de carácter integral de mayor extensión areal y por haberse realizado con más de 60 años de diferencia al anteriormente considerado (1964-1969).

Por otra parte, para el estudio del frente deltaico y de Playa Honda, fueron empleadas las cartas producidas por el MOP (Rep. Argentina) y publicadas en 1896, 1905, 1926 y 1960, así como cartas de la Dirección de Geodesia (Rep. Argentina) de 1975, realizadas sobre la base de un vuelo aero-fotogramétrico, de 1972, y actualizadas en 1984.

2.3.- Armado del plano batimétrico de 1901-1904.

Debido a que la información no estaba volcada en planos, la primera tarea consistió en el armado de los planos de sondajes y batimétricos, a escala 1/100.000, para ser posteriormente reducidos a 1/250.000.

El relevamiento original se realizó en cuatro etapas : Pta. Piedras-Pta. Indio, Pta. Indio-Banco Chico, Banco Chico-La Plata y La Plata-Buenos Aires; ellas fueron asentadas sobre una red de triangulación integrada por estaciones fijas ubicadas en el río. Dicha triangulación fue complementada con otra, de orden inferior, de forma tal que cada sector, delimitado por los vértices de la primera, fuera dividido en áreas más pequeñas, de aproximadamente 4 km de lado, mediante la ubicación de Spar's Buoy.

Las profundidades se obtuvieron con sondaleza y fueron referidas originalmente a un plano que pasa a 0.85 m por debajo del promedio general de los mínimos de marea; por lo tanto, a los efectos de la comparación se refirieron al nivel medio del mar, sumando a los valores de sondaje 1.03 m.

Los planos fueron construídos originalmente a escala 1/100.000, para ser posteriormente reducidos y ensamblados a escala 1/250.000 (Plano 3-Separata).

2.4.- Metodología de la comparación.

La Tabla I.1 resume los cuatro métodos propuestos por Sallenger et al. (1975) para la comparación de los planos batimétricos.

TABLA I.1

METODO	PROCEDIMIENTO	VENTAJA	LIMITANTES
Comparación de puntos de sondeaje. (Data point)	Comparación de sondajes que se encuentran en la misma posición	Exacto para el cálculo de variaciones volumétricas.	Es necesario contar con planos donde la posición de los sondajes sea la misma para todos los relevamientos.
Superposición de isobatas. (Contour recovery)	Trazado de las isobatas en cada plano y medición de la discrepancia para cada levantamiento.	Permite trabajar con planos donde la distribución de sondajes es diferente para cada levantamiento. Expresa rápidamente la variación morfológica.	
Superposición de isobatas y comparación de puntos.	Combinación de los anteriores.	Permite calcular el desplazamiento de las isobatas minimizando el error de interpolación, mediante control de sondajes.	Factores que afectan la exactitud del plano batimétrico.
Grilla de puntos. (Grid point)	Comparación de sondajes que han sido interpolados en una grilla de puntos ubicados en la misma posición horizontal en los diferentes planos.		Su exactitud depende de la densidad de puntos de sondajes en cada levantamiento.

Tabla I.1- Métodos para la comparación de planos batimétricos. (Sallenger et al.,1975)

Sobre la base de sus ventajas y limitantes se eligió el de "Superposición de curvas batimétricas". Debido a que dicho método permite trabajar con planos en donde la ubicación de los valores de sondaje es diferente, tal como se presentó en este caso, y a los inconvenientes encontrados (Sección 2.5), los resultados de la comparación son de carácter cualitativo.

La comparación (Plano 4-Separata) se llevó a cabo, por superposición directa, entre el plano batimétrico de 1964-1969 (Plano 1-Separata) y el realizado con la información de Sáenz Valiente (Plano 3-Separata) y, a los efectos de reducir el error debido a la distorsión del papel se efectuó superponiendo las áreas correspondientes al reticulado del sistema de coordenadas trazado para la confección de los mosaicos.

Los planos del MOP (1896, 1905 y 1926) fueron comparados entre sí por superposición de cada uno a un plano resultante, para ser luego el dato comparado con el plano batimétrico (Plano 1-Separata).

La comparación entre los planos (Plano 4-Separata) se realizó a escala 1/100.000 y fue reducida a 1/250.000.

2.5.- Inconvenientes encontrados.

En la determinación de las variaciones morfológicas se encontraron, fundamentalmente, dos factores que afectaban el resultado de la comparación :

a) **Medición de la profundidad** : la misma fue tomada bajo métodos diferentes. En el caso de los relevamientos de 1964-1969 la medición de profundidad se efectuó con sonda ecoica, mientras que en los de 1901-1904 lo fue con sondaleza; de allí que, bajo ciertas condiciones de fondo, se registraron diferencias entre ambos métodos que, según Garrido (1968), son del orden de 1-3 pies. Estas diferencias son debidas a que la profundidad por sonda ecoica es indicada por el primer salto importante de densidad hacia el fondo, el cual puede estar dado por un fondo en estado semi líquido, mientras que la sondaleza, como consecuencia del peso del escandallo, lo penetra hasta que encuentra una superficie de mayor densidad capaz de sustentarlo. Estos sedimentos se comportan como "transparentes" o permeables a la sonda acústica. Superponiendo la información obtenida a través de los registros acústicos (Parker et al., 1986) y el plano de porcentaje de arcillas (Parker et al., 1985) se observa una correspondencia entre los sedimentos "transparentes" y aquellos cuyo contenido de arcilla es superior a 25%, por lo que se creyó oportuno separar en el plano de las

variaciones morfológicas (Plano 4-Separata) aquellas áreas con sedimentos superficiales de fondo con más de 25% de arcillas y atribuir a las zonas allí indicadas el carácter de "dudosas"

b) **Densidad de los puntos de sondajes** : este error se relaciona con el espaciamiento de las líneas de sondajes y los puntos a lo largo de las mismas, afectando directamente a la interpolación de las isobatas.

2.6.- Variaciones morfológicas de carácter histórico.

Se consideraron las variaciones morfológicas, en forma separada, para cada una de las unidades identificadas en el Plano 2, siempre y cuando existiese información a comparar.

2.6.1.- Río de la Plata Superior o Interior.

FRENTE DEL DELTA.

Para describir la evolución del frente deltaico se consideraron, solamente, las diferencias en áreas de tierras emergidas entre levantamientos sucesivos. Tales tierras emergidas componen la parte seca de la llanura deltaica (top set); que constituye un conjunto integrado por dos sectores, uno subaéreo y otro subáqueo.

La secuencia evolutiva de la llanura subaérea o deltaica está basada en las cartas del MOP de 1896, 1905 y 1926, la carta H-118 (SIHN, 1964-1969, ed. 1980) y carta topográfica de la Dirección de Geodesia de la Provincia de Buenos Aires de 1975 actualizada en 1984. También se han considerado como frente del Delta las áreas indicadas como bancos en las cartas del SIHN (Patrón de signos y abreviaturas, H-5000), asociados al frente deltaico y limitadas por la isobata de 0 m en la carta H-118, por tratarse de sectores que, si bien afloran bajo determinadas situaciones de marea, dada la tendencia general de la región, en un futuro próximo inmediato serán anexados a tierra firme.

La evolución (Plano 5-Separata y Tabla I.2) se cuantificó en base a parámetros areales, lineales totales y anuales promedio, para lo cual fue dividido el frente deltaico en sectores limitados por los cursos principales del Paraná.

TABLA I.2

	<u>Crecimiento areal</u>		<u>Crecimiento lineal</u>		<u>Superficie</u>
	ha	ha/año	m	m/año	ha
Sauce-Paraná Guazú (1905-1969)	600	9.37	1000	15.62	-
Paraná Guazú-Barca Grande (1905-1984)	1295	16.39	835	10.57	90
Barca Grande-Paraná Mini (1896-1984)	1065	12.10	1531.25	15.12	470
Paraná Mini-P. de las Palmas (1905-1984)	2169	27.40	1314.54	16.63	2880
P. de las Palmas-Luján (1896-1984)	3910	44.43	2641.89	30.02	3690
Promedio anual		21.94ha/año		17.59 m/año	

Tabla I.2- Evolución histórica del frente deltaico del Paraná.

Los datos precedentes indican un crecimiento lineal diferencial aproximado de 16 m al Norte y de 30 m al Sur. Dicha diferencia se interpreta como consecuencia de las descargas del Uruguay hacia el Sur, a través de los Pozos de Barca Grande y el Canal de las Palmas, provocando una redistribución de los sedimentos aportados por los distintos cursos del Paraná. Es probable que, al avanzar el frente deltaico y acercarse gradualmente hacia la zona de influencia de las descargas del río Uruguay, incida también sobre la orientación de los cursos menores y modernos que unen, en algunos casos, los cursos principales, que tienden hacia el SW, y no al SE como es el caso de la mayoría de los cursos mayores y antiguos (Rovereto, 1911).

PLAYA HONDA.

La secuencia evolutiva de esta unidad fue seguida a través de la comparación de las cartas del MOP de 1905 y 1926 y el plano batimétrico (Plano 1-Separata, 1964-1969).

De tal comparación se desprende que, en el lapso aproximado de 60 años, ha sufrido un relleno neto dado por el corrimiento de las isobatas hacia el borde de la misma, con una disminución progresiva de profundidad de 0.75 m al Este y SE del Canal de las Palmas y de más de 1.0 m entre éste y el Canal Buenos Aires. En este último sector el proceso de sedimentación se manifestó a través de la formación de un nuevo banco, que vela en bajamar, de rumbo paralelo al Canal Buenos Aires y de 5000 ha de superficie en 1969, cuya evolución es expresada por un incremento de superficie aguas abajo y la emersión de la isla Solís, cuya existencia es señalada en 1964-1969 con 247 ha y en 1984 con 450 ha.

Dicho banco marca una evolución diferencial de la unidad, con mayor crecimiento en el sector Norte, interpretado como consecuencia de la acción de las componentes transversales de derrame de los ríos Uruguay y Paraná Guazú, hacia el SW, a través de su escurrimiento por el Canal Principal y de éste al Canal Buenos Aires.

En el sector Oeste de la Playa Honda, los Canales de las Palmas y Pozos de Barca Grande están sujetos al mismo proceso de sedimentación, expresado a través de su acortamiento y disminución de profundidad. Rovereto (1911) señala que "desde hace 60 años se mantienen las mismas condiciones, ya que los mapas ingleses de 1947 coinciden con los más recientes". La CLIAP (1974), en base a la comparación de los relevamientos del MOP de 1901 y del SIHN de 1905, determinó "un proceso marcado de erosión según los ejes de los Pozos de Barca Grande y de las Palmas y la formación de un canal de 12 pies, al SE de este último, como consecuencia del desvío progresivo de parte de las aguas del Canal Principal, hacia los Pozos de Barca Grande, ocurrido entre 1934 y 1947". Tales análisis indican que estos canales han mantenido la dirección de sus ejes desde 1847, a pesar de la extensión areal y la disminución de profundidad de la Playa Honda.

La tendencia evolutiva de la unidad, expresada por la disminución de profundidad y la formación de islas y bancos que afloran con la marea, indica que incorporará sus áreas proximales al Delta. El relleno, puesto de manifiesto en este

informe, es producto de acumulaciones aluviales o barras, que van depositando los distintos cursos que integran el sistema fluvial distributivo del Paraná y cuya coalescencia dió lugar a la formación de una plataforma convexa con pendientes hacia sus márgenes.

SISTEMA FLUVIAL NORTE.

La secuencia evolutiva de esta unidad (Plano 6-Separata) fue seguida a través de las cartas del MOP de 1926 y 1960), y el plano batimétrico (plano 1-Separata). Para su análisis se consideraron separadamente canales y bancos.

Canales.

Canal Principal : ha experimentado un desplazamiento del veril Este hacia el SE e inestabilidad del veril Oeste manifestada en avances y retrocesos aleatorios resultando en un ensanchamiento de los extremos, estrechamiento de la parte central y excavación del lecho (Planos 4 y 6-Separata).

Canal del Este : experimenta un desplazamiento del veril Norte hacia el Sur e inestabilidad del veril Sur, dando por resultado un ensanchamiento del canal, conjuntamente con un incremento en profundidad (Plano 6-Separata). La CLIAP (1974) había determinado una leve profundización en 1947 y relleno de 1 pie hacia 1965.

Canal del Infierno : desplazamiento del veril Sur hacia el Norte e inestabilidad del veril Norte, manteniendo su ancho original, pero alargándose aguas abajo e incrementando su profundidad (Planos 4 y 6-Separata). La CLIAP (1974) destaca la presencia de una barra longitudinal, que dividió el cauce en dos, y que fue desapareciendo hacia 1901, junto a la erosión de los taludes; menciona, además, la presencia de los Canales Bracannot, N^o 3, N^o 5 y N^o 6, que no figuran en los antecedentes cartográficos y Derroteros antiguos, y que fueron cegados antes de 1965.

Canal Nuevo : ensanchamiento y profundización; ha sufrido (junto con los Pozos de San Juan y Barra de San Pedro) un incremento de profundidad desde 1892, coincidiendo con el balizamiento del lugar, que intensificó el pasaje de los buques provocando la erosión del fondo hasta la tosca (Duclout, 1901).

Pozos y Pasos de San Juan : no se cuenta con datos pero se estima, de acuerdo con la tendencia evolutiva regional, que se encuentran en proceso erosivo.

Barra de San Pedro : corresponde a una elevación alargada, de rumbo paralelo al Paso San Juan, que contiene al Canal del mismo nombre; el dragado y el continuo pasaje de los buques han favorecido el incremento de profundidad (Duclout, 1901).

Paso del Farallón : profundización en toda su extensión.

Canal Buenos Aires : manifiesta inestabilidad en el extremo Sur y desplazamiento de la parte central hacia el NE, resultando un incremento de su ancho, cierto alargamiento aguas abajo y profundización . Duclout (1901) lo indica como de reciente formación ya que aparece en la cartografía a partir de los levantamientos de 1856, lo que debe interpretarse como que o bien no existía o que no había sido comprobada su existencia, indicando la siguiente evolución: 13 pies en 1876, 20 pies en 1892, con 35 m de ancho, y 31 pies en 1901, con 200 m de ancho. Por su parte, la CLIAP indica una tendencia general a un desplazamiento hacia el SW hasta 1947, invirtiéndose este movimiento hacia 1965. Asimismo se observó una profundización de 3 pies (1876-1947).

Canal lateral al Canal Buenos Aires : se desprende de éste en el extremo W; comenzó a manifestarse a partir de 1926, alargándose hacia el SE, con 1 km de longitud en la carta del MOP de 1960 y 4 km en 1969, es decir que en 43 años se desarrollaron, en forma probablemente discontinua, 4 km de canal.

Canales Camacho y Santo Domingo : se observa disminución de profundidad en toda su extensión; la CLIAP indica aumento de profundidad entre 1901 y 1945.

Bancos.

Se han definido tres áreas de sedimentación :

a) **entre la costa uruguaya y el Canal Principal** : si bien no existen suficientes datos hidrográficos como para establecer una confrontación, se observa que ha habido un continuo relleno expresado a través de la evolución de un banco, que ha crecido en superficie y altura, del cual emergieron las islas Juncalito, Juncal y el islote El Matón (Tabla I.3)

Tabla I.3

	1896	1926	1969	1984
Isla Juncal	39	349	554	Sin datos
Isla Juncalito	No existía	32	32	32
Islote El Matón	No existía	No existía	31	63

Tabla I.3- Evolución histórica de las islas del Río de la Plata Superior o Interior. (Superficies en hectáreas).

b) al Sur del Canal Buenos Aires : corresponde al extenso banco situado al Sur de este canal, del cual emergió la isla Solís.

c) entre el Canal Buenos Aires y los Canales del Este, del Infierno y Nuevo : aparecen cuerpos aluviales que evolucionaron hasta dar lugar a la formación, hacia 1965, de la isla Timoteo Domínguez, ubicada al NW de Martín García; observándose un incremento de los Bancos Santa Ana y del Medio. Este último se desplazó aguas abajo, entre 1876 y 1965, unos 2 km (CLIAP, 1974). El extremo SE de este sistema culmina con un conjunto de barras que incrementan su tamaño como consecuencia de la disminución de competencia de las aguas, evidenciando que aún no se ha alcanzado el equilibrio; en este sector aparece la Barra del Globo, genéticamente diferente a las restantes por estar constituida por un núcleo de tosca. La CLIAP señala un relleno diferencial mayor hacia el SW que al NW.

En síntesis, esta unidad refleja cambios morfológicos que se manifestaron, en forma discontinua y en corto tiempo, por desplazamientos de los ejes de los canales, profundización y alargamientos aguas abajo, y formación de un nuevo canal, ubicado en el extremo Oeste del Canal Buenos Aires; así como por un marcado proceso de sedimentación que dió lugar a un aumento de tamaño de todos los cuerpos aluviales cuya evolución culminó, en algunos casos, con su emersión y formación de islas.

Las alteraciones en la morfología de los canales queda confirmada a través de la interpretación de los registros acústicos transversales a los mismos, donde se pone en evidencia el carácter erosivo por el truncamiento de niveles transparentes holocénicos, Formación Atalaya, con afloramientos fuertemente reflectivos, en el lecho del canal, correspondientes a la Formación Punta Dorada del Pleistoceno

Superior; así como el proceso de acumulación representado por la presencia de bancos reflectivos de la Formación Playa Honda.

La inestabilidad morfológica lleva a considerar a la unidad como semejante a un diseño fluvial anastomosado. Las variaciones son interpretadas como el resultado de ajustes debidos a reactivaciones del lecho, como consecuencia de descensos relativos del nivel del mar, advirtiéndose un equilibrio dinámico entre el avance del Delta subfluvial, hacia el SE y Norte, y las descargas del río Uruguay, causando el desplazamiento del Canal Principal en el mismo sentido de avance del Delta y obligándolo a excavar un nuevo cauce, fuera del valle Pre-Holoceno.

2.6.2.- Río de la Plata Medio o Intermedio.

BARRA DEL FARALLON.

Se encuentra interpuesta entre la Playa Honda y el Banco Grande de Ortiz, vinculando las aguas del Sistema Fluvial Norte y la Gran Hoya del Canal Intermedio. Para su análisis, y el del resto de las unidades a tratar, se compararon los levantamientos de 1901-1904 (Plano 3-Separata) y 1961-1964 (Plano 1-Separata). Se observa un aumento de profundidad manifestado a través del desplazamiento, aguas arriba, de las isobatas, proceso erosivo vinculado al desagüe parcial del Sistema Fluvial Norte hacia la Gran Hoya del Canal Intermedio. Por otra parte, la presencia de un canal artificial que la surca, favorecería dicha acción.

BANCO GRANDE DE ORTIZ.

Se cuenta con superposición de información sólo a lo largo del veril Sur y de la totalidad del Banco Ortiz propiamente dicho; observándose un proceso erosivo a lo largo de todo el flanco, que genera su desplazamiento hacia el Norte, conjuntamente con el Banco Ortiz, el cual desplazó su eje en el mismo sentido, en un máximo de 2 km de extensión en su extremo oriental. Dicho proceso erosivo queda también evidenciado a través del truncamiento de estratos, en el extremo Oeste del veril Sur, correspondientes a arcillas verdes del Holoceno Inferior (Parker, 1985), tal como se aprecia en los registros acústicos del sector occidental del Banco Grande de Ortiz y del Canal Intermedio. No obstante se estima que los valores absolutos obtenidos están exagerados, como consecuencia de posibles errores introducidos por la metodología empleada en los levantamientos. Tal

desplazamiento es acompañado por el Canal Intermedio, indicando así la tendencia general del área; mientras que en la cresta del Banco Ortiz se produce sedimentación con un acortamiento de 3 km en su extremo SE.

GRAN HOYA DEL CANAL INTERMEDIO.

Rada exterior : en el lapso estudiado ha sufrido modificaciones que, tomando como referencia la isobata de 9 m, se manifiestan en : aumento de su longitud en 4 km, desplazamiento de la cabecera aguas arriba, acumulación en casi toda la extensión del flanco Norte, que genera desplazamiento, y socavamiento en el sector Este del flanco Sur provocando su crecimiento acompañado por incremento de profundidad.

Banco Magdalena : ha disminuído de altura en toda su extensión, conjuntamente con un acortamiento y estrechamiento, acompañado de un ligero desplazamiento de sus ejes hacia el NW.

Rada de Atalaya : aumento de profundidad en toda el área, conjuntamente con la formación de tres pequeñas depresiones, aguas arriba del Banco Magdalena. Dos de ellas con rumbo perpendicular al Banco y profundidad de 8 y 9 m, respectivamente, y la tercera de rumbo paralelo y 8 m de profundidad.

Bancos Gaviota y Cuirassier : estuvieron sujetos a un proceso erosivo que culminó con su desaparición hacia 1965. Aparecen en la Carta Náutica Nº 5 (SIHN, 1940) y en el plano del MOP de 1957. La desaparición de estos bancos induce a pensar que el área donde se encontraron está sujeta a remoción, y no a sedimentación como aparece en el Plano 4, por lo tanto tal resultado estaría indicando un error atribuído a las diferencias en la medición de profundidad.

2.6.3.- Río de la Plata Inferior o Exterior.

BARRA DEL INDIO.

Sólo un sector de la unidad presenta superposición de información. Los análisis de ecosondas obtenidos muestran la presencia de sedimentos transparentes con un arreglo estructural de capas convexas convergentes hacia el Este, que señalan su carácter progradante y de acumulación.

FRANJA COSTERA SUR.

Río Luján - Riachuelo : de la comparación entre los planos del MOP de 1905 y 1926 y el plano batimétrico (Plano 1-Separata), se aprecia un desplazamiento, hacia el Norte y SE, de las isobatas, indicando una disminución de profundidad que, según la CLIAP, fue de 3-5 pies.

Riachuelo - Pta. Blanca : no se cuenta con información de sondajes desde los 4 m de profundidad hasta la costa, sin embargo las áreas correspondientes a los pozos que se encuentran frente a Pta. Quilmes, Pta. Colorada y Pta. Lara manifiestan aumento de profundidad.

Pta. Blanca - Pta. Piedras : tampoco se cuenta con información, pero la presencia de afloramientos pleistocénicos permite suponer erosión o, al menos, escasa sedimentación.

Pta. Piedras - Pta. Rasa : si bien este sector no corresponde al área de superposición de información, el análisis de los registros acústicos muestra una disposición estratigráfica propia de un frente de progradación, indicando acumulación.

Banco Piedras : la comparación indica aumento de profundidad. El banco se encuentra en una zona de sedimentación de arcillas, pero las mediciones de profundidad no son comparables, estimándose que dicho resultado debe ser considerado como correcto ya que el banco se halla relacionado a una saliente costera que constituye una zona de convergencia de olas. Urien (1967) menciona la existencia de rodados de toscas, lo cual confirmaría el carácter erosivo observado en la comparación.

SECCION 3. - SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE FONDO.

3.1.- Antecedentes.

Son varios los antecedentes existentes :

- Chaar (1957), Buscaglia (1957) y Etchichury y Remiro (1960) referidos, básicamente, a la mineralogía de las arenas del Río de la Plata.

- Sieguel et al. (1968), Depetris (1968) y Depetris y Griffin (1968) sobre la mineralogía de las fracciones finas.

- Bercowsky (1967,1978) y Etchichury y Remiro (1971) sobre mineralogía de los sedimentos costeros.

- Urien y Ottman (1971) y Urien et al. (1978, 1980 a y b) referidos a la evolución geológica del Río de la Plata durante los cambios relativos del nivel del mar ocurridos durante el Cuaternario Superior.

- y, en relación al tema planteado, Urien (1966) para el Río de la Plata Superior y Ottman y Urien (1965) y Urien (1967) para el Río de la Plata Exterior.

3.2.- Recopilación y procesamiento de muestras.

Se consideraron un total de 578 muestras (Fig. I.8), obtenidas según se indica:

a) por recopilación de información proveniente de los Archivos de Campañas de las Divisiones Geología tanto en el Servicio de Hidrografía Naval (SIHN, Rep. Argentina) como en el Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada (SOHMA, Rep. Oriental del Uruguay).

b) por recopilación bibliográfica (Chaar, 1957; Buscaglia, 1957; Etchichury y Remiro, 1960).

c) por campañas de muestreo planificadas a efectos de cubrir áreas con baja densidad de datos.

Estas últimas fueron procesadas de acuerdo con la metodología clásica :

- a) eliminación de la materia orgánica en muestra total.
- b) lavado a través del tamiz de 0.062 mm de apertura y separación de las fracciones gruesas (arenas-gravas) y finas (limos-arcillas).
- c) tamizado para las fracciones gruesas (con columnas de tamices cada $1/2\phi$) y pipeteado para las fracciones finas.
- d) cálculo de porcentajes para cada fracción.
- e) trazado de las curvas acumulativas.
- f) clasificación del sedimento total.

3.3.- Distribución de sedimentos.

3.3.1.- Facies sedimentarias

La diferenciación de facies se realizó considerando asociaciones naturales de sedimentos, de forma tal que la denominación de las facies, en la mayoría de los casos, responde al de las texturas dominantes en cada campo (frecuencias superiores al 70%).

Su distribución (Fig. I.9) presenta un arreglo gradacional de texturas, desde arenas en la cabecera del río, o zona de derrame de sus afluentes principales, a limos en el río Medio o Intermedio y limos arcillosos hacia su desembocadura, donde se enfrentan y superponen discordantemente a facies arenosas constituidas por sedimentos relictos correspondientes a facies transgresivas del Holoceno (Urien, 1967).

El arreglo de facies es longitudinal, conforme a las direcciones principales de flujo, y paralelo a las costas que enmarcan el río Superior o Interior y Medio o Intermedio; mientras que en el río Inferior o Exterior forman un amplio arco parabólico.

En la zona superior o interior y media o intermedia del río se diferencian dos asociaciones faciales, texturalmente interconectadas, ubicadas a lo largo de las costas y formadas por sedimentos de tamaño de grano decreciente hacia el SE, es

decir ha
direcció

Las d

- en l
hacia P
pasan t
arcillos

- en l
Palmar
alto co
la costa
de Ata

Tam
Pavón
sedim
canale
con z
incorp
palins

Sob
arcillo
asoci

1)
inter
en su
arcill
cons

2)
y cuy
que
que

decir hacia la desembocadura, ajustándose a un modelo de flujo decreciente en esa dirección, similar al de un curso fluvial maduro.

Las dos asociaciones señaladas son :

- en la costa Norte, se evidencia la descarga de los ríos Uruguay y Paraná Guazú, hacia Playa Honda, a través de la asociación de facies de arenas y arenas limosas, que pasan a limos arenosos y limos en el Banco Grande de Ortiz, y a limos y limos arcillosos, e incluso arcillas limosas, hacia el frente marítimo exterior.

- en la costa Sur, y a partir de la desembocadura de los ríos Luján y Paraná de Las Palmas, se observan texturas más finas que las correspondientes a la costa Norte, con alto contenido en carbón vegetal (Halcrow, 1965). Los sedimentos se extienden sobre la costa formando una sola unidad, integrada por limos arenosos y limos que a la altura de Atalaya, pasan a arcillas limosas.

Tanto el lecho del Canal Intermedio como el del Canal Oriental, al Sur de Punta Pavón, presentan facies de limos arcillosos que hacia el Este gradan a facies de sedimentos de texturas más gruesas; al igual que en la zona de Paso Farallón y de los canales frente a San Juan. Esta aparente anomalía estaría geográficamente vinculada con zonas de afloramientos arcillosos del Holoceno Inferior sujetos a erosión e incorporación al caudal sólido, por lo que deben ser considerados como verdaderos palinseptos (en el sentido de Swift, 1971).

Sobreimpresos a las facies limosas y por el interior, con rumbo SE. yacen facies arcillosas que hacia el Este limitan con un arco exterior en el que participan tres asociaciones :

1) una en el sector Norte, denominada "de mezcla", en cuya composición intervienen los tres elementos del diagrama triangular, evidenciando la participación en su composición de las arenas "relicto", con las que limita al Sur, y de los "sedimentos arcillosos relicto", a las que se sobrepone, de tal manera que esta zona también deberá considerarse como Palinsepto.

2) otra en el sector Sur, que presenta afinidad textural con los sedimentos del río, y cuya respuesta a la sonda acústica permite trazar su extensión hacia la costa, a la vez que separarla netamente de las arenas transgresivas del Holoceno Inferior sobre las que yace.

3) interpuesta a ambas facies se extiende otra de limos y limos arcillosos que llama la atención por su bajo contenido arcilloso (menor de 25%), indicando tal vez, un área de alto vigor hidrodinámico que no permite su decantación.

En las proximidades de Pta. Rasa se observan facies de mezcla que se prolongan, en la zona costera exterior, hacia los grandes cuerpos arenosos producto del transporte litoral neto hacia el Norte (Lanfredi, 1979) característico de la zona costera marina extendida más al Sur.

También se infiere allí la existencia de afloramientos de arcillas verdes marinas del Holoceno Inferior: Form. Río Salado (Fidalgo, 1973) y Form. Pozo N° 8 - Facies Estancia Las Chilcas (Parker, 1980), a través de la faja de sedimentos arcillosos que se extiende paralelamente a la línea de costa.

3.3.2.- Relaciones diámetro medio - porcentaje de arcillas.

A efectos de establecer relaciones cualitativas en cuanto al vigor hidrodinámico (Swift, 1971) y, a la vez, confirmar la delimitación de las vías de transporte desde el punto de vista de la dinámica sedimentaria, se realizó un análisis comparativo entre la distribución de las facies texturales (áreas con una concentración superior al 70% de una determinada textura), la distribución del tamaño medio (diámetro por debajo del cual se encuentra el 50% en peso del total de la muestra) y la distribución del índice de arcillosidad (contenido en arcilla, expresado en forma porcentual) (Figs. I.9, I.10 y I.11).

La comparación y análisis se efectuó sobre la base de los siguientes conceptos:

a) las direcciones de transporte deberían estar reflejadas en la topografía del fondo mediante canales, y en el sedimento mediante gradientes de tamaño, como consecuencia de la variación progresiva, decreciente hacia el Este, del vigor hidrodinámico; mientras que aquellas áreas con diámetro medio anómalos o discordantes podrían señalar la existencia de sedimentos relictos o palinseptos.

b) las áreas de concentraciones de arcillas son indicadoras de zonas de bajo vigor hidrodinámico, siendo su distribución discordante el resultado de una alteración a la mecánica normal de transporte como, por ejemplo, la acción físico-química del agua salada que actúa como agente floculante o bien por la presencia en el fondo de sedimentos relictos o palinseptos.

Los resultados permiten confirmar las vías de transporte ya señaladas, mediante una polarización de la distribución de tamaños y concentraciones de arcillas, vinculadas a las descargas de los ríos Uruguay y Paraná Guazú por un lado, y Luján y Paraná de las Palmas, por otro (Fig I.12).

En la primera es característico el aporte de sedimentos limpios, cuyos derrames afectan la Playa Honda y contrastan con los de la segunda, cuya característica principal es el de poseer menor diámetro medio, mayor contenido de arcillas y gran contenido carbonoso (2.6%; Halcrow, 1965).

Ambas vías gradan hacia el frente marítimo, con diámetros medios menores y mayor contenido arcilloso, permaneciendo separadas permanentemente por Playa Honda y el Canal Intermedio, que presentan rasgos propios, hasta alcanzar la Barra del Indio, donde dan origen a un área de contenido arcilloso menor al 25% y diámetro medio menor a 25 micras, valores éstos muy cercanos a los del sedimento en suspensión (Urien, 1967).

Esta asociación atraviesa el río, a la altura de la Barra del Indio, extendiéndose a lo largo de ambas costas y formando, en su borde exterior, un amplio arco, presentando áreas coincidentes con las facies arcillo-limosas que contienen más del 25% de arcillas, las que a su vez, encierran núcleos casi concéntricos que superan el 50%.

Es de destacar que si bien la posición regional de las áreas correspondientes a un índice de arcillosidad superior al 25% presenta una ubicación concordante con un ambiente de vigor hidrodinámico decreciente, las áreas con un índice superior al 50% no se manifiestan de igual forma, e incluso llegan a estar comprendidas en las anteriores sin responder a un orden de gradación normal.

El mayor desarrollo de las áreas con tenores de arcillas entre 50 y 75% se produce en :

- la costa uruguaya, entre Pta. Tigre y Atlántida,
- el sector medio del río, frente a la desembocadura del río Santa Lucía,
- la costa argentina (Franja Costera Sur), con máximo desarrollo en Pta. Piedras y la Bahía de Samborombón.

Estas áreas corresponden a un sector del río caracterizado por su máxima variabilidad en cuanto a salinidad (Ottman y Urien, 1967) y asociable a la denominada zona A (Nagy et al., 1986; López Laborde y Nagy, 1986; Nagy et al., 1987), caracterizada por dichos autores como fluvial, alternando a oligohalina, verticalmente mezclada o estratificada, turbia a muy turbia, con predominio de salinidades superficiales entre 0 - 3 ‰ y 3 - 6 ‰ en el fondo.

De acuerdo con ello, las dos primeras áreas deberían atribuirse a procesos de floculación por acción físico-química, que estarían alimentando una capa de máxima turbiedad (Nagy, 1983) cuyo núcleo se ubica entre las secciones de Pta. Yeguas y Pta. Espinillo (Fig. I.13), relacionado con límite móvil de intrusión salina, ubicable entre Pta. Tigre y Pta. Brava (Nagy, et al., 1986; Nagy, et al., 1987). La tercera correspondería además, a sedimentación en las aguas relativamente tranquilas de la Bahía de Samborombón (Urien, 1967).

También se observan concentraciones con alto contenido arcilloso en las proximidades de Pta. del Este, las que serían atribuibles, dado su relativa compactación, a afloramientos de arcillas transgresivas del Holoceno Inferior (López Laborde, 1987).

En las zonas de contacto entre el frente arcilloso de la Barra del Indio con las arenas transgresivas del Holoceno Inferior se comprueba la superposición de las arcillas a las arenas más antiguas, a la vez que los depósitos confieren expresión morfológica a dicha Barra (Fig. I.6).

La información de fajas de sondajes, los testigos verticales y muestras de fondo, señalan la existencia de sedimentos arcillosos a lo largo de todo el Canal Oriental. Sin embargo, el truncamiento de los estratos que conforman su relleno contra el lecho labrado por el río, lo señalan como no participando de la dinámica sedimentaria actual, sino que el fondo está constituido por afloramientos de arcillas transgresivas verdes del Holoceno Inferior, tal como lo confirma el carácter de relativa compactación indicada en las descripciones de testigos tomados en el lugar.

Sugestivamente, al Sur de Pta. del Este se puede seguir la línea de separación entre las arenas transgresivas y las facies limo-arcillosas, pero la sonda no revela ninguna relación de superposición como lo hace al Este de la Barra del Indio.

Los elementos anteriores sustentarían el concepto de que los sedimentos del Río de la Plata no van más allá, al menos en volúmenes significativos, del frente que constituye la Barra del Indio.

3.3.3.- Distribución de modas elementales.

A efectos de ampliar el conocimiento acerca del transporte y dispersión de sedimentos actuales en el Río de la Plata, y conocer los modos de transporte que condujeron a la distribución de sedimentos observada, debemos considerar a Parker et al. (1986 a) que aplica el denominado "Método Dinámico de las Modas Elementales", consistente en el seguimiento de determinadas modas que componen las diferentes poblaciones sujetas a un mismo modo de transporte (Fig. I.14).

Dichos autores concluyen que los sedimentos actuales del Río de la Plata fueron transportados principalmente por saltación y suspensión, diferenciando dos amplias áreas donde los sedimentos depositados por cualquiera de estos dos modos superan el 50% (Fig. I.15).

Los depósitos tractivos, con diámetro entre 0.5 y 2.0 ϕ (Figs. I.16 a y b) no superan el 15% del total de la muestra y están localizados en solo dos pequeñas áreas: Pasos de Martín García y Umbral de Samborombón. Este último por su aislamiento, puede representar un relicto o un depósito de biógenos.

El dominio del transporte por saltación (área donde el sedimento de fondo que responde a este mecanismo supera el 50% del peso total de la muestra) está ubicado principalmente en el río Superior e Intermedio, levemente desplazado hacia la costa uruguaya, siendo las modas más frecuentes sometidas a este mecanismo las comprendidas entre 3.25 - 3.5 ϕ (Fig. I.17), indicando dispersión hacia Playa Honda, y 4.75 - 5.0 ϕ (Fig. I.18), vinculadas al Paraná, desde donde se derraman a Playa Honda. En la zona exterior claramente indican la incorporación al proceso actual de transporte, de las modas representadas por 3.5 ϕ incluídas en las arenas relicto del río Exterior, desde donde se desplazan hacia el interior. El tamaño 5.0 ϕ señala también la existencia de sistemas aislados, tales como el Banco Maipú y el Banco Chico, que en algunos casos se reiteran en las modas más finas; mientras que el de 3.5 ϕ indica la existencia de sistemas de transporte vinculados a procesos costeros en Pta. Piedras, Pta. Rasa, Pta. Colonia, Pta. Quilmes y en el sector Colonia-Juan Lacaze.

El dominio de los sedimentos transportados en suspensión, se ubica principalmente en la Barra del Indio, desde donde se extiende a la Bahía de Samborombón y, en parte, hacia la franja Costera Sur, donde no llega al 50% del peso total de la muestra. Las modas más frecuentes se encuentran entre 6.75 - 7.0 Ø (Fig. I.19) y 8.75 - 9.0 Ø (Fig. I.20). La distribución de estas modas es semejante, extendiéndose desde la costa Sur hacia la Barra del Indio y la Bahía de Samborombón, vinculando estas áreas con los aportes del Paraná. Sobre la costa Norte, frente a Pta. del Este, se distinguen centros aislados de depósitos representados por el tamaño de 7.0 Ø, así como otros vinculados al sistema costero ubicado al Oeste de Pta. del Este, representados por los tamaños 5.0 y 9.0 Ø.

3.3.4.- Respuestas acústicas.

Dado que uno de los resultados más importantes alcanzados ha sido el reconocimiento de la presencia en el lecho del Río de la Plata, de sedimentos actuales y relictos (en el sentido de Swift, 1971), se considera importante enfatizar este aspecto de las investigaciones. Para ello, consideramos a Parker et al. (1986 b) que analizan la aplicación de registros acústicos de 30 KHz en la individualización de los sedimentos subácueos actuales del Río de la Plata, clasificando dichos registros desde dos puntos de vista :

- según la respuesta del fondo a las ondas acústicas, en transparentes y reflectivos (en función de que la sonda penetre o no en el sedimento),

- y a su vez, de acuerdo a su posición estratigráfica, en aflorantes (lo que soportan una cobertura sedimentaria y están expuestos por la erosión), subaflorantes (los que no fueron cubiertos en toda su extensión por los sedimentos modernos) y actuales (los que suprayacen a los anteriores).

De acuerdo con estos criterios los autores presentan un plano de distribución de respuestas acústicas (Fig. I.21).

Los fondos transparentes aflorantes se extienden en el Sistema Fluvial Norte y la Gran Hoya del Canal Intermedio, los subaflorantes en el sector Este del Canal Oriental y en el sector comprendido entre la costa uruguaya y los Bancos Inglés-Arquímedes; mientras que los actuales aparecen en la Barra del Indio y el Banco Grande de Ortiz. En cuanto a los fondos reflectivos subaflorantes se ubican

en el sector exterior, donde afloran las facies arenosas del río Exterior, y los actuales corresponden a la unidad morfológica Playa Honda (arenas y limos).

Deben destacarse que estos resultados han sido verificados, además, a través de cortes estratigráficos basados en la recopilación de información de perforaciones efectuadas en el lecho del río (Parker, 1985; De Souza y López Laborde, 1988).

SECCION 4.- SINTESIS

4.1.- Distribución cualitativa de las áreas de erosión y depositación.

El estudio realizado revela las siguientes transformaciones morfológicas (Fig. I.22) :

a) en el sector superior o interior del río : vinculadas a las descargas de los ríos Uruguay-Paraná Guazú y al sistema de distributarios del Paraná. El primero provoca alteraciones en el conjunto de canales y bancos que constituyen el Sistema Fluvial Norte, los cuales se expresan por medio de cambios a corto tiempo y de carácter discontinuo : profundización, desplazamiento y alargamiento de los ejes de canales, y sedimentación de los bancos que provoca incrementos de altura y superficie. El ordenamiento de los elementos morfológicos y su inestabilidad se asemejan al de un diseño fluvial anastomosado.

Las descargas de los cursos que acompañan al Sistema Fluvial del Paraná, más importantes en cuanto al material en suspensión, depositan gran parte de su carga en este sector del río, ocasionando la progradación de Playa Honda y, a su vez, constituyendo el terreno de fundación sobre el que avanza el frente deltaico o del delta propiamente dicho. En ambos casos, el crecimiento de la Playa Honda y el Delta, se encuentran en equilibrio con las descargas hídricas del Uruguay, influyendo éste en la redistribución de los sedimentos del frente deltaico, dando como resultado un avance diferencial del frente, que aumenta de Norte a Sur e incide en la orientación de los cursos menores y modernos. El crecimiento de Playa Honda, hacia el Norte y SE, provoca que gran parte del drenaje del Uruguay se desplace en el mismo sentido que el avance de aquélla, obligándolo a labrar su cauce sobre los sedimentos del Pleistoceno Superior del flanco Norte del valle original.

b) en el sector medio o intermedio : las modificaciones están relacionadas con un proceso erosivo expresado en la profundización de la Rada Exterior y el Canal Intermedio, acompañado por un desplazamiento de este último y de los Bancos Chico y Magdalena.

La franja costera, en este sector, también revela una tendencia erosiva, evidenciada por la profundización de los pozos costeros y la presencia de afloramientos de "toscas" entre Pta. Blanca y Pta. Piedras.

c) **en el sector inferior o exterior** : las variaciones se relacionan con los sedimentos limo-arcillosos que conforman el frente de agradación que comprende a la Barra del Indio y a la Franja Costera de la Bahía de Samborombón, constituyendo el límite de agradación significativa y distal de los sedimentos del río.

4.2.- Esquema general de transporte de sedimentos.

Sobre la base de los conocimientos alcanzados, se plantea un modelo hipotético de transporte neto de sedimentos (Fig. I.23).

Se considera como límite exterior de dispersión de sedimentos el correspondiente a la zona o franja donde se encuentran las líneas que separan las arenas relicto de los sedimentos actuales del río (Fig. I.9) y que, a su vez, corresponden con la línea donde se observa la superposición de éstos a aquéllos (Fig. I.6)

Su configuración, ajustada al sector inferior o exterior, refleja la acción de endicamiento producida por el frente marítimo que se opone, por su mayor densidad, al derrame de las aguas del río, confinándolo hacia las zonas costeras de la Bahía de Samborombón y Montevideo.

Los elementos más importantes de este modelo son :

a) **Bancos** : (Playa Honda, Banco Grande de Ortiz, Barra del Indio). Actúan encauzando el flujo hidráulico en el cual viajan los sedimentos, como captosres de sedimentos por pérdida de la capacidad de transporte y, además, como dispersores de fracciones finas por acción del oleaje.

b) **Cuencas de erosión** : (Oeste de la Barra del Indio, Gran Hoya del Canal Intermedio). Sujetas al continuo vaivén de las mareas, a cuya dinámica deben su origen, actúan alternativamente como receptores temporarios y fuente de aporte de sedimentos por remoción del sustrato.

c) **Canales** : representan las rutas del derrame fluvial, ubicadas a lo largo de las costas. Soportan un régimen de mareas asimétrico, donde el refluo es dominante, e interaccionan con ambas cuencas de erosión. Uno de ellos encauza las aguas de los

ríos Uruguay y Paraná Guazú; su rama principal llega hasta Colonia con estructuras típicamente fluviales (barras y bancos longitudinales). Allí se bifurca en dos ramas: la primera vuelca sus aguas sobre el Banco Grande de Ortiz, encauzando el Canal del Norte, y la segunda las vuelca sobre la Gran Hoya del Canal Intermedio. El otro, más importante en cuanto al sedimento en suspensión, recoge las aguas del Paraná, que caen al Oeste de la barrera de Playa Honda, costea la Provincia de Buenos Aires hasta las proximidades de Atalaya, y se diluye hacia el Norte con la rama del Canal Intermedio, perdiendo su individualidad.

4.3.- Dinámica del transporte.

El estudio de la distribución de los sedimentos superficiales de fondo, las relaciones entre tamaños y el concepto de vigor hidrodinámico de ellos derivados, sugieren que su distribución, a largo término, responde a un sistema en donde la capacidad de transporte del río decrece desde su cabecera hasta el frente marino exterior. La capacidad de transporte está relacionada con la acción de la marea, como generadora de corrientes, y a la configuración geométrica del río, como ordenador de velocidades decrecientes hacia el Este coincidiendo con el aumento de sección.

Es así que la distribución de facies sedimentarias en el Río de la Plata aparece como reflejo de un proceso de sedimentación selectiva y gradual, a largo término, que se inicia bajo un régimen típicamente fluvial en el río Superior o Interior, que grada a otro de carácter mixto (acción de mareas y fluvial), para terminar en el río Exterior o Inferior en un Prodelta, dentro de un típico ambiente marino (Parker et al., 1985). Dicho proceso debe interpretarse (López Laborde, 1987) en un contexto general en el que participan :

1) elementos dinámicos : a) contribución diferencial de las principales fuentes de aporte, b) presencia de dos vías de transporte principales, y c) localización de los procesos de sedimentación.

2) elementos históricos-estratigráficos : presencia de sedimentos relictos que enmascaran los procesos actuales.

ANEXO 1.1.- BIBLIOGRAFIA.

- American Geological Institute.* 1962. Dictionary of Geological Terms.
- Balay, M.* 1967. El Plano de reducción de sondajes en el Río de la Plata. Boletín del Centro Naval Nº 673, Vol LXXXV; 511-523
- Bercowsky, F.* 1967. Estudio sedimentológico de las arenas actuales de la costa del Río de la Plata entre Buenos Aires y San Clemente del Tuyú. Universidad de Buenos Aires, Fac. de Ciencias Exactas y Naturales. Trabajo Final de Licenciatura.
- Bercowsky, F.* 1978. Variaciones mineralógicas en sedimentos del Río de la Plata. VII Congreso Geol. Arg., Actas 11: 649-658.
- Buscaglia, J. E.* 1957. Estudio de los sedimentos del Río de la Plata entre el Paraná de las Palmas y Paraná Guazú. Fac. de Ciencias Naturales, La Plata. Tesis.
- Cavallotto, J. L.* 1987. Dispersión, transporte, erosión y acumulación de sedimentos en el Río de la Plata. Informe final de Beca de Iniciación, C.I.C., La Plata.
- Chaar, E.* 1957. Los sedimentos de fondo del Río de la Plata en la zona comprendida entre el Paraná de las Palmas y Puerto Nuevo. Fac. de Ciencias Naturales, La Plata. Tesis.
- Depetris, P. J.* 1968. Mineralogía de algunos sedimentos fluviales de la cuenca del Río de la Plata. Asoc. Geol. Arg., Rev. 23(4) : 317-325.
- Depetris, P. J. y Griffin, J.J.* 1968. Suspended load in the Río de la Plata drainage basin. *Sedimentology* 11 : 53-60.
- De Souza, S. y López Laborde, J.* 1988. Consideraciones preliminares sobre la estratigrafía del Río de la Plata en las proximidades de Montevideo. VI Panel de Geología del Litoral y I Reunión de Geología del Uruguay, Res.: 1-4.
- Duclout, J.* 1901. Informe del Inspector General Ing. Jorge Duclout sobre los pasos de Martín García. Inspección General de Navegación y Puertos (texto copiado del original). SIHN, Archivo Técnico, Letra A, Nº Vs, Orden 17.

- Etchichury, M.C y Remiro, J. R.* 1960. Muestras de fondo de la plataforma continental comprendida entre los paralelos 34° 00' y 36° 30' de latitud Sur y los meridianos 53° 10' y 56° 30' de longitud Oeste. Rev. Mus. Arg. Cienc. Nat. "Bernardino Rivadavia" 6(4) :197-263.
- Etchichury, M. C. y Remiro, J. R.* 1971. Las arenas de la costa de la República Oriental del Uruguay en el tramo comprendido entre Nueva Palmira y el Chuy. Rev. Mus. Arg. Cienc. Nat. "Bernardino Rivadavia" 7(2) :153-195.
- Fidalgo, F.; Colado, V. y De Francesco, F. O.* 1973. Sobre ingresiones marinas cuaternarias en los partidos de Castelli, Chascomús y Magdalena (Provincia de Buenos Aires). V Congr. Geol. Arg., Actas III : 227-240.
- Figueroa, J. B.* 1898. Estudio sobre Puertos de la Provincia de Buenos Aires. Parte II, Atlas, tav. XXI. La Plata.
- Garrido, M. I.* 1968. El lecho del Río de la Plata. Bol. SIHN, 3, Buenos Aires.
- Hallcrow, W.* 1965. Estudio y proyecto del canal de vinculación entre el Puerto de Buenos Aires y el Río Paraná de las Palmas. Sir William Halcrow and Partners. Ing. Consultores.
- Hydrodynamic.* 1970. Soil Investigation. Montevideo. Tech. Report, HYDRODNAMIC, Holland.
- International Hydrographic Bureau.* 1974. Hydrographic Dictionary. Part I. International Hydrographic Organization, Special Publication N° 32, Mónaco.
- International Hydrographic Bureau.* 1982. Normas Generales de la O.H.I. para levantamientos hidrográficos y criterios de clasificación para sondeos profundos. International Hydrographic Organization, Publicación Especial N° 44.
- Lanfredi, N. W.; Schmidt, S y Speroni, J.* 1979. Cartas de corrientes de marca (Río de la Plata). SIHN, Dpto. de Oceanografía, IC-IT-79/03.
- López Laborde, J. y Nagy, G. J.* 1986. Asociaciones espaciales por salinidad y turbiedad óptica en el Río de la Plata Exterior. En: Sistemas Costeros Templados de América Latina. Resultados del Seminario sobre Procesos Físicos y Biológicos del Medio Costero y

- Estuarino Templado de América Latina. Inf. de la UNESCO sobre Ciencias del Mar, N° 47: 40-41.
- López Laborde, J.* 1987. Distribución de sedimentos superficiales de fondo del Río de la Plata Exterior y Plataforma adyacente. *Inves. Oceanolog.* 1(1): 19-30.
- López Laborde, J.* 1987. Sedimentos superficiales del fondo del Río de la Plata Exterior y Plataforma adyacente. VII Jorn. de Ciencias del Mar 1º Simposio de Geología Marina y Dinámica Costera, Res.: 86.
- MOP*, 1926. Dirección General de Navegación y Puertos. Río de la Plata Superior y Paraná hasta San Pedro. Escala 1/100.000. República Argentina.
- Nagy, G. J.* 1983. Caracterización de los procesos hidrológicos del Río de la Plata. Universidad de la República, Facultad de Humanidades y Ciencias, Tesis inédita.
- Nagy G. J., Anastasia, L. H. y López Laborde, J.* 1986. Zonación ambiental del Río de la Plata Exterior I: Salinidad y turbiedad óptica. En: *Sistemas Costeros Templados de América Latina. Resultados del Seminario sobre Procesos Físicos y Biológicos del Medio Costero y Estuarino Templado de América Latina. Informe de la UNESCO sobre Ciencias del Mar, N° 47: 39.*
- Nagy, G. J.; López Laborde, J. y Anastasia, L. H.* 1987. Caracterización de ambientes en el Río de la Plata Exterior (salinidad y turbiedad óptica). *Inves. Oceanol.* 1(1): 31-56.
- Otuman, F. y Urien, C.M.* 1965. La melange des eaux douces et marines dans le Río de la Plata. *Cahiers Oceanographiques*, XVII.
- Parker, G.* 1980. Estratigrafía y evolución morfológica durante el Holoceno en Punta Médanos (Planicie costera y plataforma interior), Provincia de Buenos Aires. Simposio sobre Probl. Geol. del Litoral Bonaerense, Res.
- Parker, G.; Marcolini S.; Cavallotto, J. L.; Martínez, H; López M. C.; Ghiorzo, D.; de León, A.; Maza, M. T.; Ayup, R. N. y López Laborde.* 1985. Distribución de sedimentos en la superficie del fondo. En: SIHN-SOHMA, Divs. Geología Marina. "Estudio para la Evaluación de la Contaminación en el Río de la Plata", Inf. Téc. N° 3, Tarea N° 2.
- Parker, G.* 1985. El subsuelo del Río de la Plata. (Recopilación de perforaciones). SIHN, Div. Geología Marina, Inf. Téc. N° 36/85.

- Parker, G.; Marcolini, S.; Cavallotto, J. L. y Violante, R.* 1986 a). Transporte y dispersión de los sedimentos actuales del Río de la Plata (análisis de texturas). 1ª Reunión Argentina de Sedimentología, Res.: 38-41.
- Parker, G.; Cavallotto, J. L.; Marcolini, S. y Violante, R.* 1986 b). Los registros acústicos en la diferenciación de sedimentos subácucos actuales (Río de la Plata). 1ª Reunión Argentina de Sedimentología, Res.: 42-44. Río de la Plata.
- Rovereto, G.* 1911. Studi de geomorfología argentina II. Il Río de lla Plata. Bol. Soc. Geol. Italiana, Vol. XXX, Roma.
- Rusconi,* 1931. Datos sobre una capa marina de edad pampeana descubierta en Olivos, Provincia de Buenos Aires, con una nota sobre la ingresión intersenadense. Physis, X, Buenos Aires.
- Sáenz Valiente, J. P.* 1901-1904. Memoria de los trabajos hidrográficos en el Río de la Plata. SIHN, Archivo Técnico, Letra A, Nº 1, Orden 1.
- Sallenger, A. H.; Goldsmith, V. y Sulton, C.H.* 1975. Bathymetric chart comparisons : a manual of methodology, error criteria and aplications Virginia Institute of Marine Sciences. Special Report in Applied Marine Science and Engineering (SRAMSOE), Nº 66.
- Servicio de Hidrografía Naval.* 1930/1965/1972/1982. Derrotero Argentino Parte I: Río de la Plata.
- Siegel, F.; Pierce, J.; Urien, C. M. y Stone, S.* 1968. Clay mineralogy in the estuary of the Río de la Plata, South America. 23rd Int. Geol. Congr. 8: 32-37.
- Swift, D.; Stanley, D. y Curray, J.* 1971. Relict sediments on continental shelves : a reconsideration. Jour. of Geol., 79: 322-346.
- Urien, C. M.* 1966. Distribución de los sedimentos en el Río de la Plata Superior. Bol. SIHN, 3(3): 197-203.
- Urien, C. M.* 1967. Los sedimentos modernos del Río de la Plata Exterior Bol. SIHN, 4(2): 113-213.

Urien, C. M. 1970. Les rivages et le plateau continental du Sud du Bresil, de l'Uruguay et l'Argentine. *Quaternaria* XII: 56-69.

Urien, C. M. y Ottman, F. 1971. Historie du Río de la Plata au Quaternari. *Quaternaria* XIV: 51-59.

Urien, C. M.; Martins, L. R. y Martins, I.R. 1978. Modelos deposicionales en la plataforma continental de Río Grande do Sul, Uruguay y Buenos Aires. VII Congr. Arg., Actas II: 639-658.

Urien, C.M.; Martins, L. R. y Martins I. R. 1980 a. Evolução geologica de quaternario do litoral atlantico uruguaio plataforma continental e regioes vizinhas. CECO-UFRGS, Notas Técnicas, 3: 7-43.

Urien, C. M.; Martins, L. R. y Martins, I. R. 1980 b. Modelos deposicionais na plataforma continental do Río Grande do Sul (Brasil), Uruguai e Buenos Aires (Argentina) CECO-UFRGS, Notas Técnicas, 2: 13-25.

Figura I.1 Plano de ubicación de los relevamientos utilizados

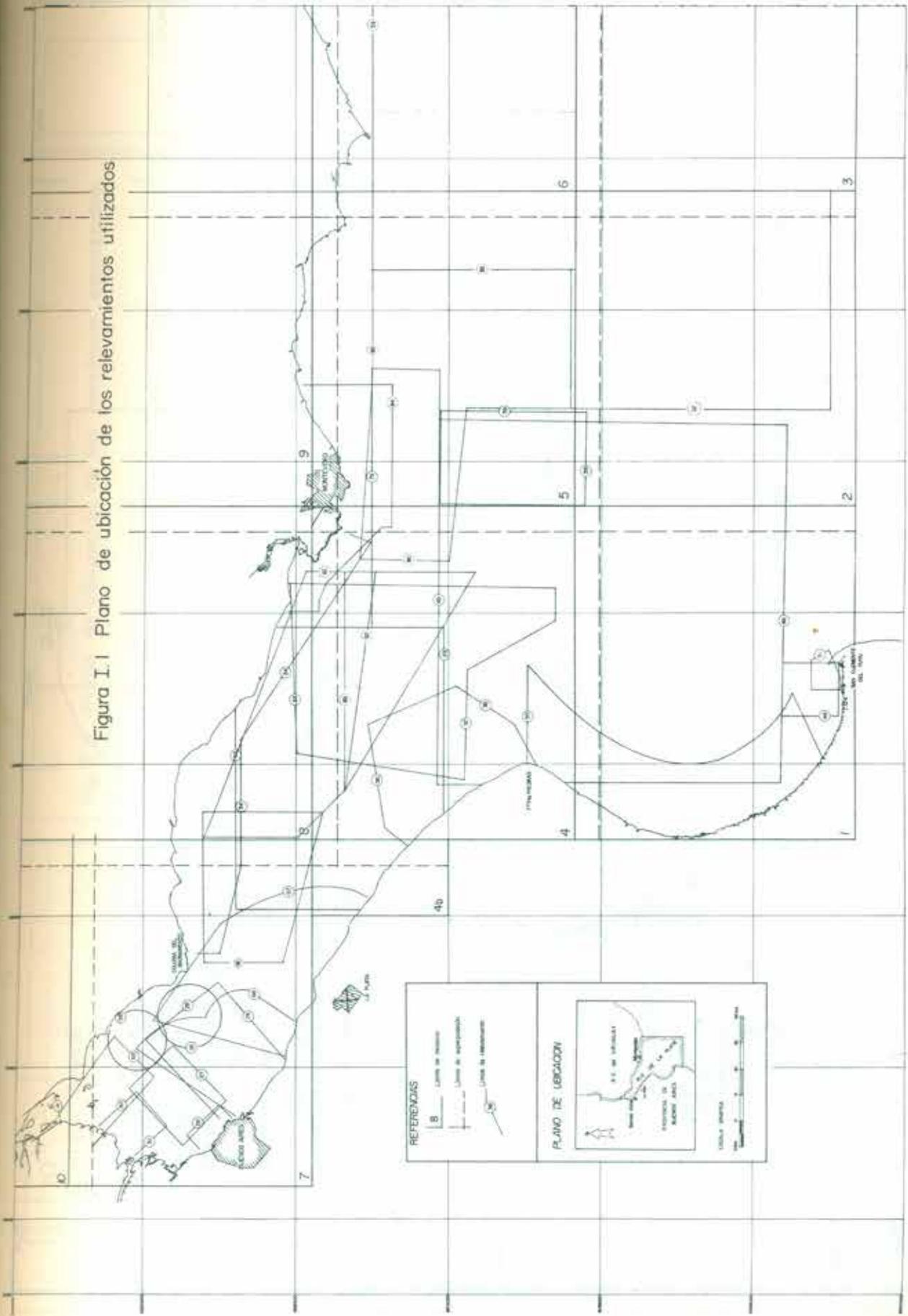
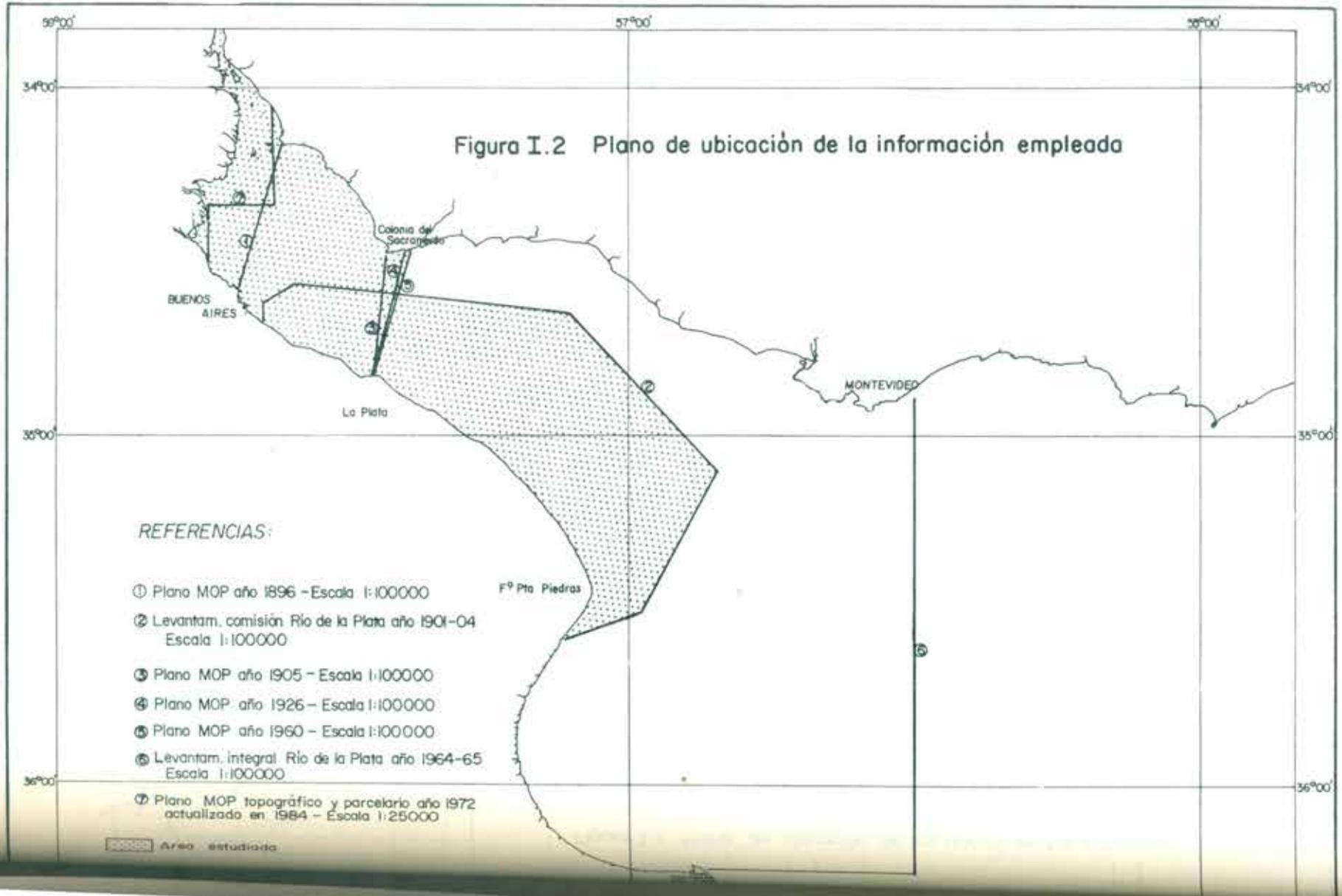


Figura I.2 Plano de ubicación de la información empleada



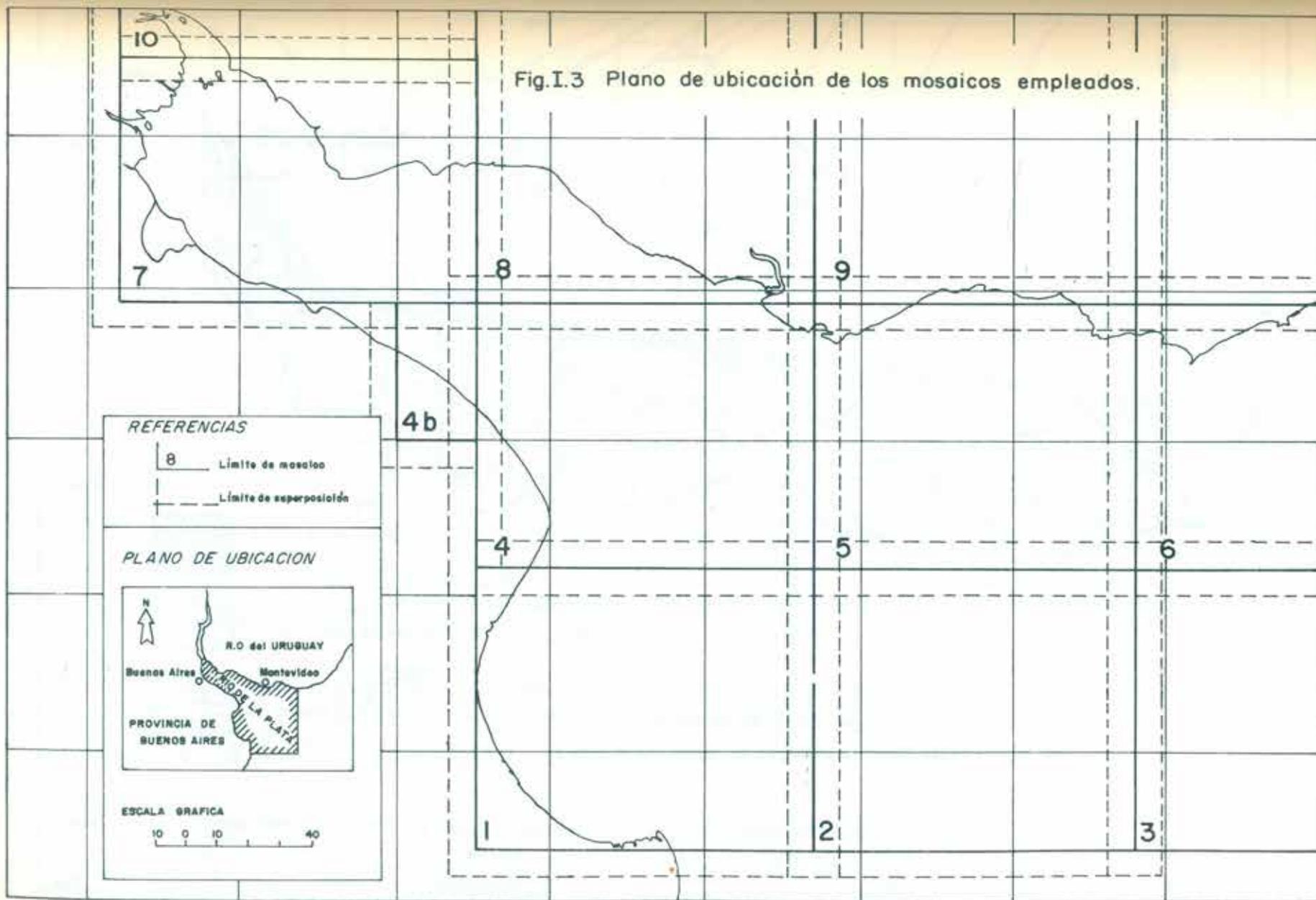
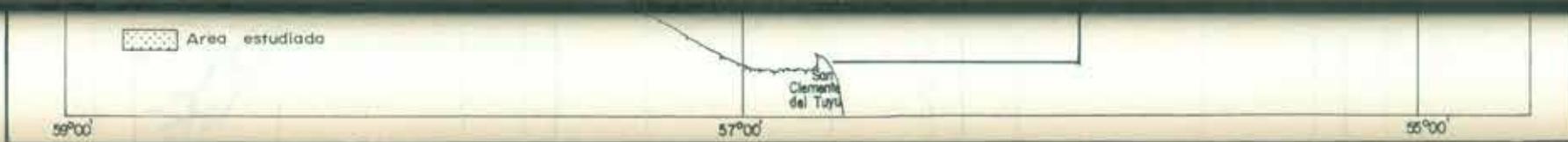
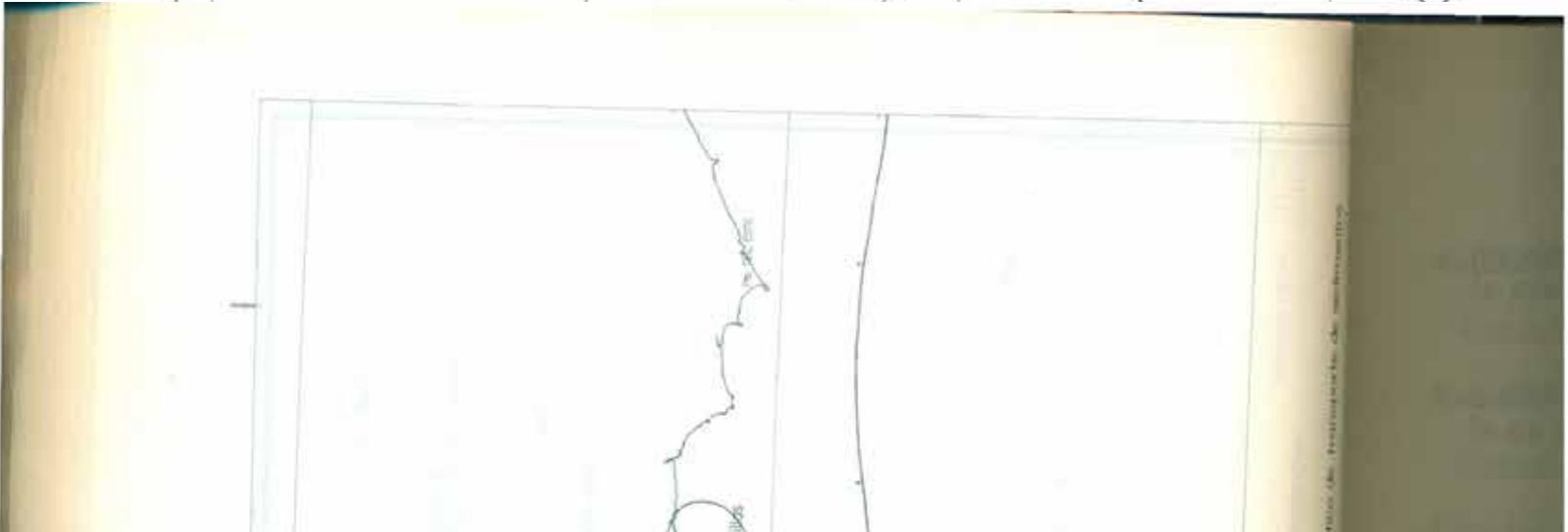
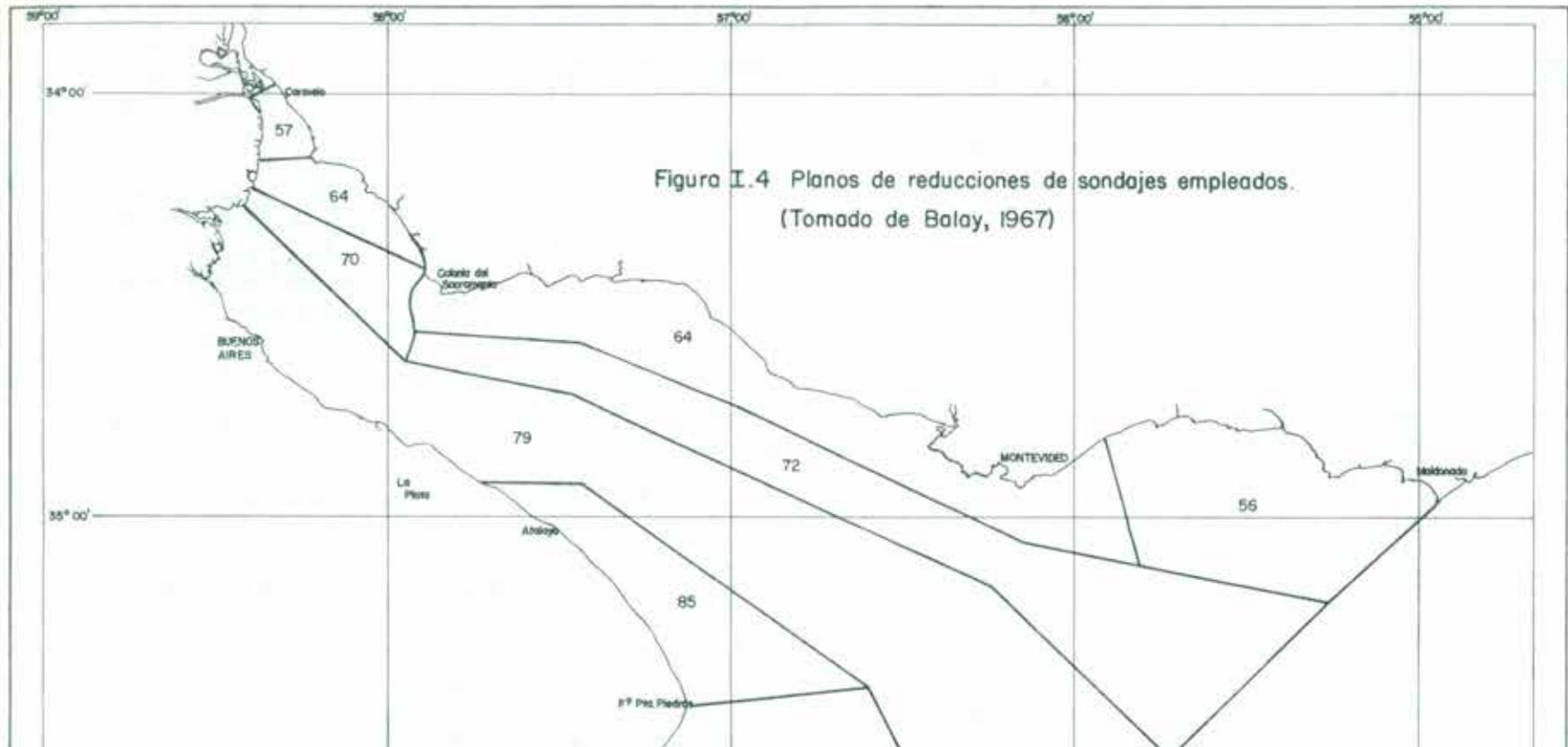
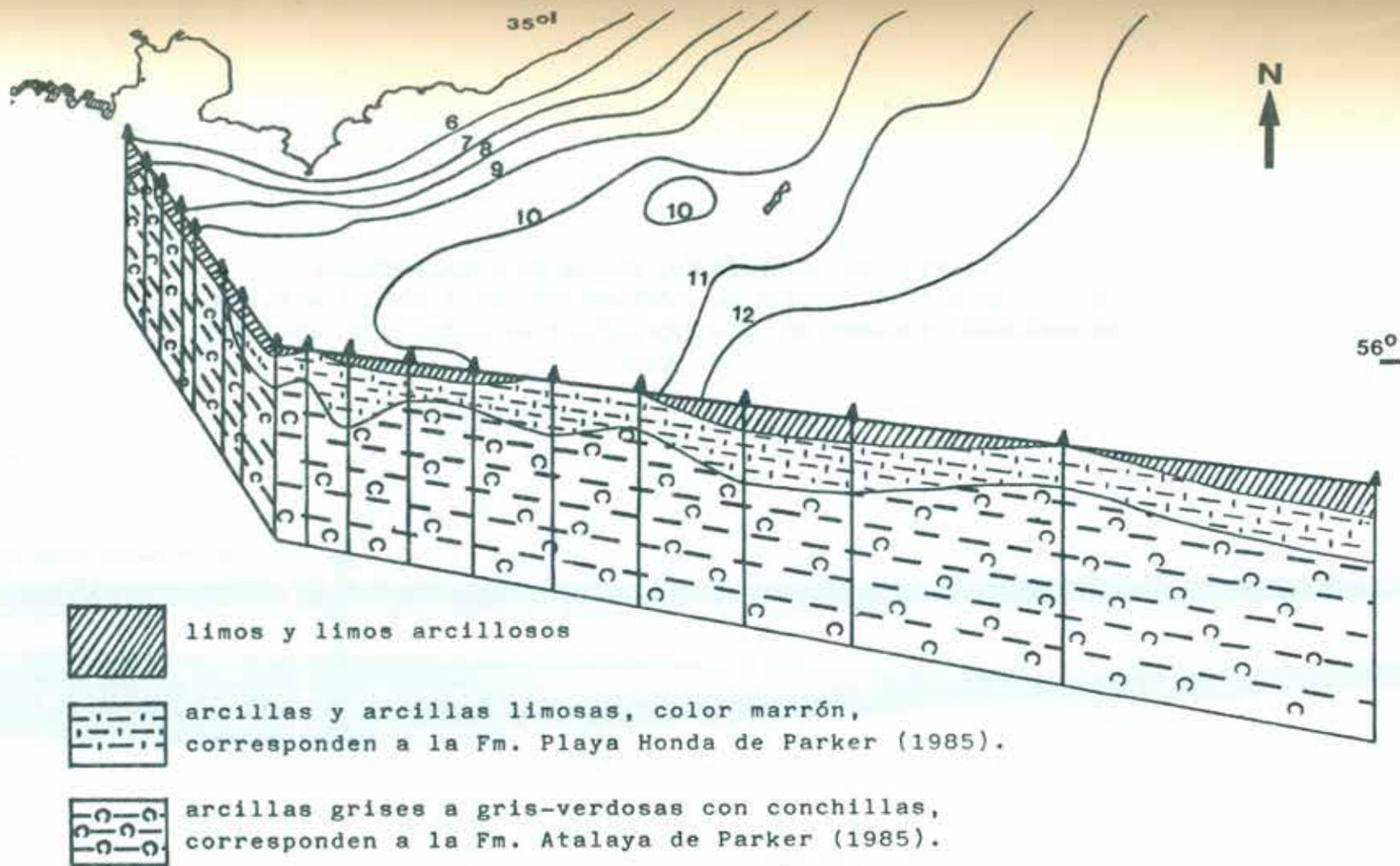


Fig.I.3 Plano de ubicación de los mosaicos empleados.





Escala aproximada: 1/ 670.000

Escala vertical: 1/ 200

Figura I.5 Esquema estratigráfico de las proximidades de Montevideo.
 (Tomado de : De Souza y López Laborde, 1988, Basado en Hydrodynamic, 1970)

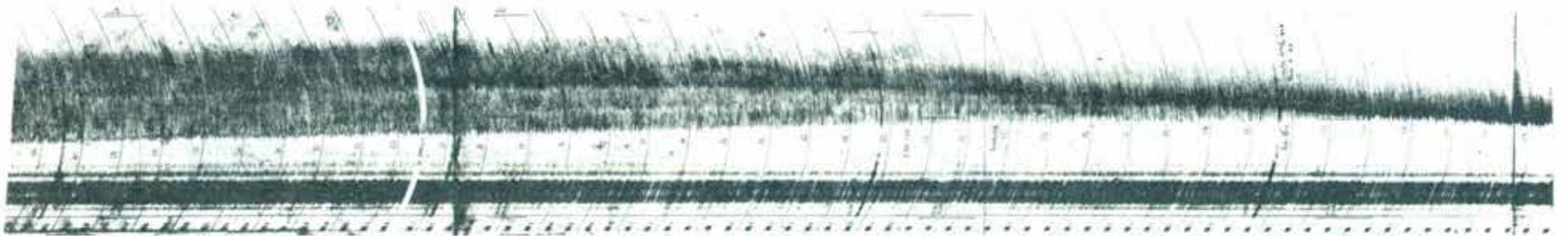
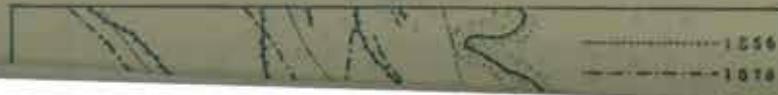


Figura I.6

Expresión morfológica de la Barra del Indio. Se observa la superposición de niveles transparentes que convergen en el borde de la misma (on lap), sobrepuestos a las arenas transgresivas del Holoceno.



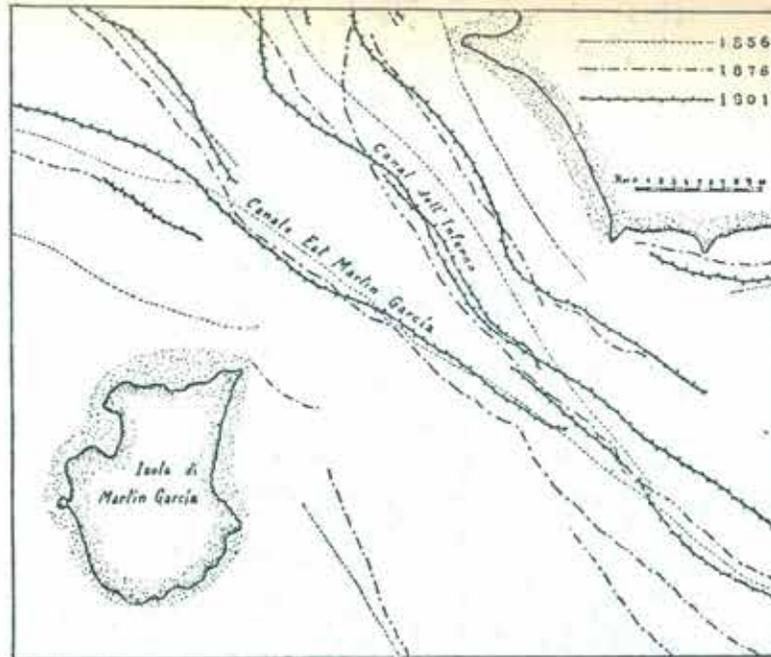


Figura I.7 Desplazamiento de los ejes de los canales entre Martín García y la costa uruguaya, producidos entre 1856 y 1901. (Tomado de Rovereto, 1911)

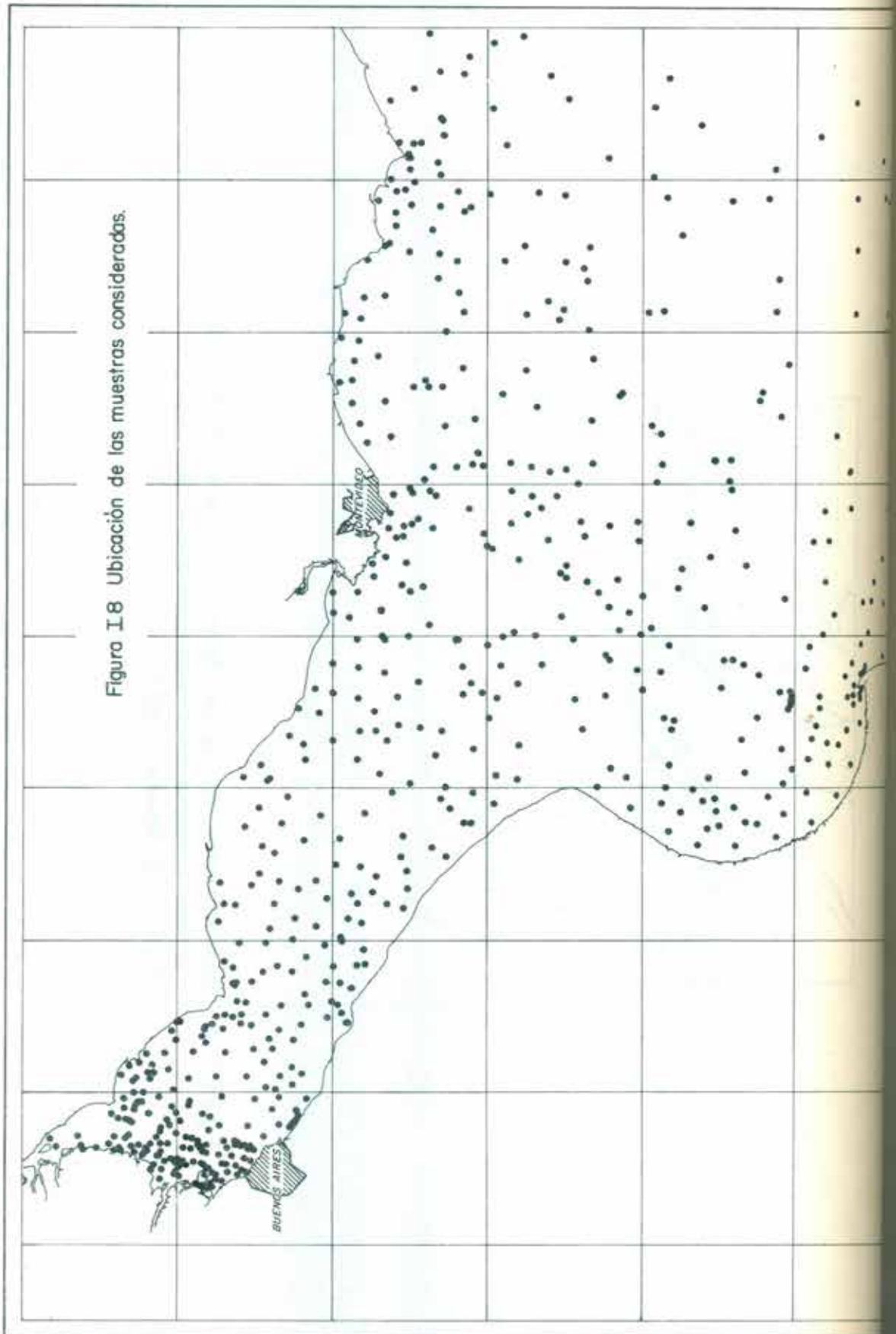
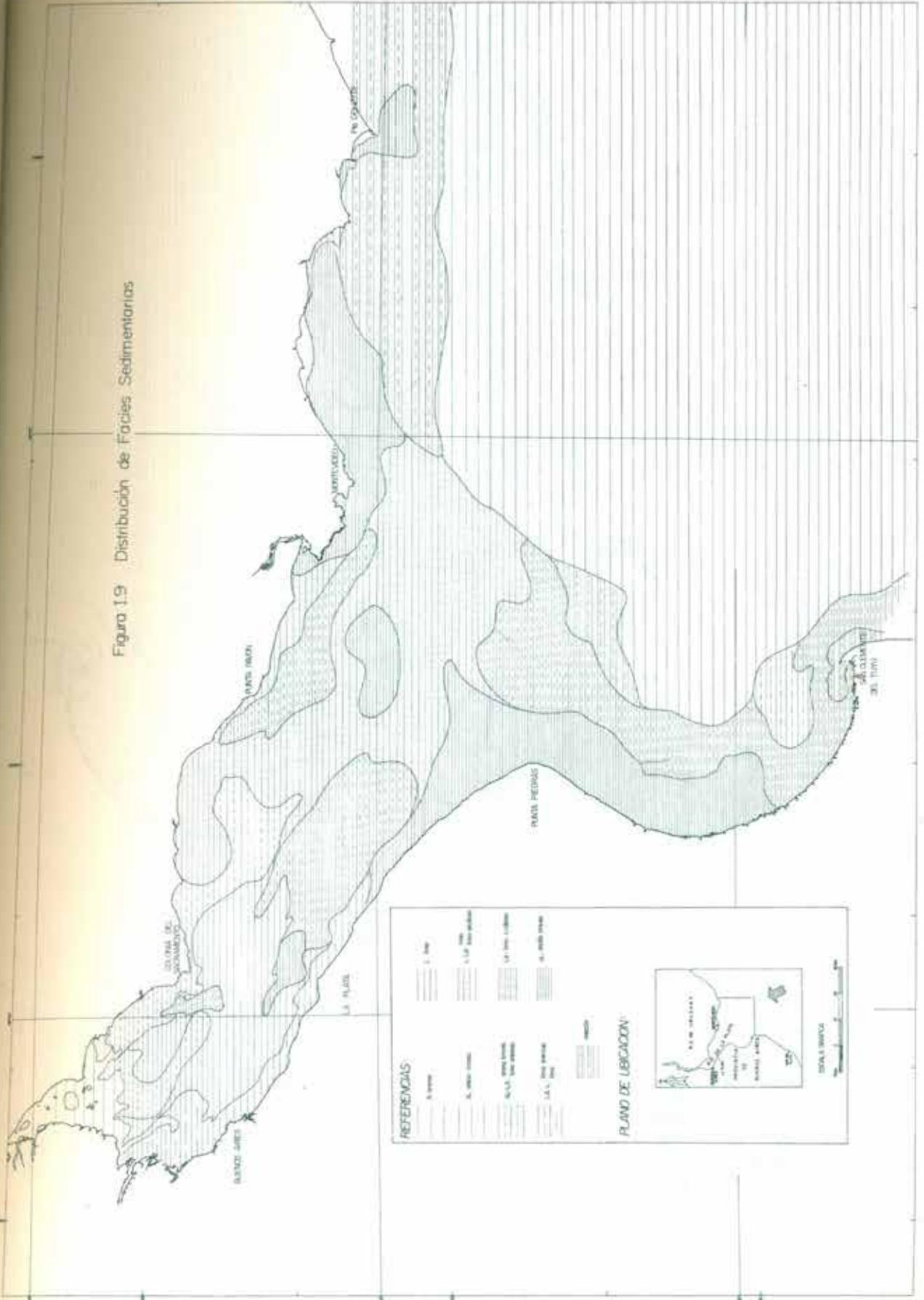


Figura I.8 Ubicación de las muestras consideradas.

Figura 19 Distribución de Facies Sedimentarias



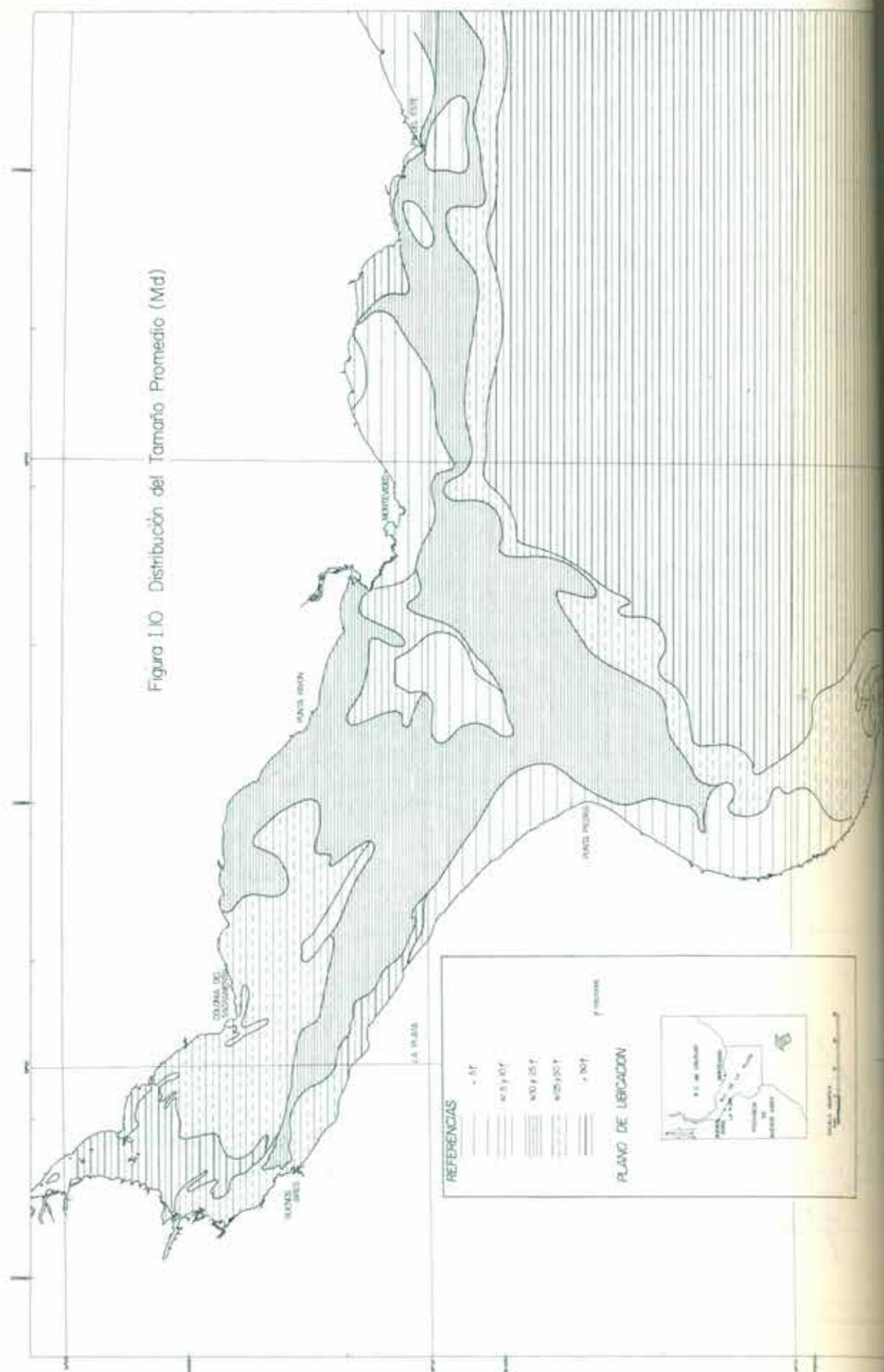


Figura 1.10 Distribución del Tamaño Promedio (Md)

REFERENCIAS

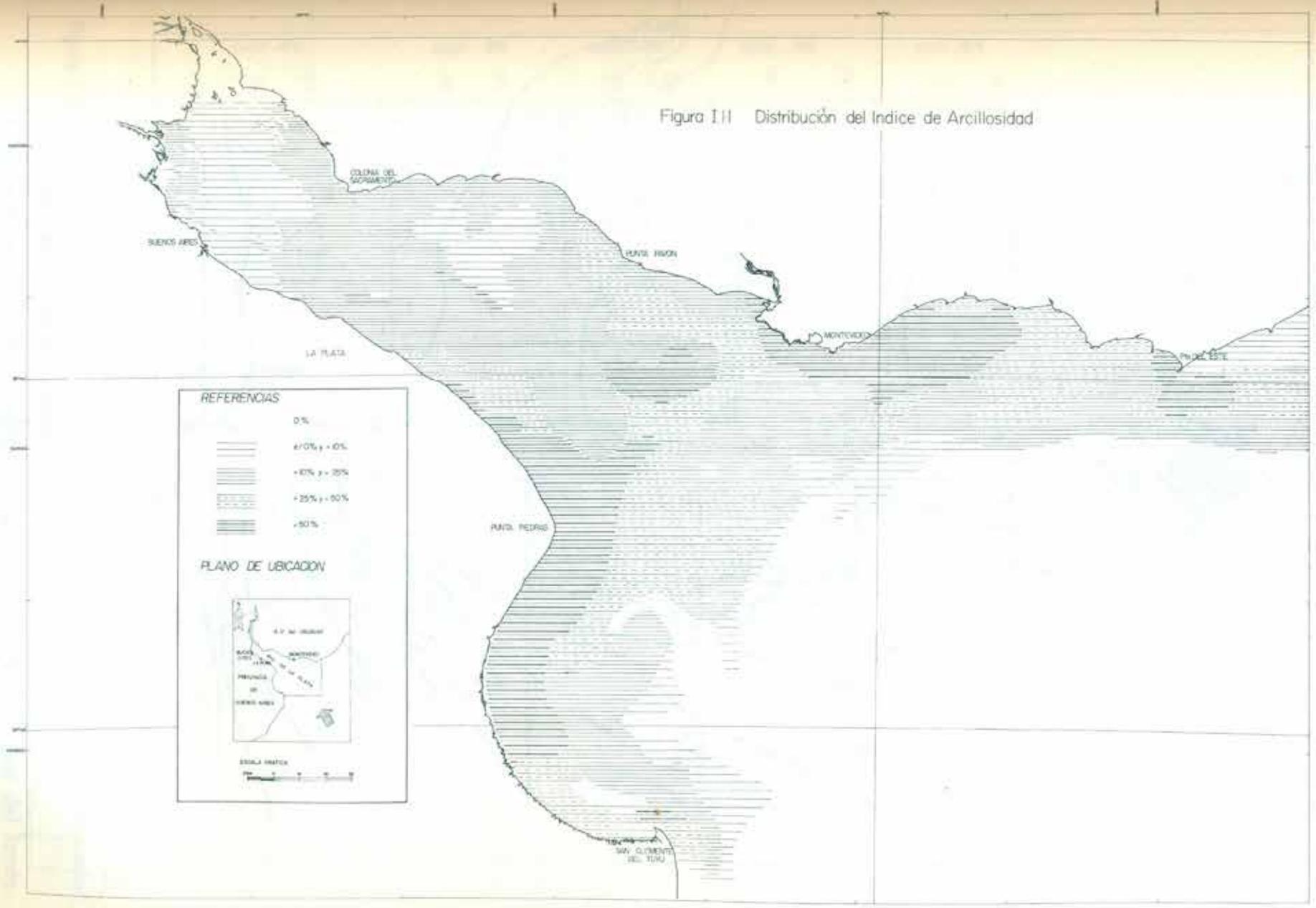
- 0T
- 0T y 0T

PLANO DE UBICACION

PLANO DE UBICACION

El plano de ubicación muestra la posición de la zona de estudio (Iberia) dentro del contexto geográfico de Europa occidental. Se indican las costas atlántica y mediterránea, así como las principales islas de la zona.

Figura I.H Distribución del Índice de Arcillosidad



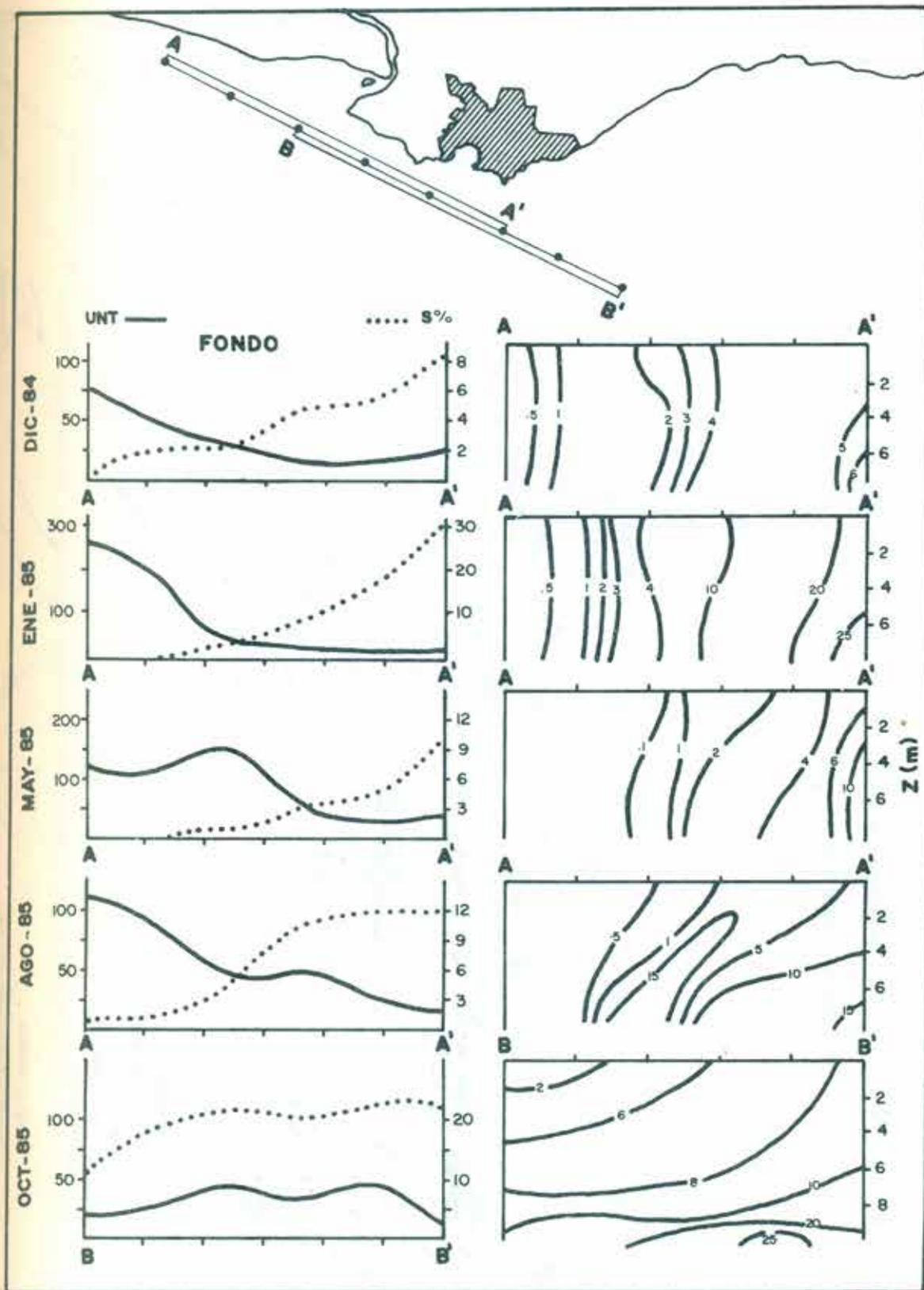


Figura I.13 Ubicación del límite de intrusión salina y la capa máxima de turbiedad. (Basado en cruceros oceanográficos del SOHMA)

Izquierda - Variación longitudinal de S‰ y UNT a 1.0 m del fondo.
 Derecha - Perfiles verticales de salinidad.

Figura I.14 Direcciones de transporte sobre la base del seguimiento de las modas elementales.
 (Tomado de Parker et al., 1986)

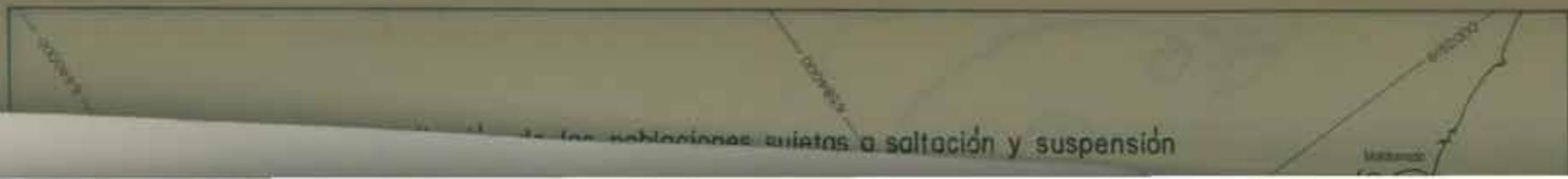
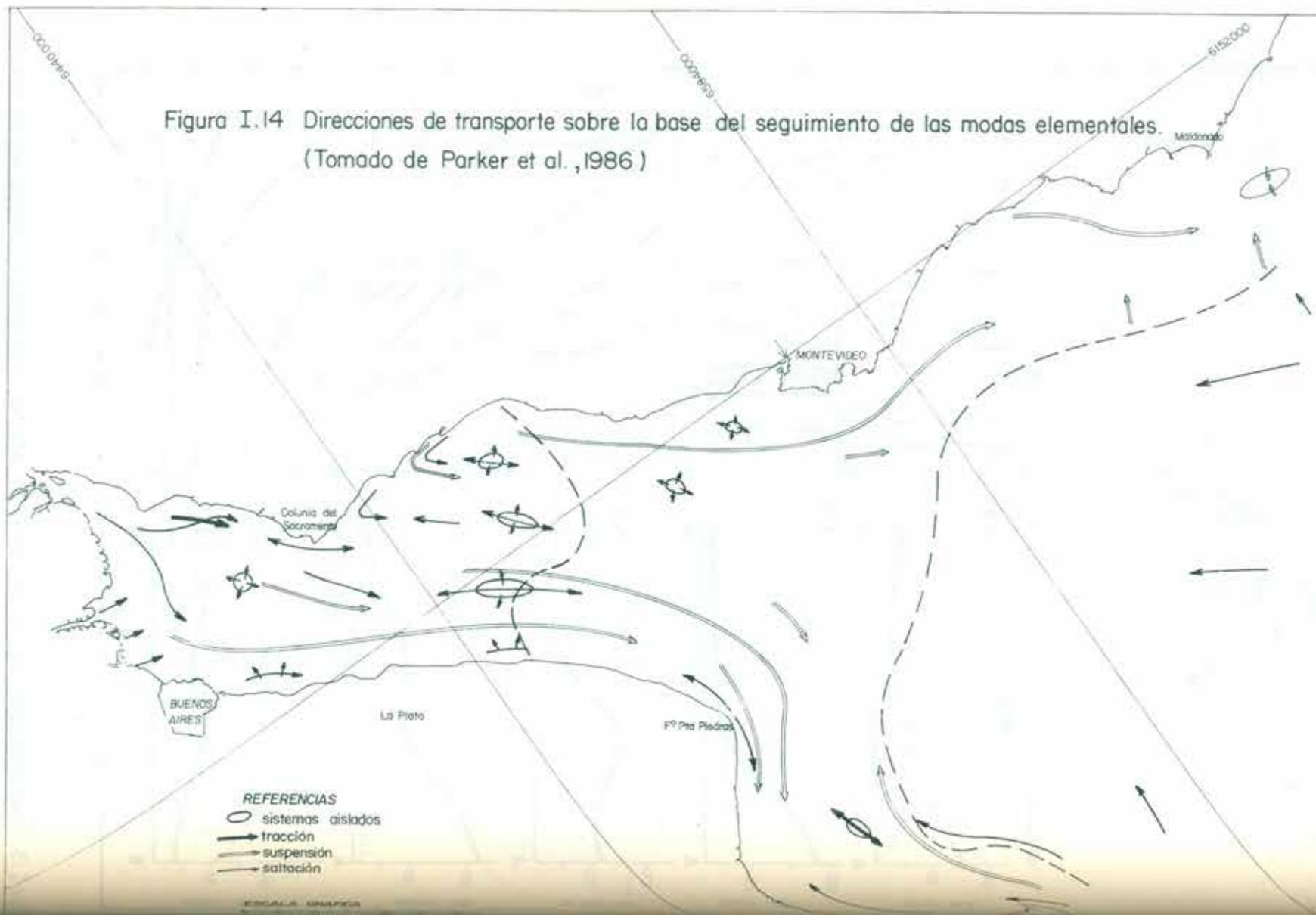
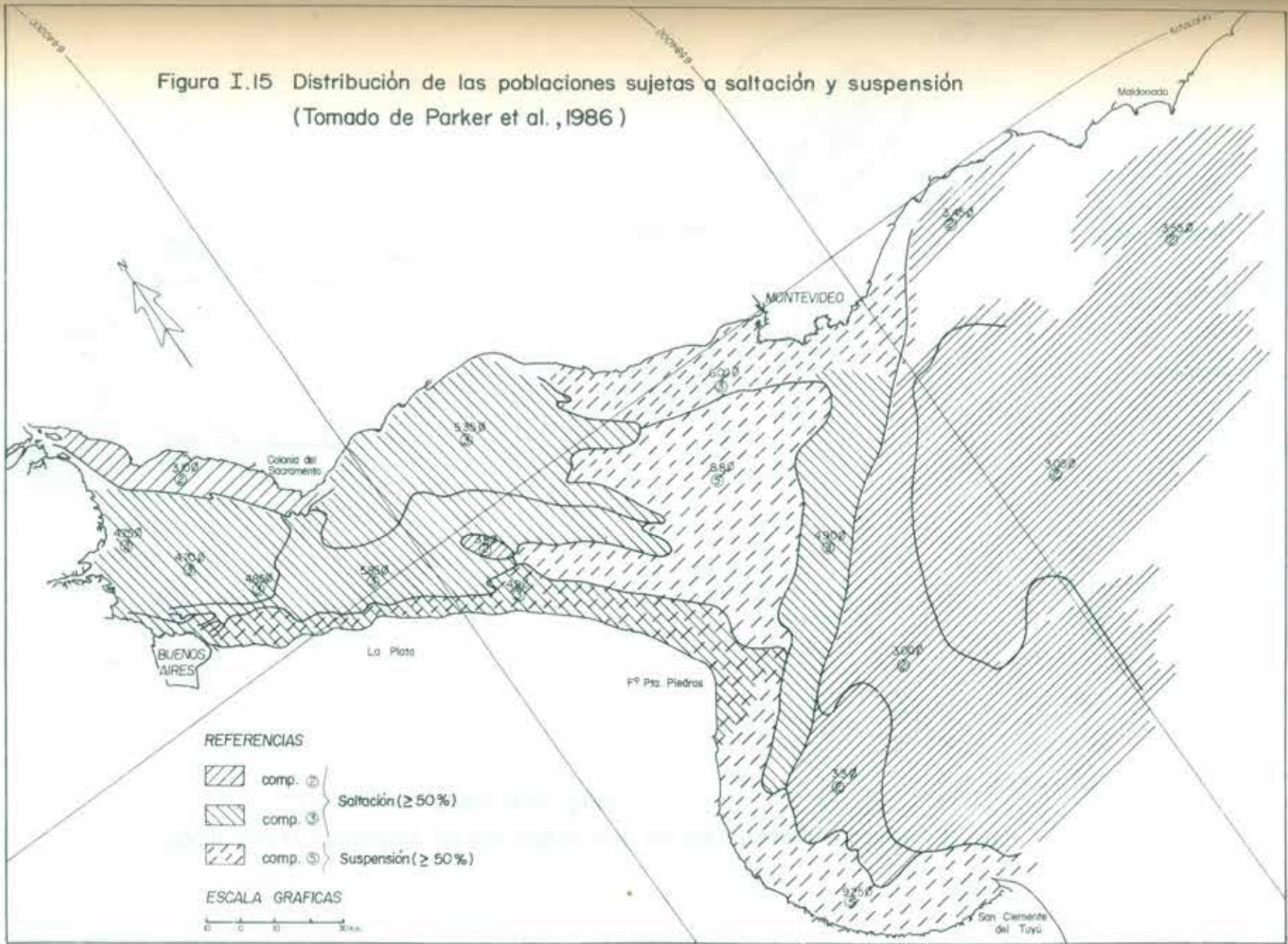




Figura I.15 Distribución de las poblaciones sujetas a saltación y suspensión
(Tomado de Parker et al., 1986)



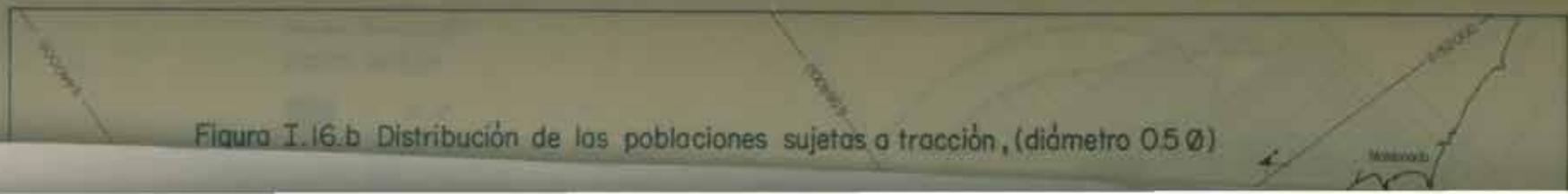
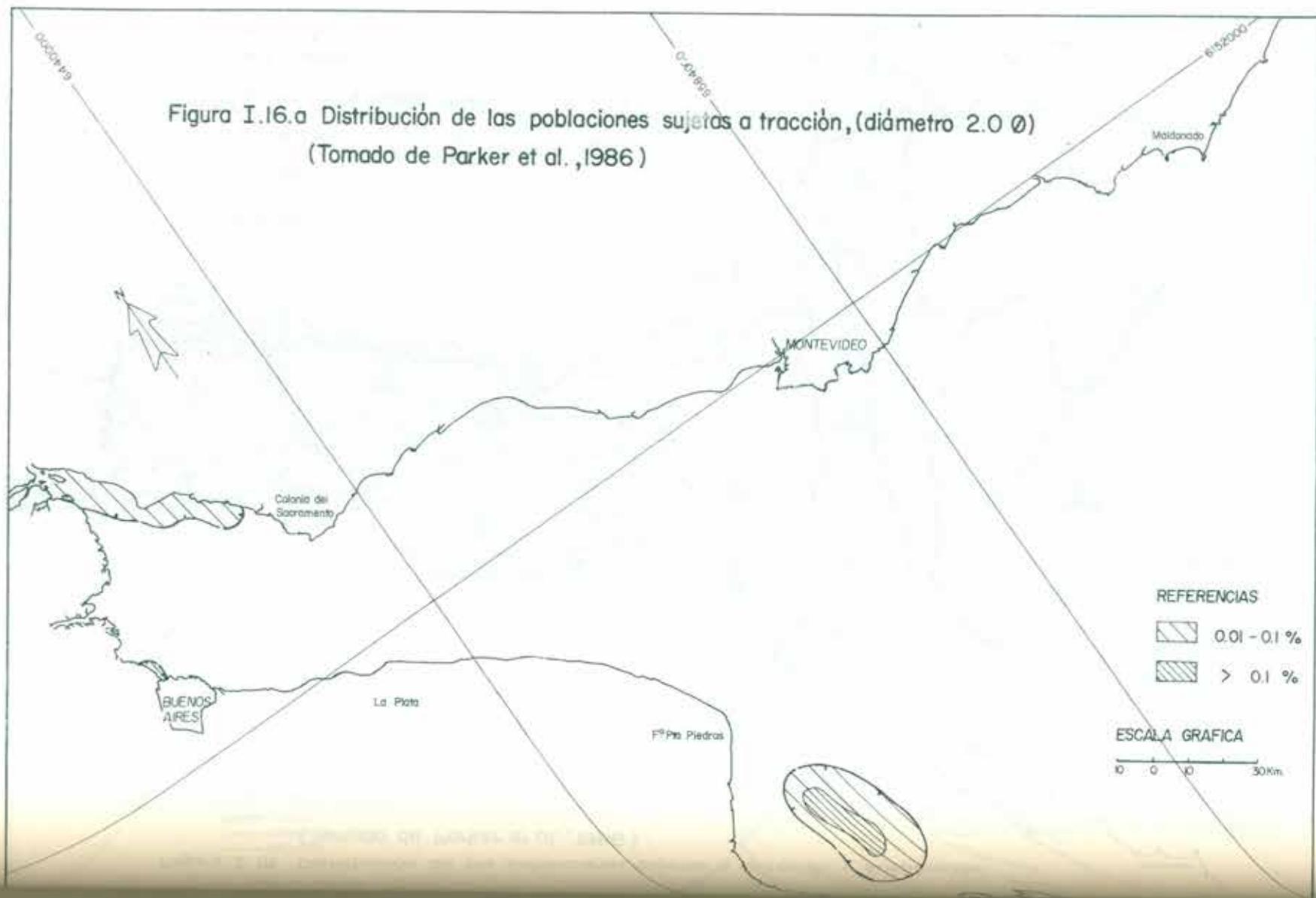
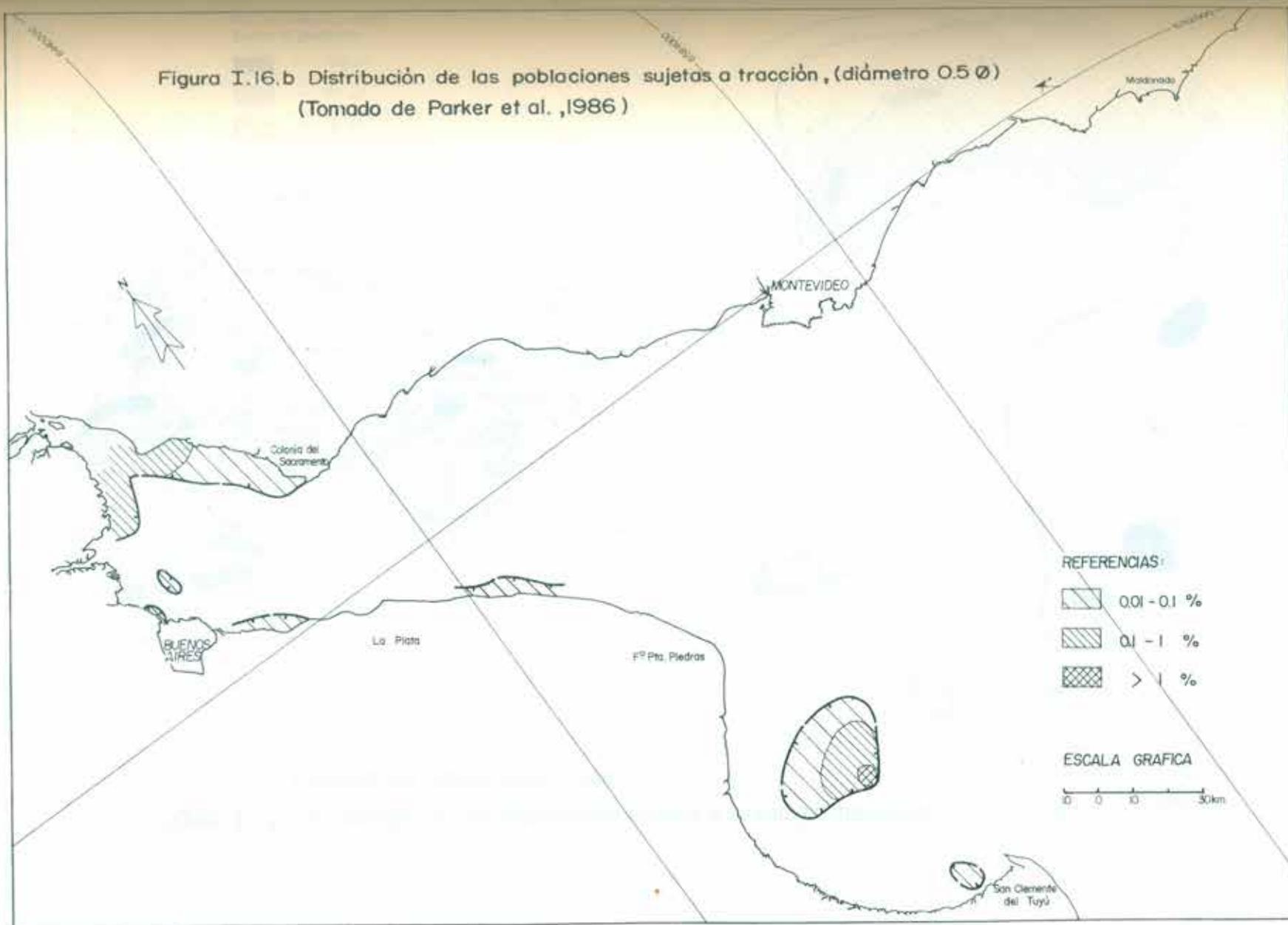


Figura I.16.b Distribución de las poblaciones sujetas a tracción, (diámetro 0.5 Ø)
(Tomado de Parker et al. ,1986)



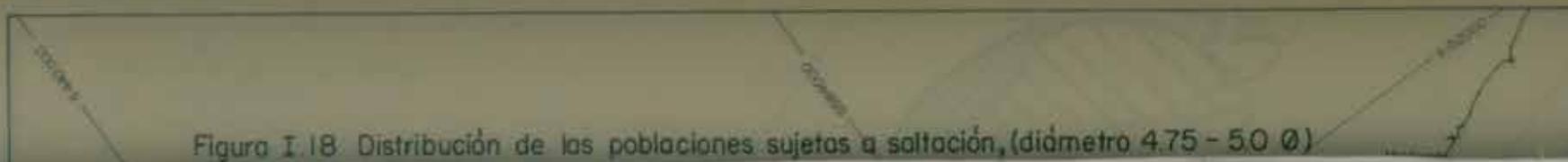
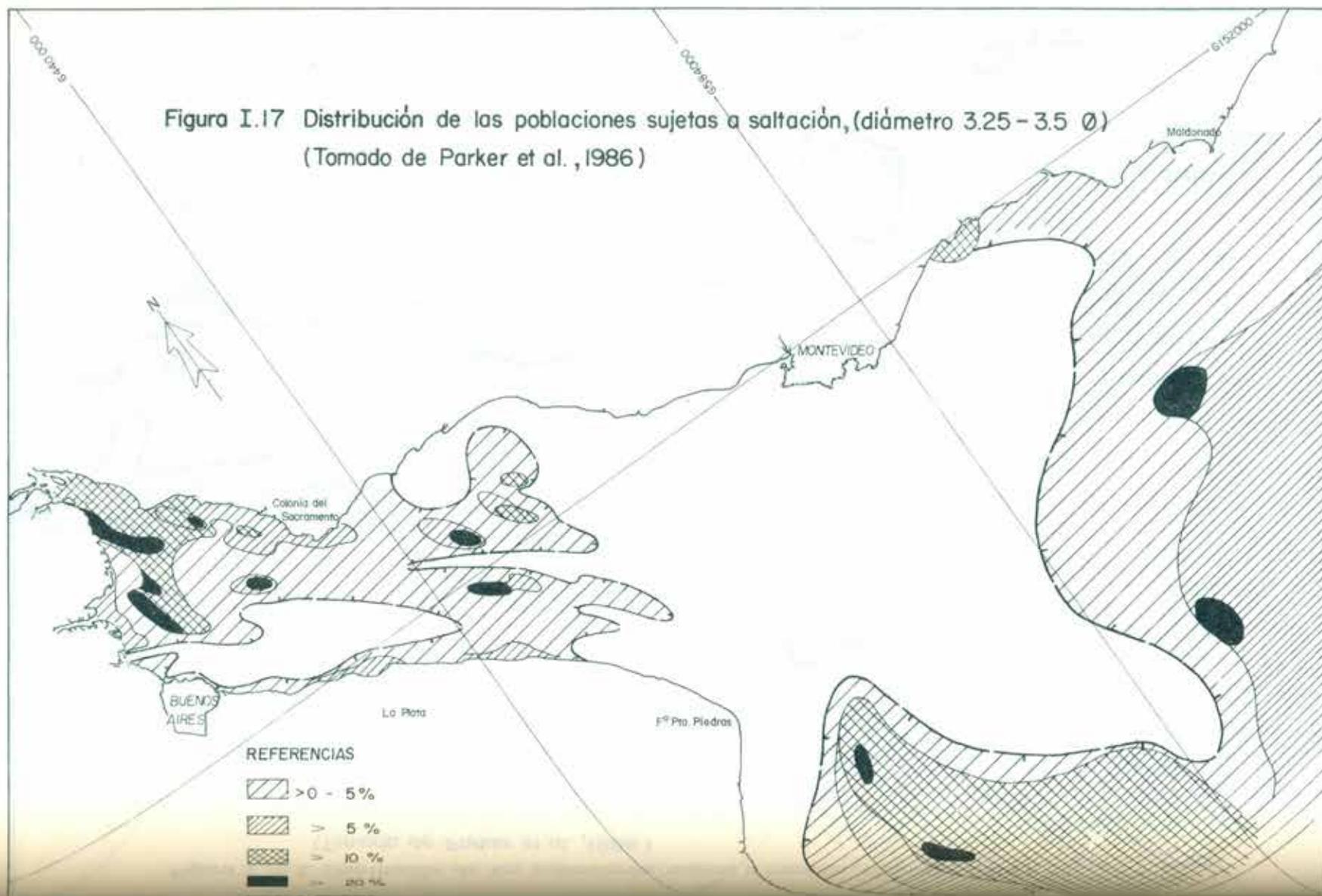
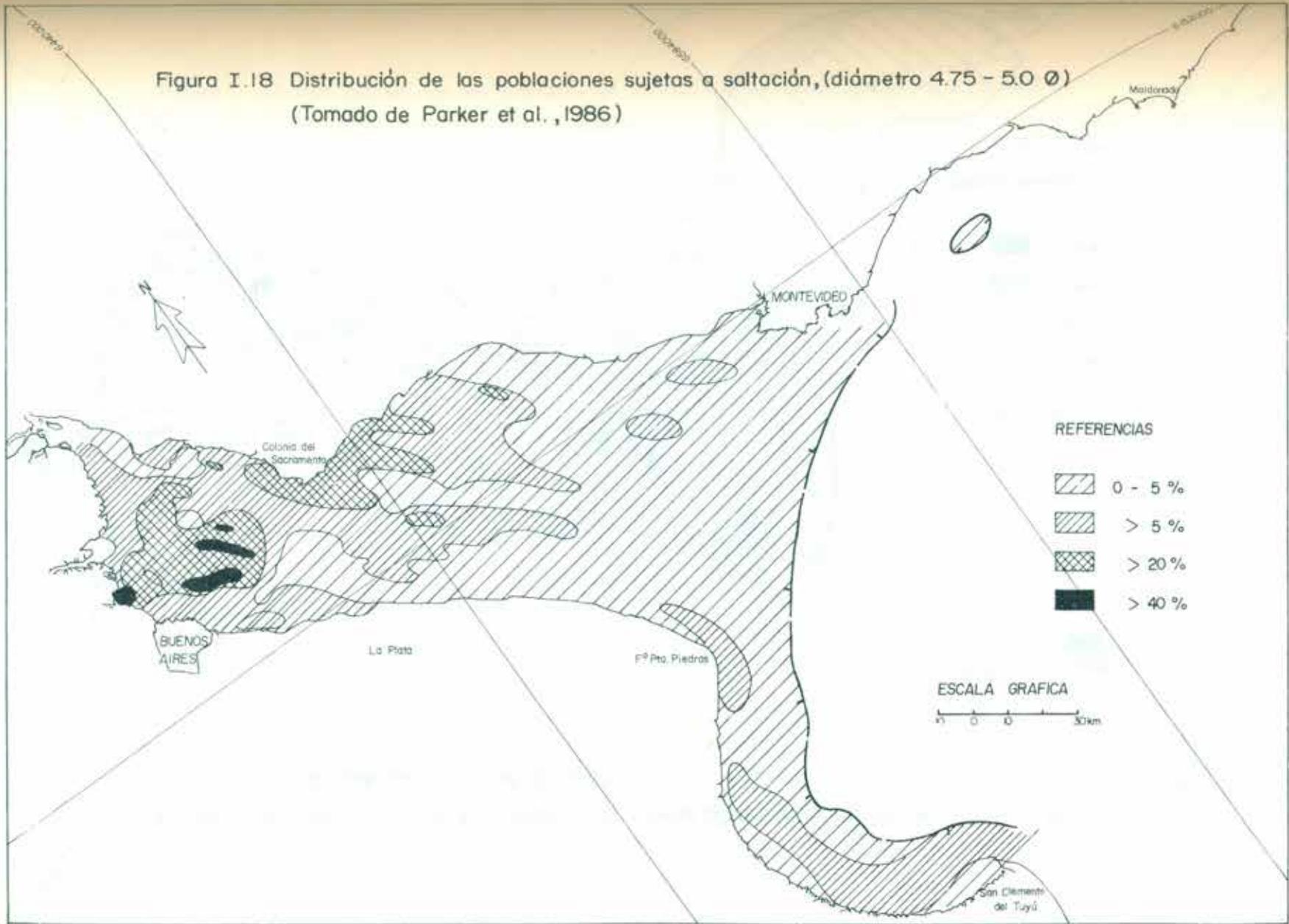
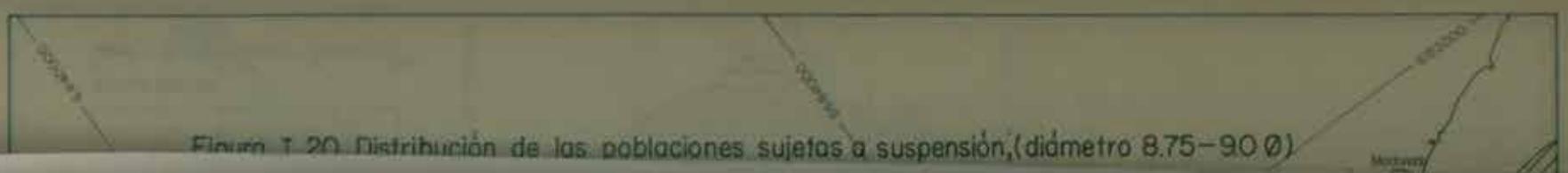
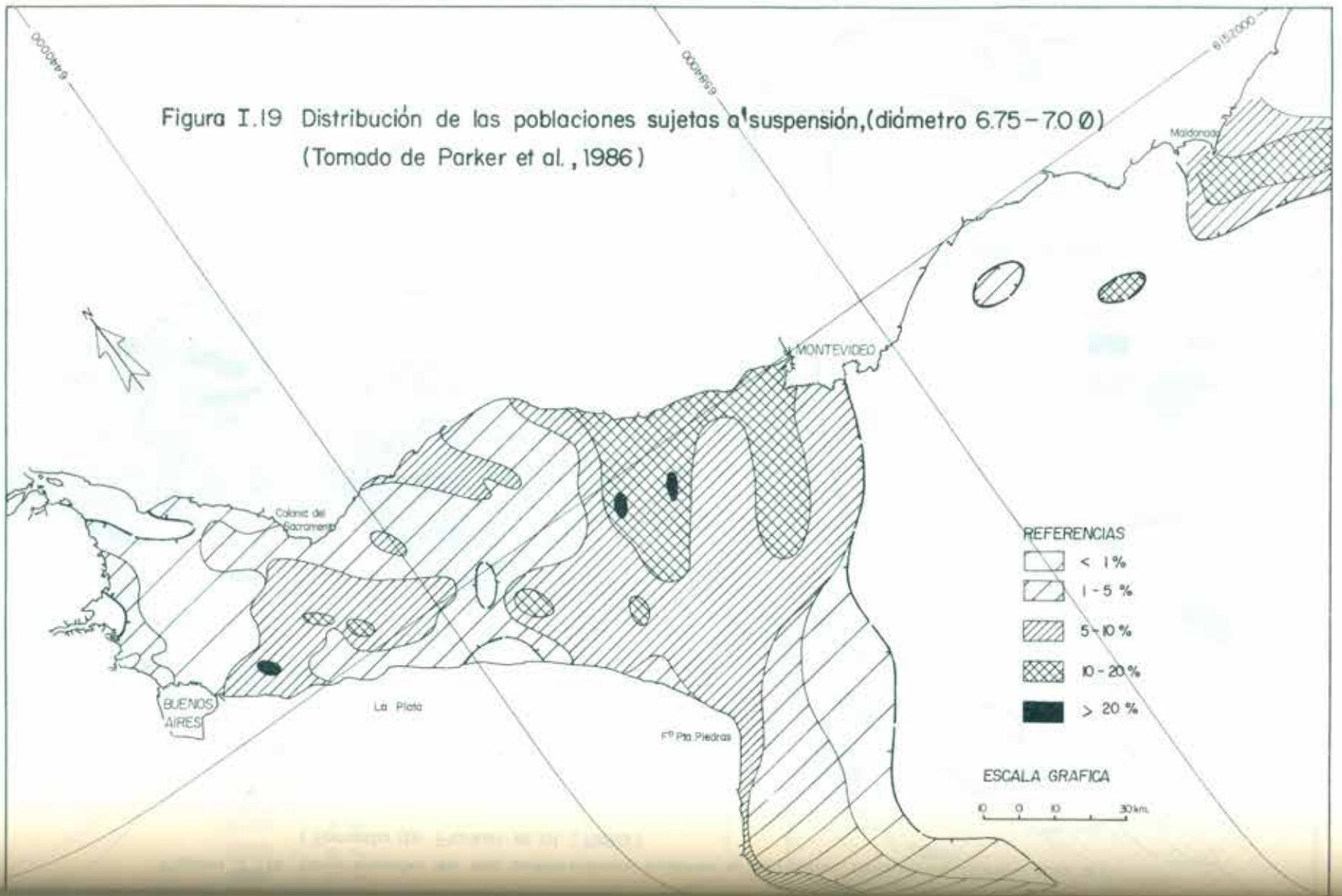




Figura I.18 Distribución de las poblaciones sujetas a saltación, (diámetro 4.75 - 5.0 Ø)
 (Tomado de Parker et al., 1986)





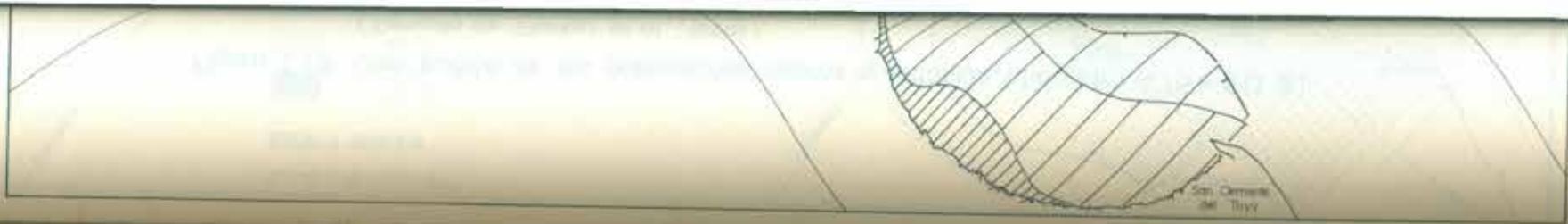
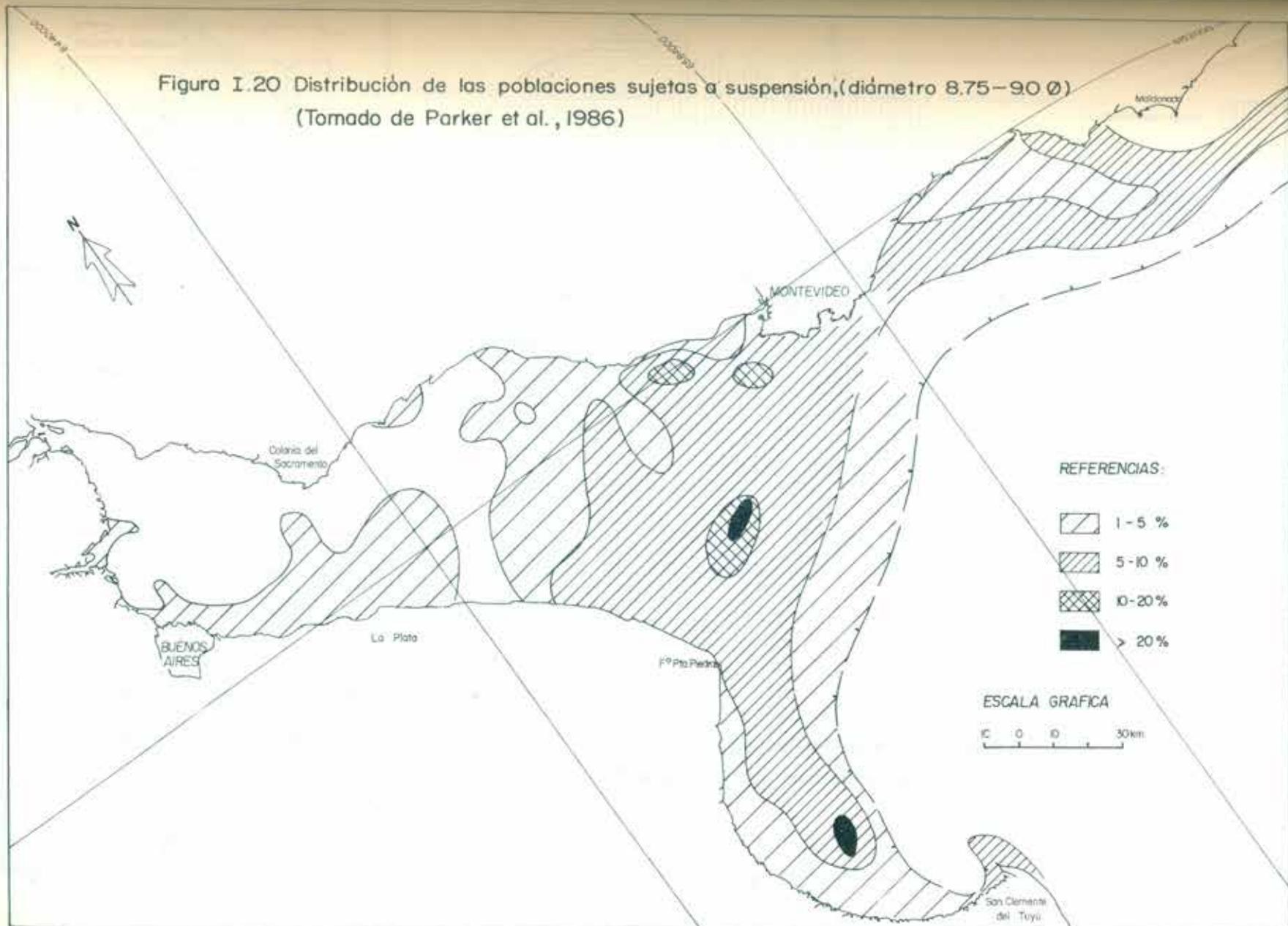
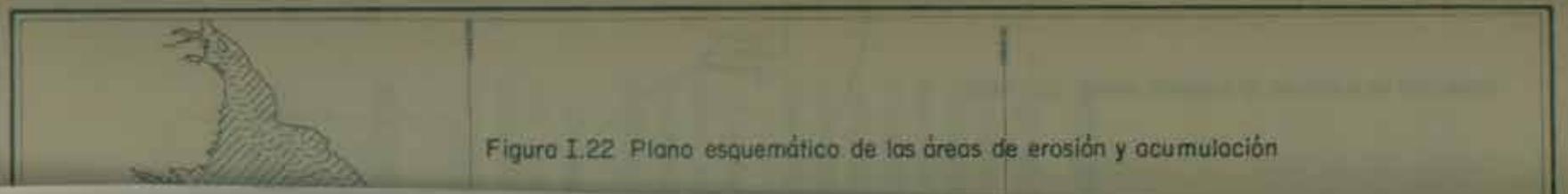
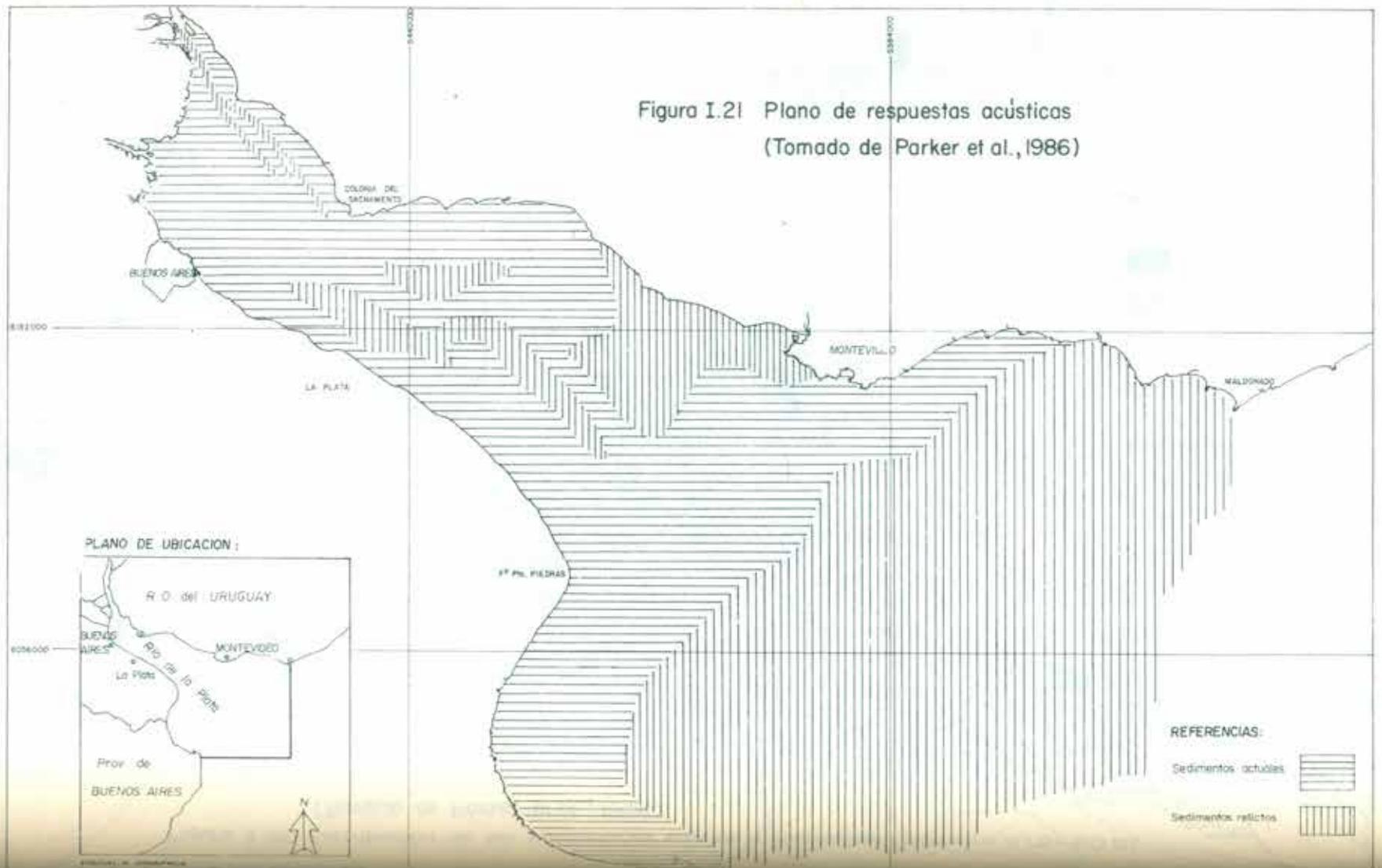


Figura I.20 Distribución de las poblaciones sujetas a suspensión, (diámetro 8.75-90 Ø)
 (Tomado de Parker et al., 1986)



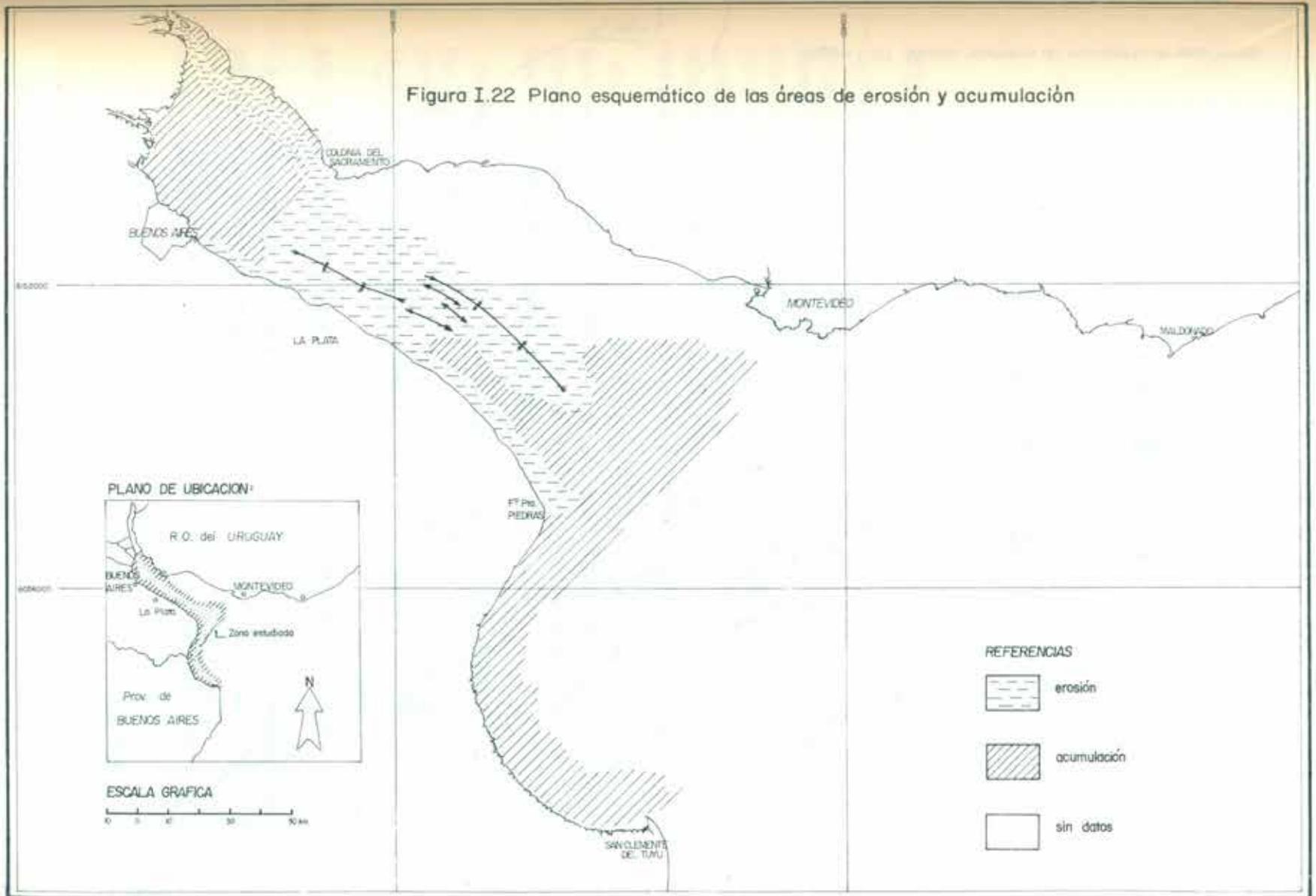


ESCALA GRAFICA



SAN CLEMENTE
DEL TURY

Figura I.22 Plano esquemático de las áreas de erosión y acumulación



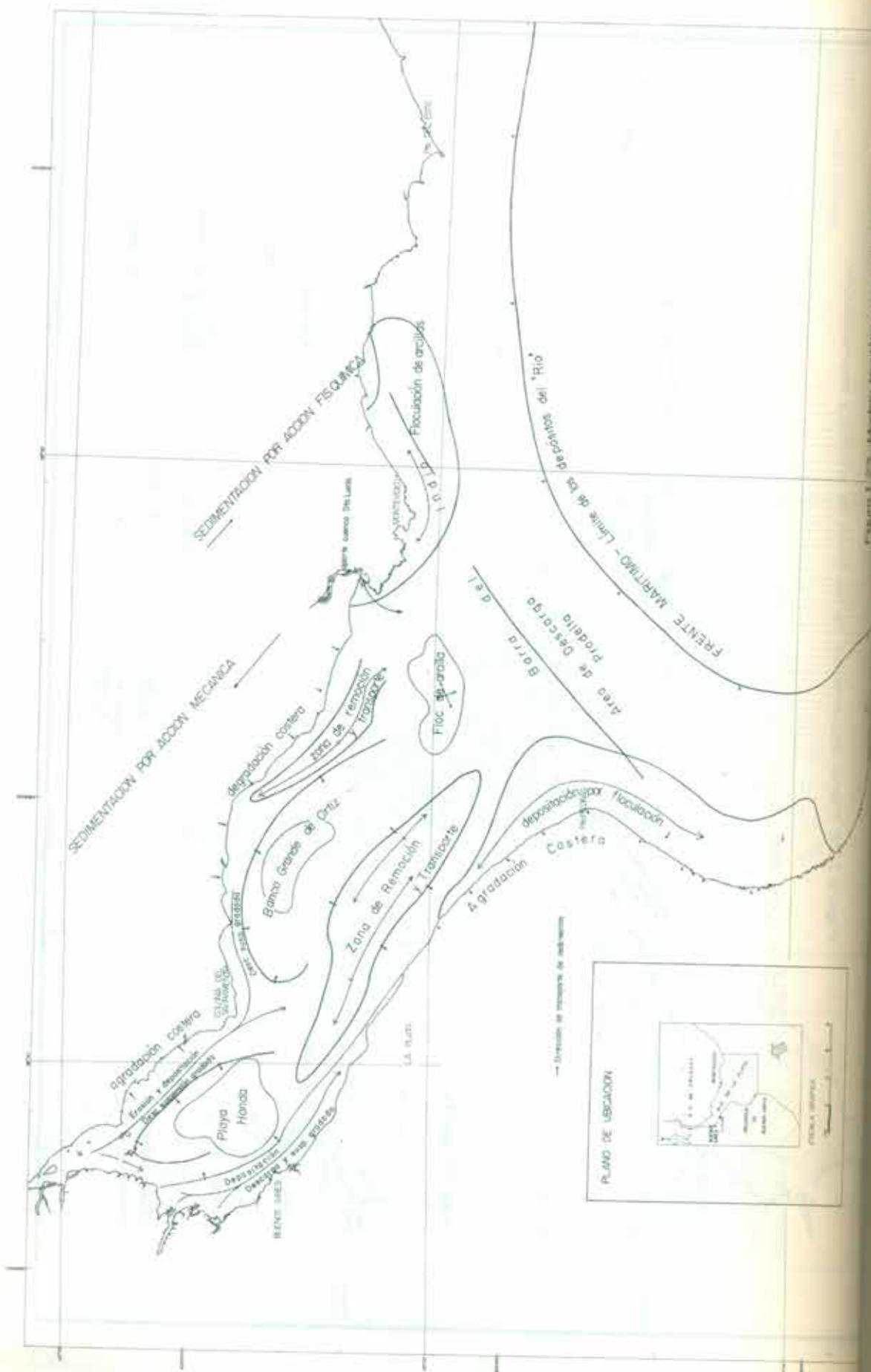


Figura 1. Sedimentación física y mecánica en el río de Oriz.

INTRO

El "Es
proyecto
Dinám
hidrodin
Física (S
campana
informac
conclusi

Conse
tarea, m
fenómen
esperabl

Es así
tres aspe
corriente
los rasgo

SECCIO

A los
gráfica, l
informac
interpret

CAPITULO II

ASPECTOS FISICOS

INTRODUCCION

El "Estudio para la Evaluación de la Contaminación en el Río de la Plata" es un proyecto organizado en dos áreas principales, a saber : Química Marina General y Dinámica del Agua y de los Sedimentos. Dentro de esta última, se encargó el estudio hidrodinámico del río a la Secc. Oceanografía Costera (SIHN) y Div. Oceanografía Física (SOHMA), las que, mancomunadamente, planificaron y ejecutaron diversas campañas de mediciones (corrientes y mareas), realizaron la recopilación de información atinente, su procesamiento y análisis, y, por último, elaboraron las conclusiones emergentes enfocadas a la problemática de la contaminación.

Consecuentemente este Capítulo contiene los rasgos más destacados de dicha tarea, no totalmente desarrollada al presente, indicándose asimismo aquellos fenómenos aún no estudiados, su encuadre teórico, las consecuencias dinámicas esperables y la metodología a aplicar.

Es así que los estudios relevantes en esta tarea cumplida, fueron enfocados hacia tres aspectos de significación primaria : el hidrológico, el mareológico y el de corrientes, los que, debidamente interrelacionados, permitieron dar una imagen de los rasgos distintivos de la circulación general de las aguas en el río.

SECCION 1.- ANALISIS DE LA INFORMACION HIDROLOGICA.

A los efectos de ser incluida como material de referencia, se presenta en forma gráfica, la información disponible sobre caudales de los ríos Paraná y Uruguay. Esta información, como se verá, es de valor relativo a los efectos de ser utilizada para la interpretación de la mayor parte de los resultados obtenidos durante el desarrollo

del Programa. Sin embargo, se considera que su conocimiento reviste interés, en la medida en que se constituye en el único juego de datos manejable hasta el momento, sobre el tema.

Se efectúa un comentario general, y se consideran algunas alternativas y necesidades de información al respecto, que es deseable sean previstas en el desarrollo futuro del programa de investigación.

1.1.- Información analizada.

La información de caudales y niveles de agua que se consideran comprende la obtenida en seis estaciones de observación, ubicadas cuatro en el río Paraná (Corrientes, Rosario, Posadas y Paraná) y dos en el río Uruguay (Hervidero y Concordia). (ANUARIO HIDROGRAFICO - REP. ARGENTINA).

Esta información (ANUARIO HIDROGRAFICO) se distribuye por estación de la siguiente forma :

Estación Rosario

Caudales medios mensuales para el período 1884-1975.

Caudales medios diarios, mensuales, estacionales y anuales para el período 1960-1980 (sin datos para los años 1966 y 1967).

Niveles de agua medios mensuales y anuales para el período 1960-1980 (sin datos para los años 1966 y 1967).

Estación Corrientes

Caudales medios mensuales para el período 1901-1975.

Caudales medios diarios, mensuales, estacionales y anuales para el período 1960-1980 (sin datos para los años 1966 y 1967)

Niveles de agua medios mensuales y anuales para el período 1960-1980 (sin datos para los años 1966 y 1967).

Estación I

Caudale

Estación I

Caudale

Estación C

Caudale

Estación I

Caudale

Caudale

1960-1980

Niveles

para los añ

A los efe

de caudale

se elaboró

Fig. II.1

Figs. II.2

Figs. II.

Figs. II.

de regresi

Figs. II.

primavera

Figs. II.

Estación Paraná

Caudales medios mensuales para el período 1901-1975.

Estación Posadas

Caudales medios mensuales para el período 1901-1975.

Estación Concordia

Caudales medios mensuales para el período 1898-1975.

Estación Hervidero

Caudales medios mensuales para el período 1916-1975.

Caudales medios diarios, mensuales, estacionales y anuales para el período 1960-1980 (sin datos para los años 1966 y 1967).

Niveles de agua : medias mensuales y anuales para el período 1960-1980 (sin datos para los años 1966 y 1967).

A los efectos de visualizar tendencias y comportamientos generales en el régimen de caudales para las estaciones más importantes (Rosario, Corrientes y Hervidero), se elaboró un grupo de gráficos, de la siguiente manera :

Fig. II.1 - Caudal medio anual.

Figs. II.2, 3 y 4 - Caudales medios anuales con inclusión de la tendencia lineal.

Figs. II.5, 6 y 7 - Niveles medios anuales con inclusión de la tendencia lineal.

Figs. II.8, 9 y 10 - Caudales vs. niveles (medias anuales), con inclusión de la recta de regresión lineal.

Figs. II.11, 12, 13 y 14 - Caudales medios anuales para otoño, invierno, verano y primavera, corregidos por la tendencia anual.

Figs. II.15, 16 y 17 - Caudales medios estacionales, corregidos por la tendencia anual.

Fig. II.19 - Histograma de caudales para las estaciones Rosario y Hervidero.

1.2.- Resultados.

La variación interanual de caudales y niveles medios para las estaciones de Corrientes, Rosario y Hervidero, muestran una gran dispersión. A los efectos de visualizar algún tipo de tendencia en los datos, se presentan las series correspondientes y, superpuestas, la recta de regresión lineal. Se observa una tendencia general al aumento de los caudales en las tres estaciones consideradas, pero esto no quiere decir que el comportamiento de esta variable pueda ser descrito por una ecuación del tipo lineal. Las variaciones irregulares que se observan estarán relacionadas más bien con cambios climatológicos, fundamentalmente en el régimen de lluvias, y estos procesos presentarían normalmente fluctuaciones de largo período que no es posible analizar aquí. Probablemente a este hecho deba sumarse la variación introducida por la puesta en funcionamiento de obras de represamiento.

La relación caudales-nivel medio para las estaciones consideradas es claramente lineal.

Las estaciones de Corrientes y Rosario muestran un comportamiento similar. El caudal de Hervidero es menor y al mismo tiempo, las fluctuaciones son menos acentuadas.

En el año 1972 se presenta un pico máximo en los meses de invierno y primavera, el cual ha sido precedido por un año donde los caudales han sido menores. Este tipo de variaciones podría estar asociado a cambios climatológicos de largo período o del tipo irregular, a gran escala, probablemente relacionados con el ENSO (El Niño - Southern Oscillation). Sin embargo, los datos disponibles son insuficientes a nivel regional como para aclarar esta cuestión.

Debido a que el período cubierto por la información de caudales disponible es anterior al período de observaciones hidrológicas cubierto en el Proyecto, no ha sido posible efectuar algún tipo de análisis que permitiera relacionar la magnitud de los caudales aportados al Río de la Plata con procesos de circulación específicos. Fueron considerados otros antecedentes en busca de datos hidrológicos correspondientes al Río de la Plata, que cubrieran el período de tiempo apropiado.

a los efectos
fluvial.

En primer
salinidad
de agua
reflejado
o en la sa
verificar
entre val
medios
(Montev
desde 19
meses
datos se

Los an
medidos
correlac
(Fig. II.1
analizad
contribu
especial
costera,
establec
monitor
afectada

Por ot
sin dudi
Plata, si

Resul
pueden
mecani
existent
media
embarg
predict

a los efectos de constatar el grado de relación existente entre los mismos y la descarga fluvial.

En principio, debería esperarse una correlación entre las series temporales de salinidad media y los volúmenes de descarga. Es lógico esperar que a mayor cantidad de agua dulce aportada, el grado de dilución del agua marina aumente, y eso se vería reflejado en planos sucesivos de distribución de isolíneas de salinidad promediada, o en la salinidad promedio obtenida en una o varias estaciones fijas. A los efectos de verificar esta hipótesis, se calcularon los parámetros de una recta de regresión lineal entre valores medios mensuales de caudales para la Estación Hervidero y valores medios mensuales de salinidad costera obtenidos en la estación de Punta Brava (Montevideo). La información analizada en este sentido cubrió un amplio período, desde 1968 a 1980, pero debido a que solamente podían ser considerados aquellos meses en los que se contaba con información para ambas variables, el número de datos se redujo a 31.

Los análisis efectuados muestran una relación inversa entre volúmenes de descarga medidos y los valores de salinidad para la costa de Montevideo. Los valores de correlación calculados (.5248) y el desvío estándar del error de la estimación (4.683) (Fig.II.18), indican que la variación en los valores de salinidad costera para la estación analizada no puede ser explicada únicamente por los volúmenes de descarga del contribuyente fluvial considerado. Evidentemente existen numerosos factores, en especial las características locales de la circulación en la posición de la estación costera, que deben ser tomados en cuenta. Este hecho determina que en el establecimiento de estaciones de medición de salinidad en la costa, con fines de monitoreo, debería procurarse que las posiciones de observación estén lo menos afectadas posible por las condiciones de circulación locales.

Por otra parte, el desarrollo de obras de represamiento posteriores a este período, sin duda han modificado las características del flujo de agua dulce en el Río de la Plata, sumado a una tendencia natural que se verifica en los datos.

Resumiendo, del análisis efectuado de la información hidrológica disponible no se pueden extraer conclusiones específicas utilizables para la cuantificación de los mecanismos de circulación en el Río de la Plata, a excepción de corroborar la existencia de una relación inversa entre los volúmenes de descarga y la salinidad media en la costa norte del río. Los parámetros de esta relación no pueden, sin embargo, ser tomados como una descripción suficientemente general o de valor predictivo, ya que los valores de salinidad medidos son altamente dependientes de

las condiciones locales de circulación y no sólo de la variación en los volúmenes de descarga.

No obstante, debe considerarse para el desarrollo de futuros estudios la necesidad de una base de información hidrológica más completa y precisa.

Se debe en este sentido procurar una actualización de la información de caudales, considerando una posible variación en su régimen, provocada por cambios climáticos y nuevas obras de represamiento.

Por las mismas razones debe considerarse la utilización de la información climatológica para las cuencas involucradas.

A los efectos de analizar la influencia del régimen de caudales sería adecuado instrumentar un programa de monitoreo de corrientes en posiciones significativas del Río de la Plata Superior o Interior y Medio o Intermedio, con medición de salinidad especialmente en las estaciones ubicadas en el Río de la Plata Medio o Intermedio.

Si se establece una comparación entre los caudales correspondientes a las dos estaciones de registro del Río Paraná, Corrientes y Rosario, durante el lapso estudiado (1960/80), puede apreciarse valores ligeramente más altos en la primera que en la segunda, ya sea tanto en los valores medios anuales (aproximadamente 17000 y 15400 m³/s, respectivamente) como en los valores máximos (26000 vs. 22000 m³/s), mientras que los mínimos son similares (8000 m³/s). Pero como las fluctuaciones del promedio de las medias anuales son relativamente grandes (700 y 550 m³/s, respectivamente) no puede concluirse que la situación hidrológica entre las mismas sea diferente.

En cambio, los caudales aportados al Río de la Plata por el Río Paraná y el Río Uruguay son significativamente diferentes. La estación Hervidero correspondiente al último mencionado tiene un valor medio anual de 4700 m³/s, un valor máximo de 14.300 y un mínimo de 800 m³/s, sustancialmente menores a los obtenidos para el Río Paraná. Asimismo, las fluctuaciones porcentuales del promedio son mucho más altas (9 % en el Río Uruguay, 4 % en el Río Paraná), indicando un régimen hidrológico de características algo distintas entre ambos.

Esta última afirmación está fundamentada más fuertemente al analizar los valores medios y extremos en forma estacional. Respecto de los valores medios,

puede decirse (marcadamente en otoño en el Río Uruguay) menores se la primavera mayores fluctuaciones en el Río Uruguay segundo los resultados obtenidos al atiborrar a

De lo anterior al Río de la Plata en principio, el caudal corriente en cuatro estaciones con fluctuaciones concluiremos Uruguay e haciendo Consecuentemente del promedio a cualquier

Por último se organizó (O), 70 e frecuencia que el ran y un máximo que es mi para los 4 significación existente χ^2 , siendo

puede decirse que el Río Paraná tiene caudales mayores durante el verano (marcadamente en Corrientes con $20500 \text{ m}^3/\text{s}$, desplazándose temporalmente hacia otoño en Rosario, pues aquí, para ambas V-O, es de $16500 \text{ m}^3/\text{s}$) mientras que en el río Uruguay ocurre en invierno ($6500 \text{ m}^3/\text{s}$ en Hervidero). Inversamente, los caudales menores se presentan en invierno en el Río Paraná ($14000 \text{ m}^3/\text{s}$, con tendencia hacia la primavera en Rosario) y en verano en el Uruguay ($3500 \text{ m}^3/\text{s}$) aunque con las mayores fluctuaciones detectadas (17%). Es de notar también que en el Río Paraná, las fluctuaciones estacionales del promedio son marcadamente inferiores a las del Río Uruguay: para el primer caso siempre son menores al 6% mientras que en el segundo son mayores al 11%. Del estudio de los valores estacionales se obtienen resultados absolutamente equivalentes a los dados, pero no se detallan a fin de no atiborrar al lector con información estadística.

De lo antedicho puede inducirse que a fin de dar el caudal de agua dulce aportado al Río de la Plata por sus dos principales afluentes, se deberá tener en cuenta, en principio, las características estacionales. Para tal efecto, se sumaron los registros de caudal correspondientes a Rosario y a Hervidero, obteniéndose para cada una de las cuatro estaciones del año valores medios muy similares (entre 19500 y $20500 \text{ m}^3/\text{s}$), con fluctuaciones del orden del 5% siendo mayores en invierno. Por tanto, puede concluirse que a pesar de que el aporte del Paraná es significativo en verano y del Uruguay en invierno, el efecto común sobre el Río de la Plata es compensatorio, haciendo que el caudal recibido sea aproximadamente constante durante todo el año. Consecuentemente, el valor medio total obtenido ($19900 \text{ m}^3/\text{s}$) con una fluctuación del promedio de 2.8% puede considerarse representativo de dicho caudal y aplicable a cualquier época.

Por último, y con el objeto de tener en cuenta las variaciones de carácter estacional, se organizaron los caudales medidos (Rosario más Hervidero) por estación del año (Q), 70 en total, en forma de histograma, con 7 intervalos de clase, dándose la frecuencia relativa porcentual (f%) para cada uno de ellos (Fig.II.19). Se encontró que el rango estaba comprendido entre un valor mínimo de $10800 \text{ m}^3/\text{s}$ (en invierno) y un máximo de $30600 \text{ m}^3/\text{s}$ (en otoño). Se verificó mediante un test de chi-cuadrado que es muy aceptable el ajuste a una distribución normal ($\sigma = 4700 \text{ m}^3/\text{s}$). En efecto, para los 4 grados de libertad disponibles y admitiendo hipótesis nula con un nivel de significación de 0.05, se obtuvo el valor de 4.81 como medida de la discrepancia existente entre las frecuencias observadas y esperadas suministrada por el estadístico χ^2 , siendo el valor crítico $\chi^2_{0.95} = 9.49$

SECCION 2.- MAREAS EN EL RIO DE LA PLATA.

2.1.- Configuración mareológica para el Río de la Plata.

Con el objeto de brindar un panorama del aspecto mareológico del Río de la Plata, se recurrió a los estudios realizados por la Sección Mareas, así como a los de la Sección Oceanografía Costera del Servicio de Hidrografía Naval. En particular se utilizaron las constantes armónicas de las principales componentes de marea resultado de los análisis armónicos de los lugares en los que se disponía de un registro largo y confiable. Dichos lugares seleccionados son 11 en total y en la Tabla II.1 se da su ubicación geográfica. Como puede apreciarse, casi todos son de carácter costero, excepto dos (Torre Oyarvide y Pontón Recalada), lo que trae como consecuencia que el conocimiento mareológico del río en su zona central esté más limitado y, también, que las isolíneas que caracterizarán a la marea (isoamplitudes y cotidales) deban ajustarse a fin de "filtrar" sus rasgos locales.

Las componentes relevantes seleccionadas fueron cinco, tres semidiurnas (M_2 , S_2 y N_2) y dos diurnas (K_1 y O_1), cuyas constantes armónicas están indicadas en las Tablas II.2 a II.6. En las mismas se utiliza como época la que está referida a Greenwich (señalada como G , ver Schureman, 1958), a fin de poder comparar distintos lugares de la zona en estudio.

2.1.1.- Cartas mareológicas.

En las Fig. II.20 a II.24, se presentan las configuraciones de las líneas de isoamplitud y cotidales para cada una de las componentes de marea mencionadas para el Río de la Plata.

En los puntos unidos por la curva de isoamplitud, la amplitud de la componente considerada (máxima elongación contada a partir de la posición central de equilibrio de la función armónica) será la indicada, o equivalentemente, la mitad de la amplitud de marea de tal componente (diferencia entre su máximo y su mínimo). En las figuras citadas se han tomado curvas de isoamplitud separadas cada 2 cm (en el caso de la M_2 cada 5 cm).

Como línea cotidal se ha tomado aquella que une puntos de igual fase para la componente correspondiente y en las figuras están espaciadas cada 20 grados.

Como es obvio no vinculado análisis tipo superior del Greenwich

Ejemplific

$\eta_i = H_i \cos$

(ver Vara y

η_i la contri

H_i la ampli

σ_i la veloci

t_i el tiempo m
culminació

G_i la fase d

Por lo tant

$\eta_T = H$

con

$H_0 =$ el ni

$N =$ el m
vinc

Como es obvio, cada componente "marchará" temporalmente con su "propio reloj", no vinculado con el de las otras componentes (consecuencia de la metodología de análisis tipo armónico). Se ha tomado como referencia temporal la culminación superior del astro ficticio asociado a la componente al pasar por el meridiano de Greenwich (época G).

Ejemplificando, la componente "i" puede expresarse de la siguiente forma :

$$\eta_i = H_i \cos (\sigma_i t_i - G_i)$$

(ver Vara y Mazio, 1981; y Mazio y Vara, 1981), siendo :

η_i la contribución de la componente i a la altura total de la marea

H_i la amplitud de la componente i

σ_i la velocidad angular de la componente i medida con su propio reloj

t_i el tiempo medido con el reloj de la componente i, siendo $t_i = 0$ el instante de la culminación superior en Greenwich del astro ficticio asociado

G_i la fase de la componente i para $t_i = 0$

Por lo tanto, la altura de la marea será :

$$\eta_T = H_0 + \sum_{i=1}^N \eta_i$$

con

H_0 = el nivel medio referido al plano de reducción del lugar

N = el número total de las componentes de marea consideradas, cada una no vinculada con las otras

deduciéndose de extremos de dicha función las pleamares y bajamares correspondientes, siempre y cuando se use una única referencia temporal y un solo reloj (de allí la necesidad de confeccionar Tablas de Marea año a año).

Las isoamplitudes para la componente i serán curvas en las que $H_i = \text{constante}$ y las de cotidales, según lo descripto, tendrán $G_i = \text{constante}$. Si se deseasen líneas cotidales expresadas con magnitud tiempo, bastará dividir G_i por σ_i .

Deberá aclararse que, aunque las H_i varían con el tiempo, lo hacen lentamente y con variaciones pequeñas; consecuentemente, y a los fines del estudio dinámico, se las ha supuesto constantes. La misma consideración debe hacerse respecto a las fases. Dichas correcciones son función de la longitud del nodo lunar.

2.1.2.- Dinámica mareológica.

Para describir los rasgos generales de la dinámica de la marea en el Río de la Plata, se deberá centrar el estudio especialmente en la configuración de las isólinas de la componente lunar principal M_2 , pues ella contiene más del 80% de la energía total de la marea, deducible de los análisis espectrales correspondientes, que brindan la distribución de la energía en función de la frecuencia.

En consecuencia, y remitiéndose a la Fig. II.20, debe señalarse, en primer lugar, la falta de detalle existente en la desembocadura del río, que por ser suficientemente ancha, crea la necesidad de obtener mediciones, cuya ejecución prevé en una etapa futura.

Sin embargo, puede apreciarse que las cotidales van incrementando su variación bastante uniformemente desde la desembocadura hacia el delta, lo que equivale físicamente a que la onda de marea se introduce en el río desde la plataforma continental siguiendo, en forma aproximada, la dirección de la descarga. Además, efectuando la diferencia entre las cotidales extremas y transformándola en función de tiempo, puede inferirse que dicha onda de marea tarda cerca de 12 horas en recorrer todo el río, trayendo como consecuencia, por la característica semidiurna del régimen pautado por la M_2 , situaciones simultáneas de pleamar y bajamar como dos pleas y una baja (o viceversa) para distintos lugares.

También puede observarse, por un lado, que tanto en la Bahía de Samborombón como en la línea Punta Piedras-Montevideo, las cotidales están mucho más

espaciales
rápidamente
argumento
río arriba
propagación

Respecto
uniformidad
las curvas
menores
onda se

Si se encuentra
del mayor
obtenido
isoamplitud
característico
de la primera

Asimismo
(1961) por
cartas por
hubiese
superior
propagación
variación
sus velocidades

Así y
las primeras
del cartograma
alturas

En términos
estas cosas
la Fig. 1

espaciadas que el resto, lo que implica que en dichas zonas la onda se propaga más rápidamente pues debe cubrir más espacio en igual tiempo. Por otra parte y con igual argumento, se nota en la parte media y superior del río que las cotidales se curvan río arriba en la zona de los canales de acceso, consecuencia lógica de que la onda se propaga más rápidamente si encuentra profundidades mayores.

Respecto a las isoamplitudes de la componente M_2 puede apreciarse un incremento uniforme de las mismas, desde la costa uruguaya hacia la argentina, siendo en general las curvas paralelas a la línea costera. Como a su vez el río tiene profundidades menores del lado argentino comparado con el uruguayo, puede concluirse que dicha onda se amplifica al "sentir" más el fondo.

Si se compara la carta de isolíneas dada por Balay (1961) y la presentada aquí, se encuentra que en rasgos generales ambas son similares; aunque debe notarse, además del mayor detalle brindado por esta última, consecuencia de un mejor conocimiento obtenido mediante las nuevas mediciones, que, por un lado, los valores de las isoamplitudes son menores y, por otro, las cotidales se "contornean" más según las características zonales regidas especialmente por la topografía del fondo, respecto de la primera carta.

Asimismo, y como un aporte adicional propio de este trabajo, ya que en el de Balay (1961) no fue tratado debido a la escasez de información señalada, se dan similares cartas para otras componentes de marea tales como la S_2 , N_2 , K_1 y O_1 . A pesar de que hubiese resultado de interés mostrar las configuraciones de isolíneas para armónicas superiores (por ejemplo, la M_4) por la acción generadora de la onda de marea propagándose en aguas someras, esto no fue posible, principalmente por la gran variación de los parámetros que las caracterizan, causados por el fuerte aumento de sus velocidades de fase.

Así y todo, el conocimiento de la dinámica de otras componentes semidiurnas y de las principales diurnas aportarán, entre otras cosas, a una comprensión más profunda del carácter de régimen de desigualdades diurnas de la marea (desigualdad en las alturas de las pleamares y bajamares) claramente manifestado en el Río de la Plata.

En términos generales puede decirse que las configuraciones de las isolíneas de esas componentes son parecidas a las de la M_2 , al comparar las Fig. II.21 a II.24 con la Fig. II.20, aunque existen particularidades propias que se detallan a continuación.

En primer lugar se visualiza la importancia desde el punto de vista energético de la componente N_2 respecto a la S_2 : si con el fin de un análisis se divide el río por la línea de descarga, se encuentra que del lado de la costa uruguaya la amplitud de la primera es, en promedio, el doble que la segunda, mientras que en el lado costero argentino esta diferencia es un poco más reducida (50 % en más).

También debe señalarse que a lo largo de todo el río cada una de las componentes semidiurnas estudiadas (M_2 , S_2 y N_2) se propagan como ondas que conservan las diferencias de fase relativas entre ellas, deducibles de las cotidales respectivas. Físicamente esto significa que las mismas tienen, por un lado, dirección y sentido de propagación similares y, por otro, que el medio les presenta condiciones mar parecidas, que hacen que unas no se retrasen o adelanten respecto a las otras.

Una situación distinta se plantea al analizar las componentes diurnas. Se manifiesta muy claramente la importancia de la O_1 respecto a la K_1 , con amplitudes comparables a las de la N_2 , ubicada en segundo lugar dentro de las semidiurnas, reafirmando el carácter mixto de la marea en el río e indicando que dicha característica queda pautada por tal componente.

También es remarcable la existencia de diferencias en la propagación de ambas, especialmente en el curso inferior, manifestada por la distinta orientación de las líneas cotidales. Por ejemplo, la onda armónica K_1 viaja más lentamente al acercarse a Montevideo y rápidamente en la Bahía de Samborombón, mientras que la O_1 lo hace más uniformemente.

Recordando que las componentes semidiurnas se propagan con alrededor de doble de velocidad que las diurnas, se aprecia que la onda diurna O_1 se retrasa respecto a la lunar principal M_2 al ingresar al río y especialmente cuando encuentra el abrupto angostamiento en la línea Punta Piedras-Montevideo. A partir de allí en su camino hacia el delta, mantiene las diferencias de fase relativas, indicando por un lado, un comportamiento del régimen de mareas similar en su curso superior y por otro, la necesidad de un estudio más pormenorizado en la parte inferior.

2.1.3.- Conclusiones.

El régimen mareológico del Río de la Plata es de carácter semidiurno, regido fundamentalmente por la componente lunar principal M_2 con influencia parcial de

otras componentes, fundamentalmente la N_2 y la O_1 . Esta última, integrante de la banda diurna, pauta el rasgo de desigualdades diurnas.

Aunque no se dispone todavía de información lo suficientemente amplia en el curso inferior para determinar las características de la propagación de la onda de marea al penetrar en su boca, no caben dudas respecto a que el fenómeno proviene desde mar afuera dirigiéndose hacia el delta. En dicho curso inferior ocurre el proceso de adaptación a la configuración geográfica de tipo fluvio-marino hasta la zona de Punta Piedras-Montevideo, donde se presenta un abrupto estrechamiento del río. A partir de allí y hasta el delta la onda se regulariza, queriéndose significar con ello que sus componentes fundamentales, producto de la descomposición armónica, conservan aproximadamente sus relaciones de amplitud y fase.

Por otra parte, y por la influencia de aguas bajas más acentuadas en el lado costero argentino que en el uruguayo, hay una marcada amplificación de la onda desde éste hacia aquél, adaptándose a la topografía del fondo. Cabría mencionar aquí que, como consecuencia del ámbito físico ya caracterizado en que ocurre la propagación, existe generación de armónicas superiores, pero este hecho no pudo ser analizado para todo el río pues requeriría disponer de mayor cantidad de lugares de medición.

La presentación de las cartas de cotidales e isoamplitudes de las componentes armónicas más importantes para todo el río posibilita predecir en forma aproximada la altura de la marea para cualquier lugar del mismo mediante las técnicas usuales disponibles.

TABLA II.1

Estación	Latitud (S)	Longitud (W)
Martín García	34° 11'	58° 15'
San Fernando	34° 26'	58° 32'
Pto. Colonia	34° 28'	57° 51'
Buenos Aires	34° 34'	58° 24'
La Plata	34° 49'	57° 52'
Montevideo	34° 55'	56° 13'
Punta del Este	34° 58'	54° 57'
T. Oyarvide	35° 12'	57° 10'
F. San Antonio	36° 18'	56° 46'
F. San Clemente	36° 20'	56° 47'
P. Recalada	35° 10'	56° 19'

TABLA II.1. Ubicación geográfica de las estaciones mareográficas.

TABLA II.2

Estación	Ampl.(cm)	Epoca G (°)
Martín García	19.2	350.0
San Fernando	22.3	327.9
Pto. Colonia	16.0	294.5
Buenos Aires	29.5	300.6
La Plata	23.2	243.6
Montevideo	13.6	116.8
Punta del Este	6.0	347.0
T. Oyarvide	31.7	145.7
F. San Antonio	44.0	393.0
F. San Clemente	43.0	41.0
P. Recalada	17.7	102.8

TABLA II.2. Constantes armónicas de la componente M₂.

TABLA II.3

Estación	Ampl.(cm)	Epoca G (°)
Martín García	3.8	70.0
San Fernando	3.1	63.0
Pto. Colonia	2.6	15.3
Buenos Aires	5.4	23.9
La Plata	3.9	325.8
Montevideo	3.8	195.6
Punta del Este	1.0	83.0
T. Oyarvide	5.6	231.9
F. San Antonio	11.0	119.0
F. San Clemente	9.0	116.2
P. Recalada	3.2	182.3

TABLA II.3. Constantes armónicas de la componente S₂.

TABLA II.4

Estación	Ampl. (cm)	Epoca G (°)
Martín García	6.7	298.7
San Fernando	7.4	289.3
Pto. Colonia	6.4	254.3
Buenos Aires	10.5	256.3
La Plata	9.4	201.9
Montevideo	5.5	76.9
Punta del Este	3.0	322.3
T. Oyarvide	12.2	106.3
F. San Antonio	9.0	347.3
F. San Clemente	16.0	55.4
P. Recalada	7.4	51.2

TABLA II.4. Constantes armónicas de la componente N₂.

TABLA II.5

Estación	Ampl. (cm)	Epoca G (°)
Martín García	6.2	105.1
San Fernando	9.5	99.1
Pto. Colonia	4.6	97.0
Buenos Aires	8.1	84.5
La Plata	7.6	72.0
Montevideo	2.4	0.3
Punta del Este	0.0	105.1
T. Oyarvide	5.7	44.1
F. San Antonio	7.0	216.1
F. San Clemente	5.4	285.4
P. Recalada	1.8	278.1

TABLA II.5. Constantes armónicas de la componente K_1 .

TABLA II.6

Estación	Ampl. (cm)	Epoca G (°)
Martín García	11.5	294.7
San Fernando	13.2	282.8
Pto. Colonia	12.4	273.2
Buenos Aires	15.3	263.5
La Plata	13.4	245.7
Montevideo	7.8	181.0
Punta del Este	5.0	150.8
T. Oyarvide	14.2	190.8
F. San Antonio	17.0	134.8
F. San Clemente	16.3	137.1
P. Recalada	11.3	166.8

TABLA II.6. Constantes armónicas de la componente O_1 .

22.- Marea meteorológica en el Río de La Plata.

El estudio de la marea meteorológica ha sido tratado por varios profesionales en los últimos años. El trabajo más reciente es el de la Lic. Paula E. Baylac (1985) titulado "Ondas de tormenta en el Río de la Plata", presentado ante el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de la República Argentina, en el cual además de resumir otros anteriores, brinda resultados surgidos de análisis propios. Se transcriben a continuación las conclusiones del citado trabajo.

Mediante los resultados obtenidos en la correlación de las alturas de los máximos de las ondas de tormenta observadas en las estaciones Palermo, Oyarvide, Pontón Recalada, San Clemente, Mar de Ajó, Pinamar y Mar del Plata, se comprobó la existencia de ondas de plataforma que llegan al Río de la Plata. En todos estos casos se obtuvo un coeficiente de correlación del orden de 0.90, el cual es significativamente alto. Además, del total de las ondas de tormenta observadas en Oyarvide (100 %), el 71 % se observaron en Mar del Plata y el 76 % en Mar de Ajó. Esto indica que un porcentaje muy importante de las ondas de tormenta observadas en un sector de la costa bonaerense (desde Mar del Plata) son registradas en el Río de la Plata, aumentando el porcentaje a medida que se acercan las estaciones a este último.

Vara (1974) dice con respecto a las ondas de tormenta de la plataforma del Mar Argentino que "en general se percibe un incremento monótono de las amplitudes desde el sur hacia el norte, de lo cual se concluye que las perturbaciones van ganando energía a medida que se propagan". Al igual que Vara se comprobó, que existe una amplificación de la onda de tormenta entre las estaciones Oyarvide y Palermo (en ese orden), en promedio de 10 cm. Pero si bien entre Mar del Plata y Oyarvide en gran parte de los casos se comprobó una amplificación de la onda de tormenta, se observaron en otros atenuaciones. Como las ordenadas al origen de las rectas de regresión determinadas al correlacionar las alturas de los máximos de las ondas de tormenta observadas en las distintas estaciones (desde Mar del Plata hasta Oyarvide), oscilan entre 3.58 m y -4.59 m., y los desvíos estándar entre 5.7 cm y 19.9 cm., no es posible determinar una tendencia creciente o decreciente de la amplitud de las ondas de tormenta, para esta zona.

Para evaluar la influencia meteorológica sobre el nivel del agua, se correlacionaron la intensidad, duración y dirección del viento con la altura de las ondas de tormenta. Para esta correlación se tomó el viento medido en la estación Pontón Recalada y la altura del agua medida en Oyarvide. Se comprobó que la variable de mayor peso en la correlación era la intensidad del viento frente a la duración, para una determinada

dirección. Si bien los coeficientes de correlación que se obtuvieron son bajos (de orden de 0.50), ellos son significativamente distintos de cero con una confiabilidad del 99 %. Se determinó que en general, en Oyarvide, el nivel del agua disminuye bajo el efecto de los vientos de los sectores N, NE y NW y aumentan cuando actúan vientos de los sectores S, SE y SW. Para los sectores E y W el nivel del agua puede aumentar o disminuir según la rotación del viento, provenga del sector S o N respectivamente. Se comprobó que la acción de los vientos sobre las aguas en Oyarvide difiere un poco con lo determinado por Balay (1961) para la estación Palermo. Mientras que el viento del sector NE en Palermo puede hacer ascender o descender el agua según su rotación, en Oyarvide provoca un descenso. El viento del sector SW provoca en Palermo un ascenso o descenso del agua según su rotación, mientras que en Oyarvide produce un ascenso. Finalmente, cuando actúan vientos del sector W provocan una disminución del agua en Palermo y un ascenso o descenso en Oyarvide, según su rotación. Estos resultados de la correlación altura del agua vs. viento deberán utilizarse con precaución, pues se utilizaron datos meteorológicos de un año de duración, cuando el tiempo mínimo generalmente utilizado en este tipo de estudios es de 10 años.

Sin embargo, se considera que si bien los coeficientes de correlación entre altura del agua y viento pueden mejorar aumentando la extensión de las series temporales analizadas, no lo podrán hacer en una proporción muy significativa, pues el viento actuante en el Río de la Plata no es la única causa de las ondas de tormenta que allí se observan. También influyen las ondas de tormenta observadas en la Plataforma Continental argentina.

De acuerdo con esto último se concluye que las ondas de tormenta en el Río de la Plata obedecen a dos factores fundamentales :

- ondas de plataforma
- influencia meteorológica local (fundamentalmente el viento)

Para efectuar un pronóstico de ondas de tormenta en el Río de la Plata Exterior o Inferior, utilizando un método similar al empleado por el Servicio de Hidrografía Naval (Argentina) para el Río de la Plata interior (Valdez y Junod, 1972), se podría emplear la estación San Clemente. Dicha estación parece ser la más adecuada para anticipar el fenómeno en Oyarvide, por ser el coeficiente de correlación entre las alturas de las ondas de tormenta observadas en ambas estaciones muy alto (0.54).

y el retardo que sufre la onda de marea entre las mismas, de 4 horas aproximadamente (obtenido utilizando constantes armónicas de marea).

En el caso de decidir pronosticar las ondas de tormenta utilizando un modelo matemático, se deberá tener en cuenta, además de los vientos actuantes sobre el Río de la Plata y los desplazamientos de los centros de presión, a las ondas de plataforma. También se deberá tener en cuenta a la fricción de fondo, por ser ésta una zona de aguas someras.

SECCION 3.- ANALISIS DE LOS SISTEMAS DE CORRIENTES DEL RÍO DE LA PLATA.

Durante el desarrollo del Proyecto se llevó a cabo un programa de observaciones correntográficas a los efectos de obtener información de base para la elaboración de modelos locales y contribuir a implementar un modelo general de circulación para el Río de la Plata.

Este programa fue planificado y puesto en práctica en forma conjunta, y los resultados volcados en un banco de información, el cual fue complementado con antecedentes históricos e información adicional. En total, fue empleada información proveniente de 50 estaciones de observación.

Debido a razones que se explicitarán más adelante, algunas áreas no pudieron ser estudiadas en forma directa. Se consideró por tanto necesario, efectuar un estudio teórico y elaborar un modelo de circulación que, basado en la información real disponible y consideraciones teóricas, permitiera obtener una primera imagen sobre la circulación en el Río de la Plata. Este modelo básico constituiría el material de referencia para la interpretación y eventual validación de hipótesis en las áreas de Geología y Química, y fundamentalmente, para la elaboración de los programas observacionales específicos relacionados con el estudio de los mecanismos físicos de transporte de materiales.

3.1.- Material y Métodos.

3.1.1.- Programa de Observaciones.

En el marco del Proyecto se efectuaron 10 fondeos de correntógrafos. Se procuró obtener información correntográfica a más de un nivel de profundidad, pero en áreas de poca profundidad plantearon problemas de tipo operativo, ya que requieren embarcaciones de poco calado, las que en general no poseen condiciones apropiadas para el trabajo de fondeo.

Los equipos utilizados fueron principalmente correntógrafos Endeco Model 105, de registro en película fotográfica. Estos equipos poseen características de funcionamiento que los hacen muy apropiados para el trabajo a profundidades medias y pequeñas, ya que al no estar unidos en forma rígida al sistema de fondeo

DEL RIO DE

y debido al diseño del sensor de velocidad, son capaces de filtrar en forma eficiente los componentes de la corriente asociada al oleaje.

También fueron empleados correntógrafos Mecabolier, de funcionamiento similar.

Los registros se efectuaron con intervalos de muestreo de 30 minutos. La duración de las mediciones varió entre 30 y 60 días.

Las posiciones de las estaciones de observación consideradas en este informe se indican en la Tabla II.7 y se ilustran en la Fig. II.25. En la Tabla II.8 y la Fig. II.26 se indican las posiciones de las estaciones modeladas.

La instalación de los equipos de correntografía se muestra en la Fig. II.27. Básicamente, se empleó un sistema que emplea dos bloques de cemento ("muertos") de aproximadamente 400 kilos de peso, unidos por un cable de 1/2 pulgada de diámetro y de 20 a 50 metros de largo. De uno de los muertos se sujetó la maniobra de recuperación, consistente en un cable de 1/2 pulgada con una boya superficial de marcación. En el segundo muerto se colocó la maniobra del correntógrafo, constituida por un cable de 9 mm, el cual se mantiene en la vertical por medio de una boya subsuperficial. A este cable se sujeta el correntógrafo, a la profundidad deseada.

Considerando los resultados obtenidos con el empleo de la maniobra básica, fueron mejoradas algunas de sus partes. En los últimos fondeos fueron utilizadas boyas señalizadoras del tipo "paraván", las cuales, mayores que las anteriormente utilizadas, tienen mejor comportamiento frente a condiciones de viento, oleaje o corrientes superficiales fuertes. De esta manera las tensiones sobre los cables de la maniobra fueron minimizadas.

Los registros fueron leídos en ambos Servicios y se efectuaron los análisis de calidad correspondientes. La mayoría de los registros fueron leídos por duplicado, a los efectos de intercalibrar los sistemas físicos de lectura y los programas de conversión utilizados en ambas instituciones, los cuales eran ligeramente distintos.

TABLA II.7.- ESTACIONES DE CORRIENTES (OBSERVACIONES).

ESTACION	POSICION	INICIO/FIN	OBSERVACIONES
I	34° 28' 00" S 58° 11' 00" W	13-ago-1964	IDRAC
II	34° 32' 07" S 58° 20' 00" W	15-jul-1964	IDRAC
III	34° 32' 09" S 58° 13' 00" W	17-jul-1964	KELVIN HUGHES
IV	34° 33' 09" S 58° 16' 01" W	25-jun-1965	KELVIN HUGHES
V	34° 35' 08" S 58° 18' 01" W	14-jun-1965	KELVIN HUGHES
VI	34° 36' 02" S 58° 15' 02" W	15-jun-1965	
VII	34° 42' 01" S 58° 10' 06" W	13-oct-1965	IDRAC
VIII	34° 28' 42" S 57° 49' 50" W	25-jul-1967	IDRAC
IX	34° 35' 00" S 57° 50' 00" W	14-jul-1967	IDRAC
X	34° 42' 36" S 57° 49' 12" W	20-jul-1967	KELVIN HUGHES
XI	34° 47' 00" S 57° 50' 00" W	24-may-1965	KELVIN HUGHES
XII	34° 51' 05" S 57° 48' 05" W	29-dic-1965	KELVIN HUGHES
XIII	35° 07' 00" S 57° 07' 00" W	30-dic-1965	
XIV	35° 27' 00" S 56° 51' 00" W	25-may-1965	KELVIN HUGHES
XV	35° 28' 05" S 56° 38' 00" W	26-may-1965	KELVIN HUGHES
XVI	35° 38' 00" S 56° 50' 00" W	31-dic-1965	
XVII	35° 45' 00" S 56° 46' 00" W	24-nov-1969	
XVIII	35° 40' 00" S 55° 52' 00" W	25-nov-1969	ALEKSEEV
XIX	36° 02' 06" S 56° 36' 04" W	20-nov-1968	NEYRPIC
		02-dic-1968	(en 2 períodos)
		09-dic-1968	
		04-dic-1968	Talleres Int. S.I.
		06-dic-1968	
		23-nov-1968	HYDROWOOL
		13-dic-1968	(en 3 períodos)
		04-dic-1968	Talleres Int. S.I.
		07-dic-1968	

TABLA
(continúa)

TABLA II.7.- ESTACIONES DE CORRIENTES (OBSERVACIONES).

(continuación)

ESTACION	POSICION	INICIO/FIN	OBSERVACIONES
XX	36° 09' 00" S 56° 37' 00" W		
XXI	36° 10' 00" S 56° 34' 09" W		
XXII	36° 16' 03" S 56° 43' 00" W		
XXIII	36° 14' 05" S 56° 30' 00" W	19-mar-1969 28-mar-1969	ALEKSEEV
XXIV	36° 22' 00" S 56° 36' 05" W	19-mar-1969 20-mar-1969	Talleres Inst. SHN
XXV	36° 21' 04" S 56° 01' 06" W		
XXVI	36° 00' 01" S 55° 28' 08" W		
PONTON	34° 40' 05" S	12-oct-79	
INTERSECCION	57° 50' 42" W	25-oct-79	
ARGENTINA III	34° 49' 00" S 57°19' 30" W	31-mar-1982 08-jun-1982	ENDECO 1050693
SAN GREGORIO	34° 45' 30" S 56° 52' 30" W	02-abr-1982 06-jun-1982	ENDECO 1050687
1-TOP	34° 55' 24" S 56° 15' 30" W	13-ene-1983 13-feb-1983	ENDECO 1050551
1-BOT	34° 55' 24" S 56° 15' 30" W	13-ene-1983 13-feb-1983	ENDECO 1050163
2-TOP	34° 56' 12" S 56° 15' 42" W	13-ene-1983 13-feb-1983	ENDECO 1050492
2-BOT	34° 56' 12" S 56° 15' 42" W	13-ene-1983 13-feb-1983	ENDECO 1050557
3-MID	34° 54' 00" S 56° 14' 18" W	20-ene-1983 13-feb-1983	ENDECO 1050425
4-MID	34° 55' 54" S 56° 11' 36" W	13-ene-1983 13-feb-1983	ENDECO 1050431
5-TOP	34° 56' 48" S 56° 09' 30" W	13-ene-1983 12-feb-1983	ENDECO 1050539
5-BOT	34° 56' 48" S 56° 09' 30" W	13-ene-1983 12-feb-1983	ENDECO 1050480
6-TOP	34° 57' 54" S 56° 09' 30" W	13-ene-1983 11-feb-1983	ENDECO 1050483

TABLA II.7.- ESTACIONES DE CORRIENTES (OBSERVACIONES).
(continuación)

ESTACION	POSICION	INICIO/FIN	OBSERVACION
6-BOT	34° 57' 54" S 56° 09' 30" W	13-ene-1983 11-feb-1983	ENDECO 1058
7-MID	34° 55' 12" S 56° 07' 12" W	13-ene-1983 11-feb-1983	ENDECO 1058
8-TOP	34° 56' 12" S 56° 04' 36" W	13-ene-1983 11-feb-1983	ENDECO 1058
8-BOT	34° 56' 12" S 56° 04' 36" W	13-ene-1983 11-feb-1983	ENDECO 1058
9-MID	34° 53' 48" S 56° 01' 30" W	13-ene-1983 11-feb-1983	ENDECO 1058
MADRUGADA I	34° 31' 54" S 57° 51' 18" W	08-ago-1984 02-oct-1984	ENDECO 1058
MADRUGADA II	34° 31' 54" S 57° 51' 18" W	03-oct-1984 19-oct-1984	ENDECO 1058
APIPE	34° 35' 36" S 57° 51' 00" W	08-ago-1984 17-ago-1984	ENDECO 1058
RP1	34° 52' 00" S 57° 33' 00" W	17-oct-1987 11-nov-1987	MECABOLIE
RP2	34° 54' 00" S 57° 26' 00" W	17-oct-1987 21-oct-1987	MECABOLIE
RP3	34° 58' 48" S 57° 20' 00" W	17-oct-1987 12-nov-1987	MECABOLIE

TABLA II.8.- ESTACIONES DE CORRIENTES (MODELADAS).

ESTACION	POSICION
CAN 1	34° 46' 00" S 56° 59' 00" W
CAN 2	34° 41' 00" S 57° 05' 00" W
CAN 3	34° 46' 00" S 57° 13' 00" W
CAN 4	34° 36' 00" S 57° 13' 00" W
CAN 5	34° 41' 00" S 57° 22' 00" W
CAN 6	34° 31' 00" S 57° 22' 00" W

TABLA II.8.- ESTACIONES DE CORRIENTES (MODELADAS).

(continuación)

	ESTACION	POSICION
ACIONES O 1050428	SOS 1	35° 11' 00" S 55° 37' 00" W
O 1050402	SOS 2	35° 26' 00" S 55° 46' 00" W
O 1050430	SOS 3	35° 40' 00" S 55° 48' 00" W
O 1050549	SOS 4	35° 08' 00" S 55° 46' 00" W
O 1050482	SOS 5	35° 21' 00" S 55° 57' 00" W
O 1050688	SOS 6	35° 35' 00" S 56° 07' 00" W
O 1050688	SOS 7	35° 05' 00" S 55° 57' 00" W
O 1050711	SOS 8	35° 16' 00" S 56° 08' 00" W
LIER	SOS 9	35° 26' 00" S 56° 19' 00" W
LIER	SOS 10	35° 07' 00" S 56° 26' 00" W
LIER	SOS 11	35° 16' 00" S 56° 35' 00" W
	SOS 12	34° 58' 00" S 56° 40' 00" W
	SOS 13	35° 04' 00" S 56° 48' 00" W
	SOS 14	34° 51' 00" S 56° 51' 00" W
	SOS 15	34° 55' 00" S 56° 58' 00" W
	SOS 16	34° 51' 00" S 57° 05' 00" W
	SAN 1	36° 09' 00" S 56° 54' 00" W
	SAN 2	36° 00' 00" S 56° 36' 00" W
	SAN 3	35° 47' 00" S 56° 20' 00" W

TABLA II.8.- ESTACIONES DE CORRIENTES (MODELADAS).

(continuación)

	ESTACION	POSICION
	SAN 4	35° 54' 00" S 57° 09' 00" W
	SAN 5	35° 47' 00" S 56° 51' 00" W
	SAN 6	35° 37' 00" S 56° 33' 00" W
	SAN 7	35° 32' 00" S 57° 00' 00" W
	SAN 8	35° 18' 00" S 57° 03' 00" W
	SAN 9	35° 12' 00" S 56° 55' 00" W

TABLA II.8.- ESTACIONES DE CORRIENTES (MODELADAS)

	ESTACION	POSICION
	SAN 4	35° 54' 00" S 57° 09' 00" W
	SAN 5	35° 47' 00" S 56° 51' 00" W
	SAN 6	35° 37' 00" S 56° 33' 00" W
	SAN 7	35° 32' 00" S 57° 00' 00" W
	SAN 8	35° 18' 00" S 57° 03' 00" W
	SAN 9	35° 12' 00" S 56° 55' 00" W

3.1.2.- Procesamiento de la información.

Los datos registrados fueron ingresados a los sistemas de computación existentes, y procesados de acuerdo a programas y algoritmos de cálculo estándar, de acuerdo al siguiente protocolo :

a) cálculo de los componentes Norte-Sur (CNS) y Este-Oeste (CEW) de la corriente :

$$\text{CNS}(i) = \text{Vel}(i) * \cos(\text{Dir}(i))$$

$$\text{CEW}(i) = \text{Vel}(i) * \text{sen}(\text{Dir}(i))$$

donde :

$$i = 1, \dots, N$$

$$N = \text{número total de observaciones}$$

b) Determinación de la hora de la Pleamar en Palermo.

c) Determinación de la altura de la Pleamar en el Puerto Patrón.

d) Cálculo de las componentes de la corriente permanente para cada período (CPNS y CPEW), como el promedio de los valores horarios de los componentes NS y EW en el período (13 observaciones) :

$$\text{CPNS}(j) = 1/13 * \sum_{k=1}^{13} \text{CNS}(k)$$

$$\text{CPEW}(j) = 1/13 * \sum_{k=1}^{13} \text{CEW}(k)$$

donde :

k = momento de la marea (6 hs antes a 6 hs después de la pleamar)

j = 1, ..., NP

NP = número de ciclos de marea analizados

e) Cálculo de las componentes de la corriente de marea para cada observación (CMNS y CMEW), restando a la componente el valor de la componente de corriente permanente respectiva :

$$CMNS(k) = CNS(k) - CPNS(j)$$

$$CMEW(k) = CEW(k) - CPEW(j)$$

f) Cálculo de los coeficientes de peso para corrientes medias, de sicigias y cuadraturas :

$$AMP1(j) = SICI/AMP(j)$$

$$AMP2(j) = CUAD/AMP(j)$$

$$FACMED(j) = (AMP1(j) + AMP2(j))/2$$

$$FACSIC(j) = AMP1(j)$$

$$FACCUAD(j) = AMP2(j)$$

donde :

SICI = altura de sicigias (marea predicha) para el Puerto Patrón

CUAD = altura de cuadraturas (marea predicha) para el Puerto Patrón

AMP = altura de la Pleamar (marea predicha) para el período, para el Puerto Patrón

g) Cálculo de las componentes horarias de la corriente de marea :

$$CMPNS(k) = 1/NP \cdot \sum_{j=1}^{NP} (CMNS(k,j) \cdot FACT(j))$$

$$CMPEW(k) = 1/NP \cdot \sum_{j=1}^{NP} (CMEW(k,j) \cdot FACT(j))$$

donde:

$$FACT = FACMED, FACSIC \text{ ó } FACCUAD$$

h) Cálculo del promedio de la corriente permanente para todo el período de medición :

$$CPPNS = 1/NP \cdot \sum_{j=1}^{NP} CPNS(j)$$

$$CPPEW = 1/NP \cdot \sum_{j=1}^{NP} CPEW(j)$$

Las corrientes de marea fueron estimadas primeramente considerando como Puerto Patrón al más cercano a la estación de observación. Sin embargo, a los efectos de una presentación uniforme de los resultados, se realizó un nuevo procesamiento, considerando como referencia temporal a la Pleamar en la estación mareográfica de Palermo, y conservando al Puerto Patrón como referencia para las alturas de marea. De esta manera, las predicciones son de mayor exactitud, ya que la estación mareográfica de Palermo posee mayor historia de registros. Al mismo tiempo, las

representaciones cartográficas del campo de corrientes constituyen visiones cuasi-instantáneas de la circulación en el río, facilitando su interpretación.

Se realizó también el análisis armónico de los registros obtenidos durante el desarrollo del Proyecto, lo que permitió obtener una mayor precisión en el cálculo de la corriente permanente y de marea. Las componentes analizadas fueron O_1 (diurnas), M_2 , N_2 , S_2 (semidiurnas) y M_4 (cuartodiurna). Este análisis fue posible en virtud de que la longitud de los registros así lo permitía, y es de hacer notar que constituyen los únicos casos en que esto ha sido posible. Sin embargo, el número de estaciones así analizadas es escaso, y sería conveniente disponer en el futuro de una mayor cantidad de registros de este tipo.

3.1.3.- Elaboración de un modelo para corrientes de marea.

Con la finalidad de mostrar las características generales de la circulación en el Río de la Plata y ante el hecho de no disponer de mediciones de corrientes en algunas zonas específicas, tales como las proximidades de Montevideo a Punta Este en la costa uruguaya, y en la Bahía de Samborombón en el litoral argentino en la desembocadura, surgió como alternativa plantear un modelo predictivo aplicado a dichas zonas.

El modelo simple adoptado, de tipo cuasigeostrófico, admite que las ecuaciones generales de movimiento están linealizadas y promediadas en la vertical (ecuaciones de Proudman):

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} - fv = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{F}{h} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + fu = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{G}{h} \end{cases}$$

en las cuales:

u, v : son los componentes horizontales de la velocidad de la corriente, en las direcciones x, y respectivamente.

η : es la altura de la marea que es función del tiempo t .

g : la aceleración de la gravedad.

f : el parámetro de Coriolis.

h : la profundidad.

F, G : son los componentes de la fuerza de fricción por unidad de superficie ejercida sobre el fondo, según las direcciones x e y , respectivamente.

Como es sabido, la marea puede suponerse como la superposición de componentes armónicas cuyas amplitudes y fases, lamentablemente, son funciones del tiempo independientes cada una de ellas. Consecuentemente, y con miras en el objetivo propuesto, se admitió que la marea puede representarse mediante la componente armónica más significativa, en nuestro caso la lunar principal M_2 , de frecuencia σ , amplitud H y fase ϵ de forma tal que :

$$\eta = H \cos(\sigma t - \epsilon) = \eta_1 \cos \sigma t + \eta_2 \sin \sigma t$$

donde

$$\begin{cases} \eta_1^2 + \eta_2^2 = H^2 \\ \eta_2 / \eta_1 = \operatorname{tg} \epsilon \end{cases}$$

Si se designan los ángulos determinados por las líneas cotidales ($\operatorname{tg} \epsilon = \text{cte.}$) y por las de isoamplitud ($H = \text{cte.}$) mediante Ψ y Ψ' respectivamente, entonces (Defant, 1961):

$$\left\{ \begin{aligned} \operatorname{tg} \Psi &= - \frac{\eta_1 \frac{\partial \eta}{\partial x} 2 - \eta_2 \frac{\partial \eta}{\partial x} 1}{\eta_1 \frac{\partial \eta}{\partial y} 2 - \eta_2 \frac{\partial \eta}{\partial y} 1} \\ \operatorname{tg} \Psi' &= - \frac{\eta_1 \frac{\partial \eta}{\partial x} 1 + \eta_2 \frac{\partial \eta}{\partial x} 2}{\eta_1 \frac{\partial \eta}{\partial y} 1 + \eta_2 \frac{\partial \eta}{\partial y} 2} \end{aligned} \right.$$

Por lo tanto, la corriente de marea estará generada por la componente elegida o sea, que puede representarse mediante :

$$u = U \cos \sigma t$$

$$v = V \sin \sigma t$$

con x en la dirección del flujo de corriente máxima y siendo U y V los máximos de corriente en las direcciones x e y respectivamente.

Suponiendo que la fuerza de fricción es despreciable frente a las de presión y Coriolis, entonces :

$$\left\{ \begin{aligned} \operatorname{tg} \Psi &= - \frac{\sigma U + fV}{\sigma V + fU} \quad \operatorname{ctg} \epsilon \\ \operatorname{tg} \Psi' &= \frac{\sigma U + fV}{\sigma V + fU} \quad \operatorname{tg} \epsilon \end{aligned} \right.$$

De estas dos ecuaciones puede deducirse que :

$$\Psi' = \pi / 2 + \Psi$$

o sea que en ausencia de fricción las líneas cotidales y de isoamplitud son perpendiculares entre sí.

Recap
de la cur
observa
determi
cotidal

A fin
cumplir
corrient
la config
medidos

Por el
presenta
desde 6
referenc

El mo
parte m
Incluye
modelo
hipótesi
mismo,
verificat

a) Qu
isoampl
presenta
correspo

b) Qu
provoca
ej., apo
geográfi

c) Qu
directas
hubiera

Recapitulando y admitiendo las hipótesis señaladas, puede concluirse que a partir de la carta de cotidales e isoamplitudes de la componente M_2 , obtenida mediante las observaciones de marea (que son más numerosas que las de corrientes), puede determinarse la corriente de marea en puntos de interés, estimando los valores de la amplitud y de la isoamplitud en ellos, así como sus respectivos gradientes.

A fin de ajustar el modelo propuesto, que contiene restricciones que pueden no cumplirse estrictamente en la realidad, se lo retroalimentó con las mediciones de corrientes obtenidas en los contornos de las zonas requeridas, corrigiendo levemente la configuración de las isolíneas, a fin de obtener valores casi coincidentes a los medidos allí y recalculándolos en los puntos de predicción.

Por último se transformó la escala temporal al reloj de la componente M_2 para presentar la corriente y la altura de la marea para todo el río en esquemas horarios desde 6 horas antes a 6 horas después de producida la pleamar en el puerto de referencia, Palermo.

El modelo predictivo descripto fue aplicado a 31 puntos del Río de la Plata, en su parte media o intermedia e inferior o exterior, y cuyas ubicaciones geográficas se incluyen en la Fig. II.28 (Separata). Con el fin de que las mediciones brindadas por el modelo fueran resultados surgidos de la compatibilidad entre la situación real y las hipótesis planteadas, y también de minimizar los errores en los datos de entrada del mismo, las ubicaciones de los puntos fueron seleccionadas en forma tal que verificaran los siguientes requisitos:

a) Que estuvieran aproximadamente simétricas respecto a pares de cotidales y de isoamplitudes consecutivas, según la carta de isolíneas de la componente M_2 presentada en el informe mareológico, a fin de estimar óptimamente los gradientes correspondientes.

b) Que no estuvieran demasiado próximas a la costa para evitar las distorsiones provocadas en el flujo por efectos de muy bajo fondo e hidrodinámicos conexos (por ej., aportes fluviales, rompientes, corrientes litorales, etc.) y de los accidentes geográficos.

c) Que aunque situadas en lugares en los que no se disponía de observaciones directas de corrientes, grupos de ellas delimitaran zonas en cuyo contorno sí las hubiera, con el objeto de controlar las predicciones obtenidas y eventualmente

modificar la configuración de isolíneas internas a la zona de estudio para ajustar el modelo. Es así que fueron definidas tres zonas, a saber : una en la Bahía Samborombón con 9 puntos, otra de 16 puntos en la parte media del río, simétrica respecto a Montevideo, y por último 6 puntos en una zona próxima a la confluencia uruguaya entre Colonia y Montevideo. Consecuentemente no se creyó conveniente predecir en puntos próximos a la desembocadura por no disponer de mediciones confiables para utilizarlas como control.

La información conjunta de las mediciones directas de las corrientes y las predichas por el modelo, así como la de mareas, resultado de la carta de isolíneas presentada, fue compatibilizada y sincronizada como se indicara anteriormente permitiendo así brindar imágenes instantáneas de la circulación y la topografía de las aguas para todo el Río de la Plata. Esta secuencia de 13 "fotografías" dadas en las figuras II.29 a II.41 (Separata) muestran la situación hidrodinámica a lo largo de un ciclo de marea.

Por último, y con el fin de ofrecer una imagen de la dinámica de la descarga del Río de la Plata en el Océano Atlántico, se implementó un modelo unidireccional resolviéndose numéricamente la ecuación de continuidad y la de movimiento incluyendo un término de fricción cuadrático.

El trabajo realizado (Mazio, Carlos A.: "Modelo hidrodinámico para el Río de la Plata") fue presentado ante el V Simposio Científico organizado por la Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo, en Montevideo, entre el 23 y el 25 de noviembre de 1987 y está incluido en este Capítulo como Anexo 2.1

Se da a continuación un breve resumen como guía de lectura del mismo.

Para 19 puntos en la dirección de descarga se estimaron las constantes armónicas de las componentes de marea M_2 , S_2 , N_2 , K_1 , y O_1 , a partir de la confección de cartas cotidiales e isoamplitudes para cada una de ellas (Mazio, 1988), contenidas en el presente informe.

Con la ecuación de continuidad se obtuvo la corriente barotrópica integrada horizontal y verticalmente a través de cada sección transversal del río, mediante la batimetría de 179 puntos, permitiendo así calcular el término de amortiguamiento de cada componente.

Utilizando
la marea y l

Como res
su evolució

3.2.- Resulta

Los result
se presenta
La corriente
la Fig. II.42
referencia t

La escala
con que se c
las Figuras

Como un
información
que dadas la
disponibles
mayor. En
y la comple
fuertement
particularm
y en las cero

Puede con
épocas del
caudales, p
principalme
mayorment
está sujeta a
registros. L
los registro

Utilizando la ecuación de movimiento y las condiciones de contorno, se estimaron la marea y la corriente en la dirección ya indicada.

Como resultado, el modelo ofrece la situación dinámica de la descarga del Río y su evolución temporal, contrastándose con la información observacional disponible.

3.2.- Resultados.

Los resultados obtenidos para la corriente de marea en las estaciones consideradas se presenta bajo forma de cartas de corrientes en las figuras II.29 a II.41 (Separata). La corriente permanente, para las estaciones donde pudo ser calculada, se ilustra en la Fig. II.42 (Separata). Los resultados obtenidos por implementación del modelo de referencia también se indican en el grupo de cartas II.29 a II.41 (Separata).

La escala de estas cartas no permite incluir la totalidad de estaciones observadas con que se cuenta en las inmediaciones de Montevideo. Por tal razón, se incluyen en las Figuras II.43 a II.57, los resultados para dicha zona en escala de mayor detalle.

Como una primera observación, se destaca la falta de una adecuada densidad de información para algunas zonas del río. Este hecho es de particular importancia, ya que dadas las características topográficas, y de acuerdo con los conocimientos previos disponibles sobre los patrones de circulación, el número de estaciones debería ser mayor. En otras palabras, se presume que dada la escasa profundidad media del río, y la complejidad de la batimetría, la información aportada en cada estación está fuertemente condicionada por las características locales. Esto se espera sea particularmente cierto para aquellas estaciones ubicadas a poca distancia de la costa, y en las cercanías de los flancos de los bancos existentes.

Puede considerarse que debido a que la información ha sido obtenida en distintas épocas del año, los cambios estacionales, fundamentalmente en el régimen de caudales, podrían afectar las conclusiones numéricas del análisis. Esto es cierto principalmente para la corriente permanente, en la que es de esperar se reflejen mayormente estas variaciones. La estimación de la corriente de marea, no obstante, está sujeta al error inherente a la densidad de las mediciones y a la longitud de los registros. Los efectos meteorológicos introducen variaciones de baja frecuencia en los registros correntográficos, los cuales son eliminados al considerar valores

promediados en los registros. En la medida en que éstos sean cortos (de uno a pocos días), estas variaciones contaminan los resultados para la corriente de marea, y puede ser en parte la razón de los valores obtenidos para la zona de la Bahía Samborombón. Por lo tanto, los resultados en esta zona presentan un menor grado de confiabilidad, aunque pueden ser eventualmente considerados con observaciones adicionales.

Considerando las estrategias de observación utilizadas, y la imposibilidad de obtener en la mayoría de los casos, información a más de un nivel de profundidad, la discusión estará en buena medida limitada a los procesos de circulación vinculados al régimen de corrientes de marea. En ese sentido, se considera que los registros obtenidos y procesados de la manera expuesta, aportan información valiosa e inédita.

Del análisis de las cartas de corrientes de marea, surgen algunas consideraciones de carácter general.

- En primer lugar, se constata un patrón general de circulación que coincide con los grandes rasgos, con los propuestos por Balay (1961). Los vectores de corriente orientan en el sentido del eje del río. En un grupo reducido de estaciones se constatan flujos superficiales transversales, asociados normalmente a velocidades medias. Al respecto no puede afirmarse lo mismo con respecto al comportamiento de la corriente en profundidad, pero la información existente permite caracterizarla en forma general a estos flujos.

- En líneas generales la rotación de la corriente de marea es visible en forma clara con orientación franca de los vectores durante los períodos de mayor velocidad.

- En los momentos del pasaje de la pleamar y la bajamar, cuando las velocidades son bajas, la menor orientación en los vectores en estaciones cercanas está asociada a profundidades menores.

Se presenta a continuación una descripción sinóptica de las cartas de corrientes de marea elaboradas, comentando algunas de sus características. En estas cartas se han marcado las posiciones estimadas de las pleamares y las bajamares para cada momento, a los efectos de una mejor interpretación:

6 horas a

Se obser
Media o
medias (e
Superior
saliente.

Frente a
y una tero
condicion

En la Zo
hacia la co
el río, se ob

5 horas an

Situación
corriente e

4 horas an

En la Zo
dirección e
saliente, y
observació
corrientes
Montevide
velocidade

3 horas an

La direcc
o Interior, y
de corrien
dirección N
modeladas

6 horas antes de la Pleamar en Palermo

Se observa una orientación de la corriente en Punta Rasa, Montevideo y Zona Media o Intermedia. Las velocidades son altas (> 30 cm/s) en Punta Rasa, y de medias (entre 10 y 30 cm/s) a bajas (≤ 10 cm/s) en el resto de las áreas. En la Zona Superior o Interior las velocidades son mayores para la costa argentina, con dirección saliente.

Frente a Montevideo dos estaciones muestran a la corriente con dirección entrante, y una tercera estación la registra en dirección saliente, situación relacionada con las condiciones locales de circulación.

En la Zona Inferior o Exterior la corriente es entrante, con velocidades mayores hacia la costa argentina. Las velocidades mayores de la corriente, considerando todo el río, se observan hacia la costa argentina, y en especial en la Bahía de Samborombón.

5 horas antes de la Pleamar en Palermo

Situación similar a la anterior, con mayor orientación en dirección entrante de la corriente en las Zonas Superior o Interior y Media o Intermedia del río.

4 horas antes de la Pleamar en Palermo

En la Zona Media o Intermedia y Superior o Interior la corriente se presenta con dirección entrante. Frente a Montevideo, con velocidades medias, la corriente es saliente, y en general el plano de corrientes modeladas es coherente con las observaciones para la costa uruguaya en la zona frente a Montevideo. El plano de corrientes modeladas indica la aparición de flujos transversales en la línea Montevideo- Punta Piedras, en dirección preferencial hacia la costa uruguaya, y con velocidades medias a bajas.

3 horas antes de la Pleamar en Palermo

La dirección de la corriente es entrante en las Zonas Media o Intermedia y Superior o Interior, y saliente en la Zona Inferior o Exterior. La zona de transición, en el plano de corrientes modeladas, presenta frente a Montevideo flujos transversales en dirección NE, con velocidades medias a bajas. En general, el plano de estaciones modeladas es coherente con las observaciones.

2 horas antes de la Pleamar en Palermo

Situación similar a la anterior en las Zonas Media o Intermedia y Superior Interior. Las observaciones en la Zona Inferior o Exterior son más difíciles de interpretar. Persisten los flujos transversales en la zona media o intermedia a velocidades ligeramente menores (entre 8 y 15 cm/s), y en dirección hacia el mar uruguayo del río.

1 hora antes de la Pleamar en Palermo

La corriente de marea es entrante en las Zonas Superior o Interior y Media Intermedia, y saliente en la Zona Inferior o Exterior. Las velocidades son de mareas bajas en casi todo el río.

Pleamar en Palermo

La corriente comienza a rotar en la zona frente a Buenos Aires y en la zona Colonia-La Plata, y se presenta en dirección saliente a partir de la línea Montevideo-Punta Piedras.

1 hora después de la Pleamar en Palermo

Velocidades bajas en las cercanías de Buenos Aires. Corriente saliente a partir de la línea Colonia-La Plata. Frente a Montevideo se evidencian efectos locales, siendo la dirección entrante la de mayor velocidad.

2 horas después de la Pleamar en Palermo

La dirección de la corriente es fundamentalmente saliente en las Zonas Superior o Interior y Media o Intermedia, con algunas observaciones que muestran la dirección contraria de la corriente en localidades más costeras, frente a Buenos Aires. La línea Colonia-La Plata muestra velocidades altas en las estaciones costeras, especialmente en la margen Sur, y velocidades medias al centro. En el plano de corrientes modeladas es clara la posición de la pleamar en la Zona Inferior o Exterior, no así en el plano de observaciones, donde persiste una corriente entrante a la altura de Punta Rasa.

3 horas después

Corriente saliente en el plano de corrientes modeladas. Frente a Montevideo-Punta Piedras la corriente está asociada a una marea entrante, estaría asociada a una marea entrante.

4 horas después

Corriente saliente en el plano de corrientes modeladas. Frente a Montevideo-Punta Piedras la corriente está asociada a una marea entrante, estaría asociada a una marea entrante.

5 horas después

Corriente saliente en el plano de corrientes modeladas. Frente a Montevideo-Punta Piedras la corriente está asociada a una marea entrante, estaría asociada a una marea entrante.

6 horas después

La corriente es saliente en el plano de corrientes modeladas. Frente a Montevideo-Punta Piedras la corriente está asociada a una marea entrante, estaría asociada a una marea entrante.

3 horas después de la Pleamar en Palermo

Corriente saliente en las Zonas Superior o Interior y Media o Intermedia. En el plano de corrientes modeladas se observan bajas velocidades en la línea Montevideo-Punta Piedras. Las escasas observaciones en esta parte del río pueden interpretarse como coherentes con este hecho, aunque en la costa de Montevideo la corriente está claramente orientada en dirección entrante. Este comportamiento estaría asociado a procesos de circulación costera.

4 horas después de la Pleamar en Palermo

Corriente saliente en las Zonas Superior o Interior y Media o Intermedia, hasta la línea Montevideo-Punta Piedras. Las observaciones en la Zona Exterior o Inferior, particularmente en la Bahía de Samborombón, son difíciles de interpretar, aunque el plano de corrientes modeladas muestran a la corriente, con velocidades medias hacia la margen norte y altas en el sector sur.

5 horas después de la Pleamar en Palermo

Corriente saliente en las Zona Superior o Interior, hasta la línea Colonia-La Plata. La corriente comienza a rotar en la Zona Media o Intermedia, y a la altura de la línea Montevideo-Punta Piedras la modelación muestra una dirección entrante de la corriente. Las observaciones para la misma zona son contradictorias, con una estación que muestra una velocidad muy alta en comparación con las de las estaciones más cercanas.

6 horas después de la Pleamar en Palermo

La corriente es saliente en la Zona Superior o Interior, frente a Buenos Aires. En la línea Colonia-La Plata ésta es saliente hacia los márgenes, con velocidades mayores hacia la costa argentina. Una sola estación muestra una corriente de baja velocidad (5.4 cm/s) en dirección entrante. En la Zona Media o Intermedia, la corriente es entrante, y esto es visible en el plano de corrientes modeladas y en las observaciones. La Zona Inferior o Exterior, sin embargo, vuelve a mostrar diferencias importantes en la orientación general de la corriente, con excepción de la costa norte frente a Montevideo, donde ambos planos indicarían una corriente en dirección entrante, con velocidades medias (alrededor de 10 cm/s).

3.3.- Discusión.

Las velocidades de la corriente de marea, algo mayores para la costa argentina coinciden con las observaciones realizadas que dan cuenta de la mayor velocidad y amplitud de la marea sobre la costa argentina. Las velocidades mayores, tanto de flujo como de reflujo, se encuentran sobre el margen argentino, llegando a valores máximos de 59.2 cm/s (reflujo en la estación XI). Sobre la costa uruguaya el valor máximo es de 37.6 cm/s, correspondiente a la velocidad de la corriente de flujo en la estación VIII. En general, las velocidades máximas se observan entre 1 a 3 días luego del pasaje de la pleamar y la bajamar por la estación.

Se constata además la influencia de la topografía de fondo en los rasgos locales de la circulación. Las corrientes de flujo y reflujo se orientan mayormente en el sentido del eje del río, y en algunos lugares según la dirección de los canales existentes. Por ejemplo, frente a Montevideo, las corrientes de flujo y reflujo se orientan en el sentido del eje del Canal Oriental. De la misma manera ocurre en la costa argentina. En ese sentido, se debe tener en cuenta que los valores de velocidad de corriente producidos por el modelo, al ser calculadas sobre la base de una batimetría más suavizada, no aparecen afectadas por los detalles de la topografía en escalas pequeñas.

En la Zona Superior o Interior, especialmente frente a Buenos Aires, y en algunos momentos de menor velocidad, la orientación de la corriente no es similar en todos los puntos de observación. Esto está relacionado con la existencia de canales en esta zona. Las corrientes de flujo y reflujo no están tan afectadas, debido a que la sección transversal es menor; consecuentemente, las velocidades son de menor magnitud y más altas. Frente a Montevideo, algunas observaciones aparecen afectadas también por la cercanía de la costa. En el caso de la Bahía de Samborombón, las profundidades estarían afectando el régimen de corrientes durante el ciclo de la marea.

Los valores altos de velocidad de la corriente de marea obtenidos para el área de Samborombón pueden atribuirse en parte a que fueron calculados, como se mencionó, sobre la base de registros cortos, en su mayor parte de 24 a 48 horas, por lo que la confiabilidad de la información es menor. De la misma manera pueden interpretarse algunas de las aparentes incoherencias entre los planos de corriente modeladas y las observaciones para la misma zona. El modelo por su parte muestra en forma más clara la posición de la onda de marea, y aunque en principio la modelación en esta zona es la más sujeta a errores debidos a las condiciones

borde iniciales, la marea nos permite una confiabilidad del p

Por el contrario, en la medición, donde se usa la marea estimada por la modelación, en

Cada una de las secciones, en conjunto, la señalada se ve afectada por lo que acontece localmente en los dos sentidos oc

Naturalmente, el componente anterior a la hodógrafa asociada a la intensidad y el período del párrafo anterior, localmente, la señalada pequeña que se muestra en las señaladas), die

Taxativamente, la corriente de la corriente de la causa de ello es la reversibilidad de la incidencia de la corriente aunque hay ins

Con respecto a la corriente entre Montevideo y el río. Entre las secciones de velocidades más altas en Palermo, por lo que, en embargo, este fenómeno se ve afectado a la costa argentina por las corrientes presentes en el río con velocidad

borde iniciales, la coherencia entre los planos en tiempos sucesivos con respecto a la marea nos permite admitir estos resultados, considerándolos como una imagen confiable del proceso.

Por el contrario, para lo que se considera el grupo principal de estaciones de medición, donde los registros varían en longitud entre 30 y 60 días, las corrientes de marea estimadas son confiables, y en general coinciden con las obtenidas por modelación, en particular en la dirección.

Cada una de las cartas muestra una imagen instantánea de la circulación, y su conjunto, la secuencia temporal de su evolución. El rasgo distintivo de lo que acontece localmente es la existencia de una dirección privilegiada en la que según sus dos sentidos ocurre el flujo y reflujo de aguas.

Naturalmente, por estar siendo analizada la corriente de marea asociada a la componente armónica más relevante (M_2) y no incluir la corriente permanente, la hodógrafa asociada es una elipse con el semieje mayor orientado según la máxima intensidad y el semieje menor según la mínima. Consecuentemente lo indicado en el párrafo anterior puede visualizarse como indicando que en el Río de la Plata, localmente, la corriente es prácticamente reversible (semieje menor bastante más pequeño que el semieje mayor) y, además, generalmente (con las excepciones señaladas), dicho semieje mayor paralelo al eje de descarga del río.

Taxativamente, no puede deducirse un claro sentido de la rotación de la dirección de la corriente al situarse en un punto dado del río y dejar transcurrir el tiempo. La causa de ello estriba en el muy corto tiempo (orden de una hora) en que se produce la reversibilidad, estando fuertemente afectada por el régimen hidrológico, la incidencia de otras componentes de marea y la influencia del factor meteorológico, aunque hay insinuación de que es ciclónico, o sea, en el sentido de las agujas del reloj.

Con respecto a los flujos transversales, éstos se presentan en forma clara en la zona entre Montevideo y Punta Piedras, y fundamentalmente hacia el margen norte del río. Entre las 4 y las 2 horas antes de la pleamar en Palermo, estos flujos presentan velocidades medias a bajas y en dirección NE. Entre 2 y 4 horas después de la pleamar en Palermo, la dirección es en sentido inverso, con velocidades similares. Sin embargo, este flujo no parece alcanzar el margen argentino. Las estaciones cercanas a la costa argentina, en los momentos en que los flujos transversales se hacen presentes en el margen norte, muestran a la corriente en sentido entrante o saliente, con velocidades medias a altas, hasta 45 cm/s.

Estos flujos transversales, que podrían tener importancia en el transporte de materiales y agua, se observan entonces en la porción norte de la Zona Media Intermedia, específicamente la línea Montevideo-Punta Piedras, asociado a velocidades medias a bajas, y durante momentos mareológicos específicos (flujo y reflujo). No es posible, de acuerdo a la información existente, cuantificar el efecto que los mismos podrían tener a nivel global. Es interesante notar, por lo demás, que en la misma zona donde se presentan estos flujos transversales se halla el límite de intrusión salina, por lo que se deberían considerar los fenómenos de mezcla y transporte vertical asociados. Por otro lado, desde el punto de vista de la batimetría, esta zona (Barra del Indio), constituye un área de menor profundidad (alrededor de 7 metros). Más adelante, en la zona del Banco Rouen, la profundidad disminuye nuevamente (6 metros), y se debe hacer notar que en esta zona las corrientes de flujo y reflujo no están tampoco orientadas en el sentido del eje del río, aunque tampoco son claramente transversales, dando cuenta de la influencia del bajo fondo.

Debe mencionarse el efecto adicional de la meteorología sobre la circulación, la cual no está incluida en la modelación pero puede afectar los resultados obtenidos sobre el análisis de las observaciones, fundamentalmente en aquellas estaciones donde se dispone de períodos más cortos de medición.

Comparando los resultados del análisis de estas estaciones (fundamentalmente el grupo I-XXVI), con los calculados a partir del modelo para las mismas zonas, constatan diferencias apreciables. No sucede lo mismo con los datos para las áreas más profundas, y es de esperar que los valores calculados por el modelo, sobre todo en dirección, para aquellas áreas más profundas del río, presenten mayor similitud con los calculados sobre la base de las observaciones.

A los efectos de complementar el estudio de la información correntográfica, se han analizado los resultados de otras investigaciones realizadas sobre el tema.

En el trabajo "Simulación numérica de la circulación en el Río de la Plata" (G.Molinari, INCYTH, 1986), se presenta un modelo matemático de tipo cuasi-bidimensional a superficie libre, resuelto mediante el método de diferencias finitas de tipo implícito de direcciones alternadas. Quizás, la aproximación utilizada es cuestionable en la condición de borde utilizada en la desembocadura. Por otro lado, se representó la marea en San Clemente del Tuyú durante un día completo mediante la sucesión de funciones senoidales de diferentes amplitudes y fases.

otro, en Punta Piedras, con amplitudes y fases diferentes a las de Balay (1986).

Se transcriben a continuación:

En primer lugar, se muestran con instantes de tiempo la superficie del agua en la zona de Punta Piedras, bajante que se caracteriza por una menor pleam y una mayor cualitativa e cuantitativa.

a) las distancias entre Argentina y Uruguay, entonces, que se muestran en las cartas corrientográficas.

b) debido a la gran profundidad consideradas para éste son.

c) se observan a las de la Montevideo ya que el efecto de propagación, la influencia sólo.

Del análisis de los resultados surgió que a efectos de la circulación en dos regiones de Punta Piedras-Montevideo, la región inferior y la superior tienen.

En la región inferior, entre ambos ríos, incluso, pro-

otro, en Punta del Este, se extrapolaron los resultados anteriores corrigiendo las amplitudes y fases mediante las cartas de isoamplitudes y de cotidales confeccionadas por Balay (1961).

Se transcriben a continuación las conclusiones del mismo:

En primer lugar, se estableció una correspondencia entre las cartas dadas por Balay con instantes escogidos de la evolución temporal propuesta de la altura de la superficie del mar en San Clemente del Tuyú, eligiendo, en especial a la media marea bajante que sigue a la pleamar más alta debido a que, como se verá, los efectos de la menor pleamar no son muy marcados. A simple vista, se aprecia un buen acuerdo cualitativo entre ambos conjuntos de gráficos. Efectuando una observación cuantitativa se deduce que:

a) las distancias recorridas tanto por la pleamar como por la bajamar sobre la costa argentina entre los instantes considerados son aproximadamente las mismas. Resulta, entonces, que ambos estados de marea se propagan con la misma celeridad que sobre las cartas correspondientes a la M_2 ;

b) debido a que, mientras para la M_2 transcurren 6.21 horas entre la plea y la baja consideradas, este intervalo se reduce a 5 horas para la onda del modelo, las distancias para éste son algo menores que las de aquél;

c) se observa un adelantamiento de la pleamar calculada por el modelo con respecto a las de la M_2 . Esto podría ser consecuencia de las condiciones de borde impuestas, ya que el adelantamiento se produce desde el comienzo y no varía durante la propagación. En efecto, se espera que el detalle de las condiciones de borde tenga influencia sólo sobre una distancia limitada.

Del análisis conjunto del campo de velocidades con las de las líneas de isonivel surgió que a efectos de la interpretación resulta conveniente dividir al Río de la Plata en dos regiones: una superior, desde la cabecera hasta la línea Punta Piedras-Montevideo, y otra inferior, desde esa línea hasta la desembocadura. En la región inferior la onda que se propaga es típicamente bidimensional; en cambio, en la superior tiende a ser unidimensional, con frentes de onda casi planos.

En la región inferior ejerce gran influencia la diferencia de amplitud de la marea entre ambos márgenes, la cual genera fuertes pendientes en la superficie libre que, incluso, producen corrientes dirigidas desde la costa argentina hacia la uruguayana

durante el pasaje de la pleamar más alta por la Bahía de Samborombón. Aparentemente, es como si la dirección de la corriente rotara en sentido horario durante el transcurso de dicho pasaje.

El régimen de desigualdades diurnas produce diferencias apreciables en los estados de movimientos separados por medio día lunar. Por ejemplo, comparando instantes de casi pleamar en la boca se observa que para la más alta predominan netamente las corrientes de creciente, mientras que para la más baja las corrientes que provienen de la parte superior provocan la desviación de las corrientes de creciente hacia la costa argentina. Por su parte, la comparación de instantes de bajamar en la desembocadura permiten observar corrientes de bajamar más intensas para la que sigue a la pleamar más alta y se insinúa la nueva corriente de creciente para la que sigue a la pleamar más baja. Finalmente, es notorio que la intensidad de las corrientes en la Bahía de Samborombón es siempre menor que en el resto de la región, lo cual es un efecto de la fricción, que se ve aumentado con la baja profundidad.

En la región superior, el instante de la bajamar coincide aproximadamente con la estoa. La pleamar más baja sufre una gran atenuación durante su propagación en esta zona y la correspondiente corriente de flujo no puede siquiera penetrar. Para ello hay que tener en cuenta que las corrientes de agua dulce son bastante más intensas, ya que los caudales que aportan los afluentes parecen ser relativamente altos desde un punto de vista estadístico. A modo de ejemplo, en Buenos Aires se observa que la onda de marea no sólo se atenúa con la pleamar menor sino que también se distorsiona. En el trabajo citado se propone que la distorsión de la corriente de creciente, se debería al apilamiento causado en esta región por la geometría convergente del área y el efecto de Coriolis, mientras que la correspondiente marea bajante podría deberse a la influencia de los afluentes. La contrapropuesta sería que la distorsión mencionada constituiría un efecto no lineal manifestado en el cambio en los intervalos que median entre la pleamar y la bajamar.

3.4.- Consideraciones sobre la influencia de la meteorología en la circulación del Río de la Plata.

En el trabajo "Simulación numérica de corrientes de deriva en el Río de la Plata" (Ana Clalde, INCYTH, 1988) se analizan, utilizando el modelo matemático implementado por Molinari (1986), situaciones con influencia significativa del viento, de modo de evidenciar y describir sus efectos sobre los niveles y las corrientes.

Se transcrib

Dos eventos de la Plata. En NW; a ambos comenzaban Clemente.

Se eligieron del nivel y de argentina y u donde la onda se eligió en la manera unid

En los puntos como un aut B y C (10 cm los valores n de flujo e in corriente es corrientes de la intensidad por B, se e invirtiéndose geográfico y corrientes e en la misma la cabecera fuertemente circulación, viento dejó la boca para

La acción relativa del cuando cesó una depresi

10 11 12 13 14 15 16 17 18

Se transcriben a continuación sus más importantes conclusiones:

Dos eventos fueron estudiados por tener mayor frecuencia de ocurrencia en el Río de la Plata. El primero corresponde a vientos del sector SE, el segundo a vientos del NW; a ambos se los supuso de intensidad constante, de duración un día y que comenzaban a soplar en el instante en que la pleamar más alta pasaba por San Clemente.

Se eligieron tres puntos, A, B y C, para hacer el seguimiento de las series de tiempo del nivel y de la intensidad de corriente. Los puntos B y C (próximos a la costa argentina y uruguaya, respectivamente) fueron elegidos en la región inferior del río, donde la onda que se propaga es típicamente bidimensional. En cambio, el punto A se eligió en la región superior (sobre el eje de descarga) donde la onda lo hace de manera unidimensional.

En los puntos indicados se observa que la acción del viento del SE se manifiesta como un aumento relativo del nivel, más notable en A (del orden de 20 cm) que en B y C (10 cm). Cuando cesa su efecto, los niveles bajan y, eventualmente, tienden a los valores no perturbados. Se aprecia, además, que el viento estimula la corriente de flujo e inhibe la de reflujos; la variación máxima del módulo de la velocidad de corriente es de 7 cm/s en A, 5 cm/s en C y bastante menor en B (2 cm/s). Para corrientes de flujo en B y C que preceden a la pleamar más alta, el viento incrementa la intensidad sin cambiar la dirección de las mismas. Cuando la pleamar más alta pasa por B, se detectan corrientes que van de la costa argentina a la uruguaya, e invirtiéndose para tiempos próximos al paso de la pleamar más baja. En un aspecto geográfico general, puede decirse que, en la primera etapa (unas 8 horas), las corrientes crecen en módulo (hasta un máximo de alrededor de 10 cm/s) y apuntan en la misma dirección del viento. Luego disminuyen por efecto del apilamiento contra la cabecera y se generan corrientes hidrodinámicas de gradiente que dependen fuertemente de la configuración topográfica, pudiéndose establecer celdas de circulación, seguramente asociadas con la batimetría. Luego de una hora de que el viento dejó de soplar, estas celdas desaparecen y se genera una corriente neta hacia la boca para desagotar el volumen de agua apilado.

La acción de vientos del NW en los puntos A, B y C provocan una disminución relativa del nivel en función del tiempo y tienden a volver a los niveles no perturbados cuando cesa su efecto, más rápidamente que el caso de vientos del SE. Se observa una depresión del nivel, mayor en la cabecera que en la desembocadura (14 cm en

ANEXO 2.2.- CONSIDERACIONES SOBRE LOS EFECTOS DE LA SALINIDAD EN LA CIRCULACION.

La intrusión de agua salada en ambientes fluvio-marinos es un factor importante en la hidrodinámica de los mismos por ser un modificador del régimen de flujo.

Dicho régimen está, en este tipo de ambientes, gobernado por cuatro factores dinámicos que determinan la dirección y magnitud de la corriente a distintas profundidades y distancias medidas desde la boca. En orden a su importancia, ellos

A, 6 cm en B y C), provocando un desplazamiento de agua hacia el exterior. Las líneas de isonivel se alinean perpendicularmente a la dirección del viento, dando como resultado una depresión mayor en la costa uruguaya que en la argentina. El viento desestimula la corriente de flujo y estimula la de reflujos; los valores máximos del apartamiento son del orden de 4 cm/s. Las corrientes de flujo en B y C próximas a la pleamar más alta disminuyen sin cambiar su dirección. Al paso de la pleamar por B, la corriente rota hacia la costa uruguaya con la más alta y contrariamente hacia la argentina, con la más baja.

SECCION

El análisis del mar, el R caudales es compo aportado m^3/s . A desviación

Del es de desig La paut apreciár teniend unidime de mare

De la penetra atlántie asevera indicio medien

La c compo M2), n presen de baj inform introd

El e de las torme

A, 6 cm en B y C), provocando un desplazamiento de agua hacia el exterior. Las líneas de isonivel se alinean perpendicularmente a la dirección del viento, dando como resultado una depresión mayor en la costa uruguaya que en la argentina. El viento desestimula la corriente de flujo y estimula la de reflujo; los valores máximos del apartamiento son del orden de 4 cm/s. Las corrientes de flujo en B y C próximas a la pleamar más alta disminuyen sin cambiar su dirección. Al paso de la pleamar por B, la corriente rota hacia la costa uruguaya con la más alta y contrariamente hacia la argentina, con la más baja.

SECCION 4.- SINTESIS.

El análisis del efecto hidrológico de los principales afluentes del Río de la Plata, o sea, el Río Paraná y el Río Uruguay, muestra diferencias significativas tanto en los caudales entregados como en sus variaciones estacionales. Sin embargo, dicho efecto es compensatorio, pudiéndose estimar en $20.000 \text{ m}^3/\text{s}$ el valor medio del caudal aportado por ambos durante todo el año, siendo los valores extremos 10.800 y $30.600 \text{ m}^3/\text{s}$. Asimismo, se verificó que los datos se distribuyen gaussianamente con una desviación estandar $\sigma = 4.700 \text{ m}^3/\text{s}$.

Del estudio mareológico del Río de la Plata puede deducirse que tiene un régimen de desigualdades diurnas, con relevante manifestación de la componente diurna O_1 . La pauta general está dada por la componente semidiurna M_2 , la más energética, apreciándose significativas diferencias en su propagación hacia el delta del río, teniendo características bidimensionales hasta la línea Punta Piedras-Montevideo y unidimensionales en el curso superior. Es de remarcar también que las amplitudes de marea son mayores en la costa argentina que en la uruguaya.

De la información mareológica actualmente disponible no puede inferirse la penetración de dos ondas de marea al río, una proveniente desde el norte por la costa atlántica uruguaya y otra desde el sur por el litoral marítimo bonaerense, aunque tal aseveración, sostenida por algunos investigadores, parecería estar apoyada por otros indicios de carácter biológico, químico, etc.; tal hipótesis crea la necesidad de efectuar mediciones específicas en la desembocadura.

La configuración presentada de las líneas de isoamplitudes y cotidales de las 5 componentes principales de marea estudiadas, dadas por primera vez (excepto la M_2), muestran rasgos semejantes aunque con particularidades ya señaladas en el presente trabajo. Se ha notado también que la presencia de canales y las situaciones de bajo fondo provocan alteraciones en las configuraciones resultantes; éstas brindan información respecto a la propagación y la amplificación de las componentes que se introducen en el análisis armónico realizado.

El efecto meteorológico sobre la marea es significativo, oscilando las amplitudes de las ondas de tormenta entre los extremos de 3.58 m y -4.59 m . Dichas ondas de tormenta en el Río de la Plata obedecen a dos factores fundamentales:

- ondas de plataforma provenientes de mar afuera,
- la influencia meteorológica local, principalmente el viento.

El estudio de la circulación global en el Río de la Plata requiere del análisis de un conjunto de procesos físicos interactuantes :

- a) la circulación generada por la onda de marea
- b) las corrientes de densidad, provocadas por la distribución de la salinidad en el río
- c) el efecto del campo de presión en la superficie libre (vientos y presión atmosférica)
- d) el régimen de descarga de los tributarios del Río de la Plata
- e) los procesos de circulación litoral

Consecuentemente, dependiendo de la escala espacial y temporal de interés, algunos de estos procesos tendrán mayor importancia que otros.

En este informe se ha realizado fundamentalmente un estudio general del régimen de corrientes de marea. Como se expresó, si bien este tipo de circulación es el más importante, en el sentido que define sus características generales, puede ser considerado como el único proceso a estudiar cuando el objetivo es conocer la índole de los fenómenos de circulación implicados en los procesos de transporte y difusión de materiales, ya sean sedimentos o materiales contaminantes.

Sin embargo, un esquema general del tipo presentado es previo a cualquier fase del estudio, en la medida en que los otros procesos involucrados en la circulación actúan modificando las características generales de este esquema.

La escasez de información a los fines de la comprensión de la circulación obedece a ciertas limitaciones en su estudio. Por un lado, de la corriente total se analizaron las corrientes de marea a media agua, que, aunque contiene la mayor parte de la energía, deja de lado el contenido permanente, de interés en el problema de transporte (sedimentos, contaminantes, etc.). Tampoco se pudo estudiar el aspecto particular de las corrientes muy próximas a la costa, así como las características

flujo cortante y la intrusión salina, aunque se brinda una descripción general para dichos fenómenos así como sus correspondientes modelos predictivos para su posterior utilización. (Anexos 2.2 y 2.3).

Dentro de la corriente de marea se limitó al caso de la generación dada por la componente principal M_2 , debiéndose implementar una modelación local aplicable a algunas zonas en las que no se disponía de mediciones.

Mediante el estudio de las mareas y las corrientes se han podido confeccionar imágenes secuenciales de la configuración topográfica y circulatoria de las aguas en todo el Río de la Plata, así como implementar un modelo unidimensional de su dinámica, a fin de disponer de un medio interpretativo de la misma.

La corriente muestra con claridad características de flujo y de reflujo en la dirección de descarga, respondiendo a la periodicidad de la componente de marea generadora (velocidades máximas de 50 cm/s), ligeramente más intensas del lado argentino.

Se distinguen dos celdas de circulación ubicada una en la parte inferior o exterior, otra en la superior o interior del río, separadas por el abrupto estrechamiento en la línea Punta Piedras-Montevideo, apareciendo aquí corrientes en dirección transversal al eje de descarga. Esta característica es de particular interés, porque se trata del área de transición entre el agua salada y la dulce, y donde consecuentemente, adquieren mayor importancia los procesos de difusión y circulación por densidad.

Con respecto a las corrientes generadas por el viento, se estima que son de significación menor, pues sus intensidades son menores a los 10 cm/s, para los casos hipotéticos planteados.

ANEXO 2.1.- MODELO HIDRODINAMICO PARA EL RIO DE LA PLATA

a. - Introducción.

El presente trabajo brinda la adaptación de un modelo unidireccional descrito por Godin (1985) para el Golfo de California. Puesto que las características dinámicas en dicho golfo tienen muchas similitudes con las del Río de la Plata que podrían resumirse en que la señal de marea externa contiene las mismas componentes diurnas y semidiurnas más energéticas (K_1 y O_1 por un lado, M_2 y N_2 por el otro) así como la penetración de la onda en una cuenca con los mismos valores de la marea, corriente de marea y efecto friccional parecidos, hacen que la aplicación al Río de la Plata brinde, en una primera aproximación, un entendimiento adecuado de su dinámica, y a la vez, sea una herramienta útil para planificar futuras mediciones y un esquema preliminar a modelos más complejos pero, consecuentemente, más complejos.

b. - Fundamentación teórica.

Se utilizaron las ecuaciones hidrodinámicas aplicadas a un canal unidimensional de ancho (B) y profundidad (H) variables según tal dirección (x), expresadas por (Defant, 1961):

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -g \frac{\partial z}{\partial x} - \frac{\tau}{H} u |u| \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (BH u) = -\frac{\partial}{\partial t} (Bz) \quad (2)$$

donde u : componente de la corriente según x

g : aceleración de la gravedad

z : d

r :

El término en ríos y la empírico y

Se admiten los efectos superposiciones

$$z = \sum_j z'_j$$

$$u = \sum_j u'_j$$

donde $\{s$

$\{z'_j$

$\{u'_j$

Naturalmente interacción

Se ha denotado (2), y por representar y (4)) y una interacción

z : desplazamiento superficial debido a la perturbación (se supone $H + z \approx H$)

$$r: \frac{g}{2c} = 0.0036, \text{ con } c: \text{ coeficiente de fricción de Chézy.}$$

El término de fricción incluido en (1) explica la presencia de componentes de marea en ríos y la transferencia de energía a otras frecuencias. El valor de la constante r es empírico y se adopta el más comunmente utilizado (Dronkers, 1964).

Se admite que las oscilaciones de marea en la boca del río están poco afectadas por los efectos no lineales y consecuentemente pueden ser representadas por una superposición de armónicas:

$$z = \sum_j z'_j \cos(s'_j t - a_j) \quad (3)$$

$$u = \sum_j u'_j \cos(s'_j t - b_j) \quad (4)$$

donde $\{s'_j\}$ = las frecuencias más representativas de la señal de marea

$\{z'_j, a_j\}$ = las amplitudes y fases de las oscilaciones verticales

$\{u'_j, b_j\}$ = las amplitudes y fases de la corriente de marea.

Naturalmente, los términos convectivo y friccional causarán dentro del río, la interacción entre las componentes de la marea inyectadas en la boca de la cuenca.

Se ha demostrado que dichos términos son más pequeños que los lineales de (1) y (2), y por lo tanto, se puede utilizar una aproximación por perturbación para representar la señal dentro de la cuenca, superponiendo las armónicas originales ((3) y (4)) y una corrección a 1^{er} orden hecha a las armónicas adicionales creados por esta interacción (Kravtchenko y Le Provost, 1970).

Las soluciones de las ecuaciones (1) y (2) pueden expresarse como:

$$u = u^{(0)} + u^{(1)} \quad (5)$$

$$z = z^{(0)} + z^{(1)}$$

donde $u^{(0)}$ y $z^{(0)}$ satisfacen las ecuaciones lineales:

$$\frac{\partial u^{(0)}}{\partial t} + g \frac{\partial z^{(0)}}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial (B H u^{(0)})}{\partial x} + \frac{\partial (B z^{(0)})}{\partial t} = 0$$

Mientras que las correcciones no lineales $u^{(1)}$ y $z^{(1)}$ satisfacen en 1^{er} orden

$$\frac{\partial u^{(1)}}{\partial t} + g \frac{\partial z^{(1)}}{\partial x} = -u^{(0)} \frac{\partial u^{(0)}}{\partial x} - \frac{r u^{(0)}}{H} |u^{(0)}| \quad (7)$$

$$\frac{\partial (B H u^{(1)})}{\partial x} = -\frac{\partial (B z^{(1)})}{\partial t}$$

Los términos no lineales involucran a $u^{(0)}$ exclusivamente. Si

$$U = \sum_j u_j' \quad (8)$$

entonces:

$$v^{(0)} = U \sum_j u_j \cos s_j \quad \text{con } u_j = \frac{u_j}{U} \quad (9)$$

$$s_j = s'_j t - b_j$$

El término convectivo, en dicha aproximación, contribuye al nivel medio y crea las nuevas frecuencias $2s_j$ y $s_j \pm s_k$, y será menor que el correspondiente a fricción.

El término fricción, utilizando la siguiente aproximación :

$$u |u| = \frac{1}{2} \left(m u + \frac{u^3}{m} \right) \quad (10)$$

con $m = 0.7$ para el intervalo $0 \leq u \leq 1$ (Korn y Korn, 1968), crea las nuevas frecuencias : $3s_j$; $s_j \pm s_k \pm s_m$; $2s_j \pm s_k$, así como contribuciones a las frecuencias originales s_j .

Es de resaltar que el amortiguamiento friccional de una armónica dada involucra el efecto de todas las otras presentes en la entrada, o sea que es un efecto mutuo. Esto implica que si se utiliza, como aquí, una expresión para el término de fricción de tipo cuadrático con la velocidad, deben tenerse en cuenta todas las componentes presentes en la entrada en la boca del río y no considerar sólo una. Asimismo, las contribuciones a una componente dada debido a las interacciones entre otras componentes son bastante menores que la del término de fricción que afecta a la frecuencia original (Godin, 1985).

Por lo tanto, teniendo en cuenta únicamente este término, su cálculo puede iniciarse mediante:

$$\frac{u^{(0)} |u^{(0)}|}{U^2} \approx \frac{1}{2} \left\{ \sum_j \left[m u_j + \frac{3}{4m} u_j^3 \right] + \frac{3}{2} u_j \sum_{k \neq j} u_k^2 \right\} \cos s_j \quad (11)$$

Si

$$A_j = \frac{1}{2} \left[m + \frac{3u_j^2}{4m} \right] + \frac{3}{4m} \sum u_k^2, \text{ factor de amplificación} \quad (12)$$

entonces, para la componente j se tendrá :

$$\begin{aligned} \left. \frac{u^{(0)} |u^{(0)}|}{U^2} \right]_j &\approx A_j u_j e^{-i(s'_j t - b_j)} \\ \left. \frac{r u^{(0)} |u^{(0)}|}{H} \right]_j &\approx \frac{r A_j u_j U^2}{H} e^{-i(s'_j t - b_j)} \\ &\approx \frac{r A_j U u'_j}{H} e^{-i(s'_j t - b_j)} \end{aligned} \quad (13)$$

Sea $r_j = \frac{r A_j U}{H}$ coeficiente de amortiguamiento.

El término de fricción para dicha componente será :

$$\left. \frac{r u^{(0)} |u^{(0)}|}{H} \right]_j = r_j u'_j e^{-i(s'_j t - b_j)}$$

Resumiendo, las ecuaciones (1) y (2) para tal componente podrán expresarse mediante:

$$-i s'_j u'_j + g \frac{\partial z'_j}{\partial x} = -r_j(x) u'_j \quad (14)$$

(11)

$$\frac{\partial}{\partial x} (B H u'_j) - i s'_j z'_j B = 0 \quad (15)$$

(12)

c. Implementación del modelo.

Las ecuaciones (14) y (15) pueden ser resueltas por diferencias finitas sobre una secuencia de puntos separados por una distancia $D/2$ en la dirección elegida x . O sea, para una componente dada de frecuencia "s":

$$z_m = z_{m-2} + (i s - r_{m-1}) \frac{D}{g} u_{m-1} \quad (16)$$

$$(B H u)_{n+2} = i s D (B z)_{n+1} + (B H u)_n \quad (17)$$

(13)

con n un número par y m un número impar.

Así, fijadas las condiciones de contorno u_0 y z_1 , mediante la ecuación (17) se obtiene u_2 (con $n = 0$); con este resultado y con la ecuación (16) se halla z_3 (con $m = 3$) y así sucesivamente.

d. Dirección y discretización.

Como es obvio, la dirección a adoptar debe ser aquella que sea representativa de la circulación: en nuestro caso, la dirección de descarga. Para ello se eligió un segmento con origen en el delta del Río de la Plata (en las proximidades de Martín García) y con una dirección perpendicular a la desembocadura en el Océano Atlántico, adoptándose para ésta la recta que une Punta del Este (Rep. Oriental del Uruguay) con Faro San Clemente (Rep. Argentina). La dirección elegida tiene una inclinación aproximada a los 45° respecto a la de los paralelos de la zona en estudio.

Teniendo en cuenta por un lado, toda la información disponible de la región y por otro, el campo de variación de los parámetros involucrados, se concluyó que la utilización de 19 puntos (numerados de 0 a 18, ver Fig.1) equiespaciados brinda una razonable imagen de la situación dinámica. Consecuentemente, la separación entre ellos resulta de aproximadamente 15 km.

c.2. - Parámetros geométricos.

Como puede verse en las ecuaciones (16) y (17) deben considerarse tanto el ancho (B) como la profundidad (H) para cada punto. Para esto, en cada sección transversal, se discretizó en puntos separados por la misma distancia $D/2$ hasta las riberas y se tomó la batimetría en cada uno de ellos (en total, 179).

c.3. - Parámetro de amortiguamiento.

El coeficiente de amortiguamiento (relación (13)) es un dato a introducir en la ecuación (16) para su resolución, o sea, debe darse su valor en cada punto para la discretización y para cada componente.

Para su cálculo debe estimarse el factor de amplificación (relación (12)) y el valor máximo posible instantáneo de la corriente. O sea, si a dicha corriente se la supone representada por un número dado de componentes de marea, deben determinarse las amplitudes de cada una de ellas (u'_j) en cada punto considerado.

Para ello, se efectúa una primera aproximación resolviendo únicamente la ecuación de continuidad (17), poniendo como condición de contorno $u_0 = 0$ e incorporando las constantes de las componentes de marea en los puntos límites ($z_1, z_3, \text{etc.}$). La adopción de tal condición de contorno no debe resultar errónea pues debe recordarse que se estudian las corrientes de marea y no las permanentes.

c.4. - Componentes de marea.

Tal como se señaló en el inciso anterior, se hace necesario dar las condiciones de contorno armónicas de las componentes de marea incluídas en la descripción para cada punto del eje de descarga.

A través del conocimiento previo disponible del río se consideraron las cinco componentes más importantes : dos diurnas (K_1 y O_1) y tres semidiurnas (M_2 , S_2 y N_2), definiendo como importantes las más energéticas, o sea, de mayor amplitud.

Surgiría la pregunta de por qué no incluir más componentes, pudiéndose responder mediante dos consideraciones : una, que el modelo ya de por sí es una aproximación en el que no se considera, entre otros, por ejemplo, el efecto meteorológico, y otra, que la estimación de componentes de menor energía se hace cada vez más imprecisa. Consecuentemente, no se mejoraría sustancialmente la respuesta del modelo.

Para la estimación de las constantes armónicas se realizaron cartas de cotidales (líneas de igual fase, en nuestro caso, la época referida a Greenwich, anotada con G, ver Schureman, 1958) e isoamplitudes para las citadas componentes basadas en la información disponible de 11 estaciones con registros de aceptable continuidad. Ellas fueron : Martín García, San Fernando, Pto. Colonia, Palermo, La Plata, Montevideo, Punta del Este, Oyarvide, Faro San Antonio, San Clemente y Pontón Recalada.

5. - Condiciones de contorno.

La última consideración a efectuar para la resolución de las ecuaciones (16) y (17) es la de las condiciones de contorno de la corriente y de la marea en el delta del Río de la Plata (u_0 y z_1 , respectivamente), para comenzar la iteración.

Godin (1985), empleando parámetros adimensionales, aplica las condiciones:

$$\begin{aligned} u &= 0 \quad \text{en } x = 0 \\ z &= 1 \quad \text{en } x = D/2 \end{aligned} \quad (18)$$

Y al extremo de la integración, el z calculado es ajustado al impuesto en la condición de contorno del extremo abierto, por multiplicación de una constante adecuada, obteniendo así tanto las amplitudes de marea y de corriente como las diferencias de fase entre el contorno abierto y cada punto considerado.

En nuestro caso esto es casi imposible por no disponer de valores ciertos en las proximidades del punto de intersección del eje de descarga y de desembocadura.

Ante dicha dificultad se resolvió analizar aproximaciones sucesivas modificando los valores elegidos para z_1 de forma tal que la respuesta del modelo en algún punto fuese lo más coincidente posible con los valores realmente observados.

Es así, que adoptando como representativas las constantes de la corriente derivadas de las observaciones en Madrugada y Apipé (punto 4), se fue modificando los valores de amplitud y época para las cercanías del delta. Las variaciones en amplitud no traen problemas pues el rango es estrecho por ser un valor más pequeño (la onda de marea se va atenuando pronunciadamente hacia arriba) aunque la elección de la época debió hacerse cuidadosamente a fin de tener una muy buena coincidencia en fase, de importancia para obtener una buena representación dinámica del río.

Naturalmente, para ello, se optó por no manejar parámetros adimensionales sino las épocas G .

d.- Resultados.

Los resultados obtenidos para las constantes armónicas de las cinco componentes de marea mediante la aplicación del modelo descrito en las secciones precedentes están condensados en las figuras 2 a 5. Las amplitudes y épocas para la marea se brindan en las figuras 2 y 3 respectivamente. Respecto a las primeras se observan, recorriendo el río desde la desembocadura hacia el delta, su incremento desde el Océano Atlántico hasta el punto caracterizado como 13 donde ocurre una fuerte disminución de su sección; a partir de aquí y hasta el punto 7 (proximidad de Atalaya) hay un notable amortiguamiento de las ondas de marea, para llegar finalmente al delta con una muy reducida amplitud. En cuanto a las épocas, según lo citado en c.4, pues permite relacionar simultáneamente fases para distintos lugares geográficos) muestran un crecimiento monótono desde la boca hacia arriba, indicando la dirección de propagación de la onda de marea. Además, se podría esperar encontrar puntos anfidrómicos dentro del río. También cabe mencionar el carácter fuertemente semidiurno del régimen de marea, por los valores de amplitud de las componentes insertadas en dicha banda espectral.

La figura 4 ofrece las amplitudes de la corriente en la dirección de descarga. Es de destacar su aumento progresivo hacia la desembocadura. La figura 5 da las fases de las componentes de la corriente de marea, entendiéndose como la aquella que, dividida por la velocidad angular correspondiente, da el tiempo de

la culminación

Claramente la predicción calendario

Como es un componente circulatorio y admitiendo en las figuras (parte superior) ocurren mareas (por corriente de descarga

e. - Con

e.1. - M

Para el deducido mitad de de desc en la ci K_1 y O_1 cm, pu si una se hall y 219° Aunq aprox en re desta las di haci

la culminación en Greenwich del astro ficticio asociado a la componente en cuestión.

Claramente, con el conjunto de las constantes armónicas dadas, es posible realizar la predicción tanto de marea como de corriente de marea para cualquier tiempo calendario dado, con la metodología empleada en mareología.

Como es sabido, debido a que tanto las amplitudes como las fases de cada componente no son constantes en el tiempo, no es posible brindar un esquema circulatorio para el río involucrando simultáneamente a todas ellas. En consecuencia, y admitiendo que la componente lunar principal M_2 es la más representativa, se dan en las figuras 6 a 11 la marea (parte inferior de cada figura) y la corriente de marea (parte superior) a lo largo del eje de descarga, tomando como referencia temporal la ocurrencia de la pleamar (también de esta componente) en Palermo. Los niveles de marea (positivos y negativos) están referidos al nivel medio del mar mientras que corrientes positivas o negativas indican respectivamente corriente en el sentido de descarga o contrario a éste.

e. Comparación con datos observados.

e1. Mareas.

Para este caso, la única correlación realmente válida corresponde a la de los valores deducidos para las constantes armónicas de Torre Oyarvide con los del punto 9 (en mitad del río aproximadamente), al no disponerse de otras observaciones en el eje de descarga. Respecto a las amplitudes surgidas de los análisis armónicos de los datos en la citada estación : 31.7, 5.6, 12.2, 5.7 y 14.2 cm para las componentes M_2 , S_2 , N_2 , K_1 y O_1 respectivamente, con las obtenidas por el modelo : 23.8, 3.9, 8.7, 4.4 y 11.4 cm, puede rescatarse que, a pesar de tener todas valores más pequeños, guardan entre sí una relación excelente. En cuanto a las fases (época G), para la estación Oyarvide se hallan los valores de 145.7, 231.9, 106.3, 4.1 y 190°.8 versus 162.3, 248.4, 119.3, 11.9 y 219°.6 del modelo, para la misma secuencia de componentes de marea indicada. Aunque parezca que las componentes semidiurnas están corridas en aproximadamente 15°, debe tenerse en cuenta que la Torre Oyarvide se encuentra, en realidad, entre los puntos caratulados con 9 y 10, lo que explica exactamente tal desfase al evaluarlo mediante la separación entre cotidales (en forma análoga para las diurnas); además, nótese que el sentido del corrimiento es correcto (crecimiento hacia el delta pues la onda de marea es entrante).

e.2. - Corriente de marea.

Dejando de lado la correlación entre las mediciones efectuadas en M y Apipé con el punto 4, pues, como ya se indicó en c.5, se adecuó la c mediante la condición de contorno, cabe la comparación entre las obs realizadas en algunas estaciones internas del río reseñadas en el trabajo y otros (1979) con los resultados para la componente M_2 aportados por descripto aquí.

La estación indicada con XV en dicho trabajo puede corresponder interpolación entre los puntos 12 y 14 del modelo. En ambas, la máxima saliente se produce entre las -4 y -3 horas de la ocurrencia de la pleamar mientras que sus módulos son respectivamente 0.25 y 0.44m/s. De igual corresponden la estación XIX con el punto 16, la máxima corriente entrante a las +1 hora para ambas, con valores de 0.40 y 0.69 m/s. Por último a la estación XXV con el punto 18 (en la boca del río), la hora de ocurrencia máxima corriente entrante está temporalmente desfasada (-0.5 vs +0.5) las intensidades de 0.31 y 0.65 m/s, respectivamente.

Resumiendo, hay una buena coincidencia temporal y aceptable res módulos, tanto en la parte superior como inferior del río aunque en su p (correlación entre la estación XIII y el punto 10) no sea precisa en el t

f. - Conclusiones.

El modelo presentado ofrece una descripción cualitativa y cuantitativa de la circulación en el Río de la Plata, dando una imagen adecuada tanto en relación a la marea como a la corriente de marea a lo largo del eje de descarga. Se puede apreciar nítidamente la configuración de dos (y a veces tres) células de circulación distribuidas en la parte superior e inferior del río.

Los resultados obtenidos tienen una concordancia muy aceptable con la información disponible. Respecto a ésta, cabe mencionar que casi total carencia de carácter costero, hecho que limita acentuadamente las comparaciones. Particularmente serio pues como la cuenca en estudio tiene forma de embudo, se hace necesario contar con datos observacionales en el punto para tener un conocimiento más claro de la circulación. Por lo tanto, se debe dedicar esfuerzos para subsanar dicha carencia, particularmente en la necesidad de efectuar un ajuste más adecuado de la condición de contorno.

Bibliografía.

- Defant, A.* 1961. Physical Oceanography, Vol. 2, Pergamon Press. New York
- Dronkers, J. J.* 1964. Tidal Computations in Rivers and Coastal Waters. North-Holland, Amsterdam.
- Godin, G.* 1985. Frictional Damping of the Tide in the Gulf of California. *Goef. Int.*, Vol. 24, N° 2.
- Kom, G. y Kom, T.* 1968. Mathematical Handbook for Scientists and Engineers, McGraw-Hill, New York.
- Kravtchenko, J. y Le provost, C.* 1970. Une Méthode Approchée de Calcul des Composantes de la Marée Littorale, C. R. Acad. Sc. Paris, 270 A.
- Lanfredi, N.; Schmidt, S. y Speroni, J.* 1979. Cartas de Corrientes de Marea (Río de la Plata), S.I.H.N., Dto. Oceanografía, IC-IT-79/03.
- Schureman, P.* 1958. Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides, United States, Government Printing Office, Washington

estuardas en Madrugada I
adecuó la coincidencia
entre las observaciones
en el trabajo de Lanfredi
reportados por el modelo

corresponderse con una
tas, la máxima corriente
de la pleamar en Palermo
4m/s. De igual forma, al
corriente entrante ocurre
Por último al comparar
hora de ocurrencia de la
(-0.5 vs +0.5 hs.) siendo

aceptable respecto a los
unque en su parte media
precisa en el tiempo.

iva y cuantitativa de la
cada tanto en lo referente
eje de descarga. Puede
(tes) células circulatorias

muy aceptable con la
que casi totalmente es de
comparaciones. Esto es
tiene forma de amplio
tales en el precitado eje
lo tanto, se recomienda
mente en la boca a fin de
mo.

Figura 1

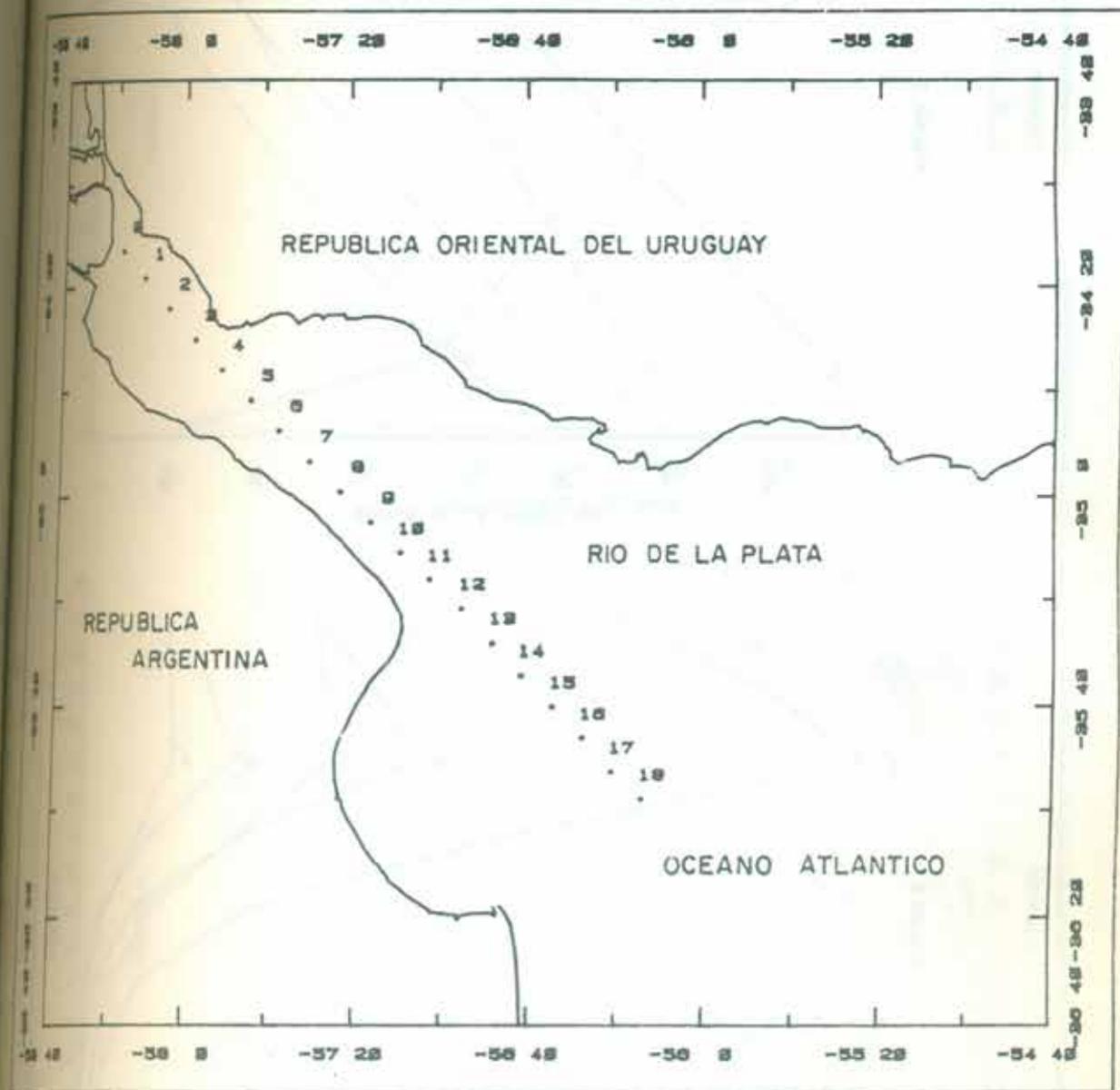


FIGURA 1

FIGURA 2

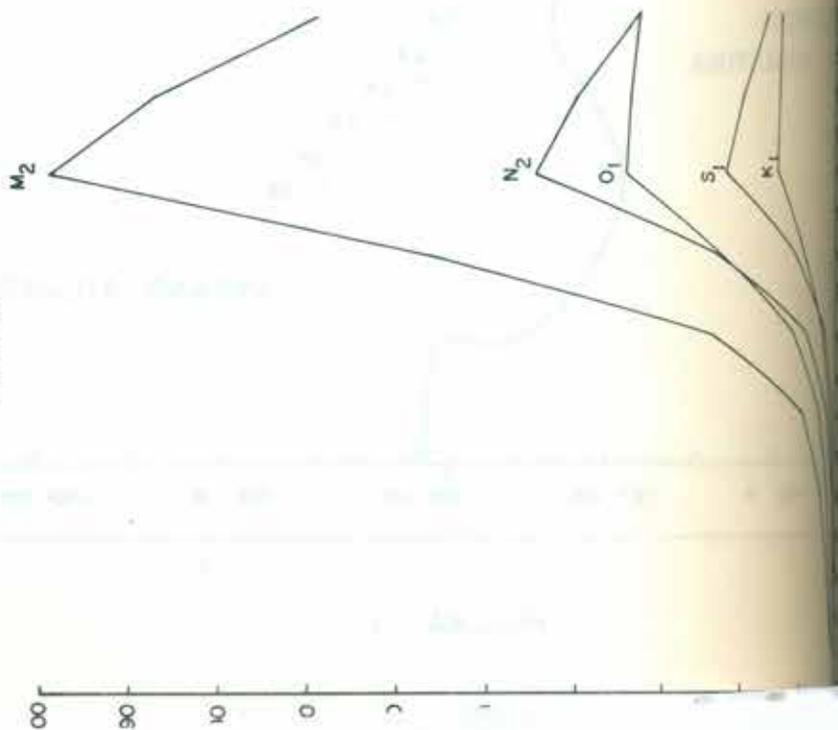


FIGURA 3

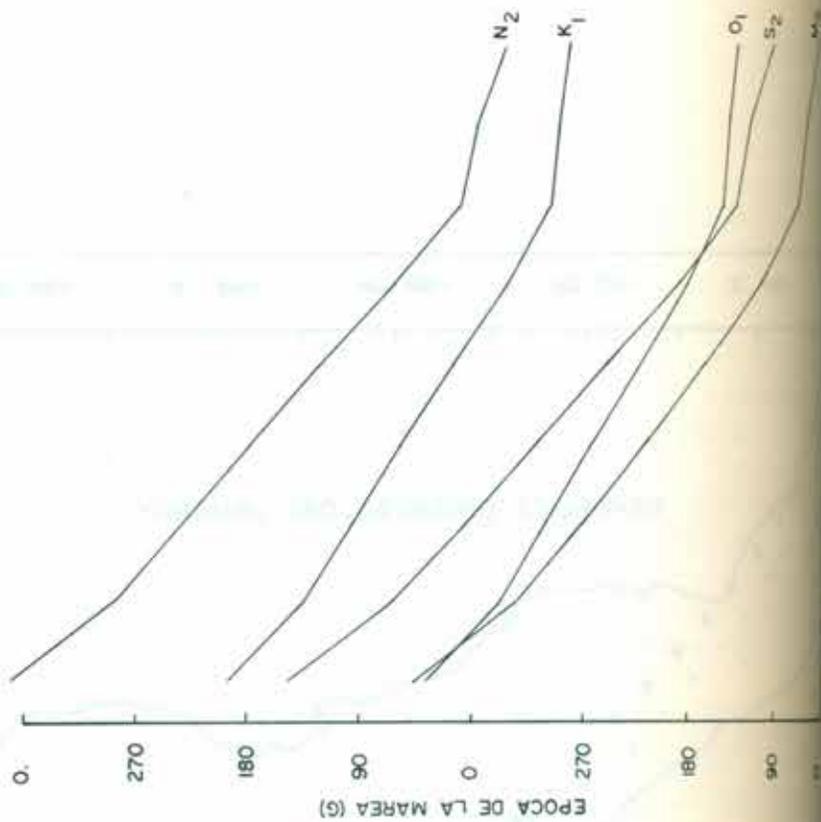
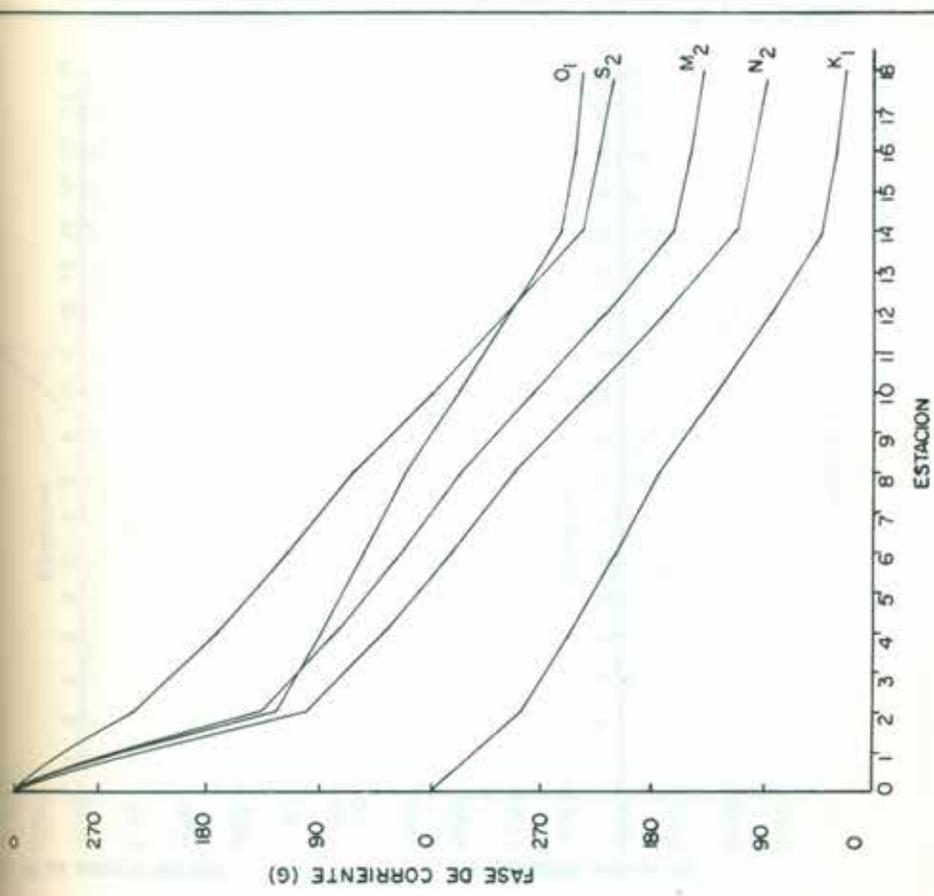
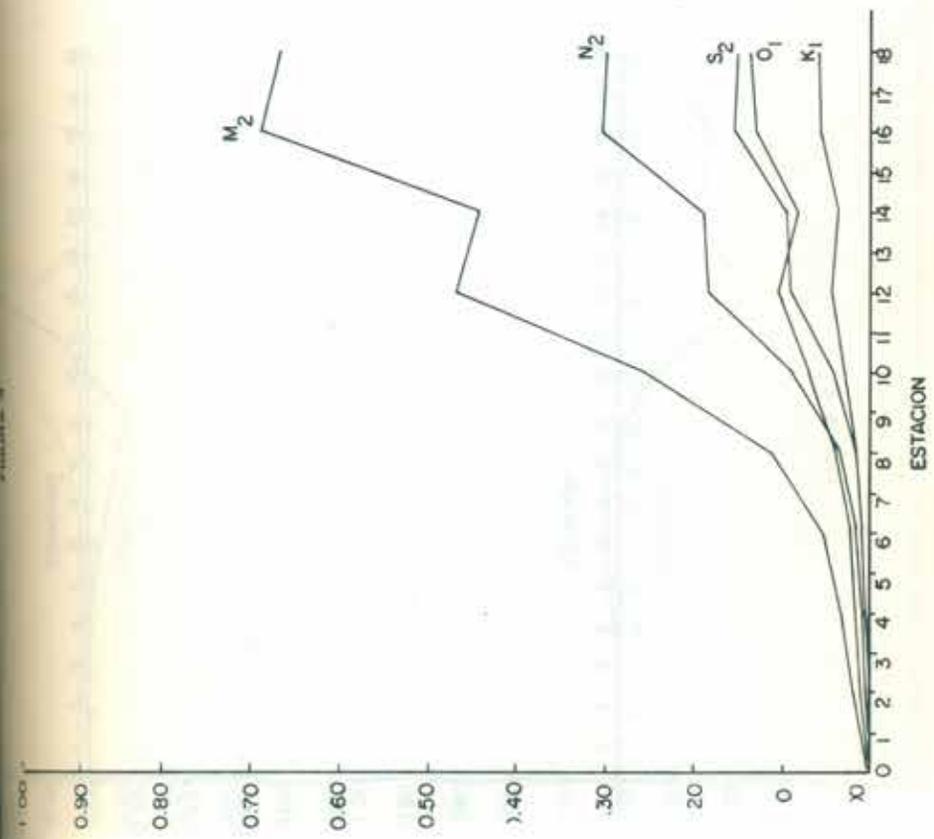
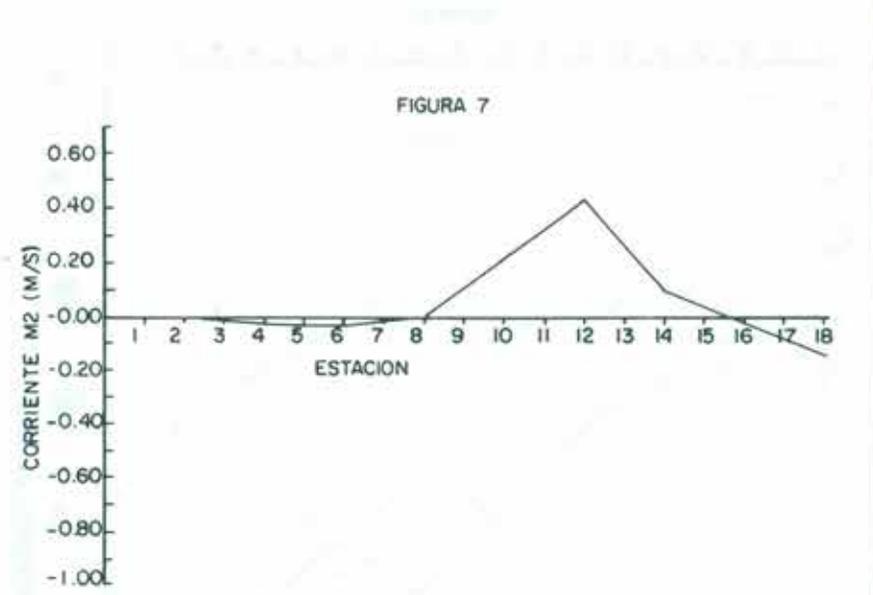
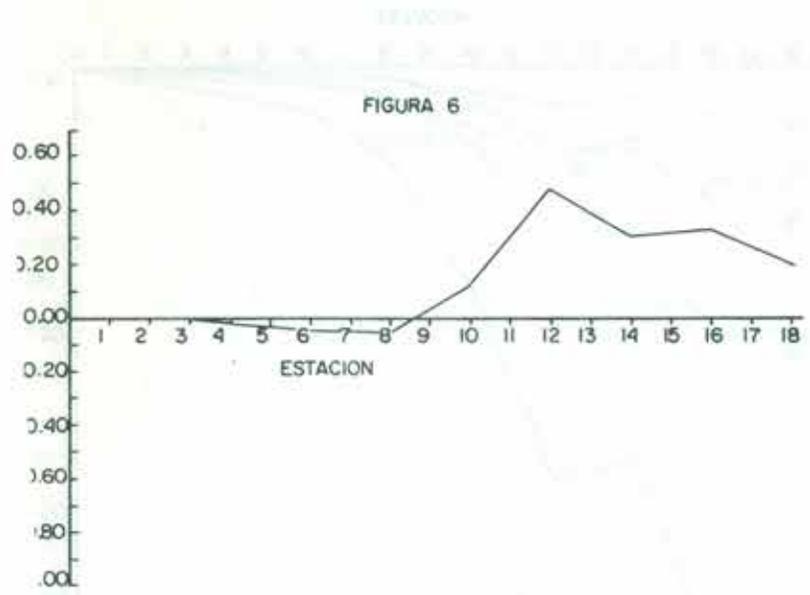


FIGURA 10





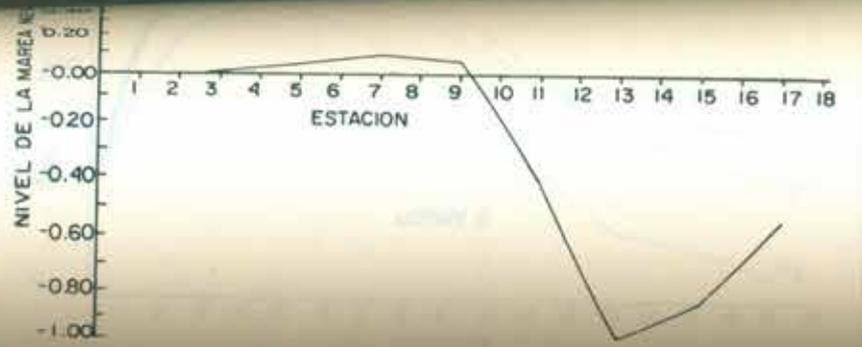
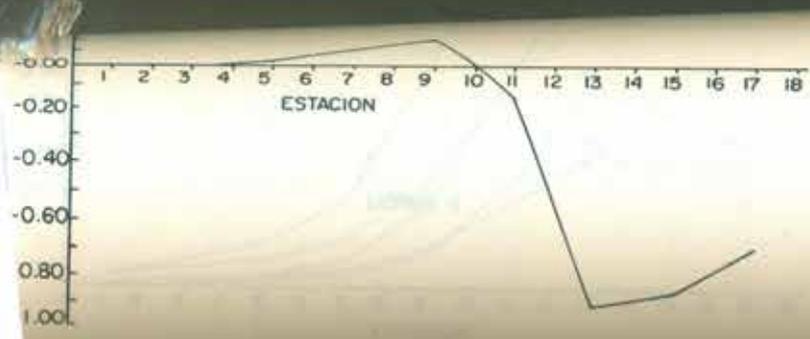


FIGURA 8

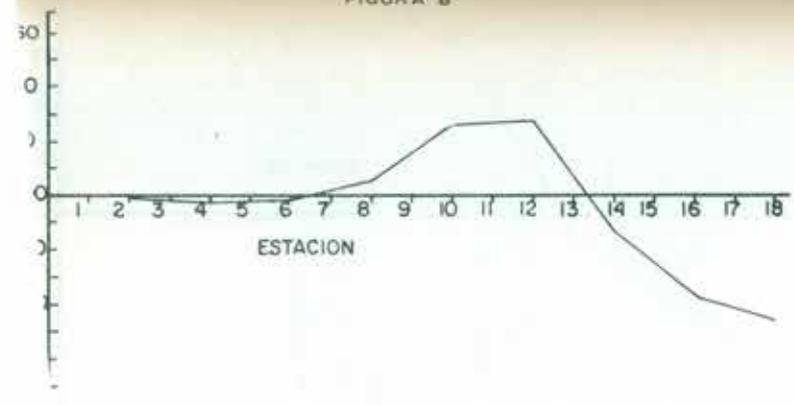


FIGURA 9

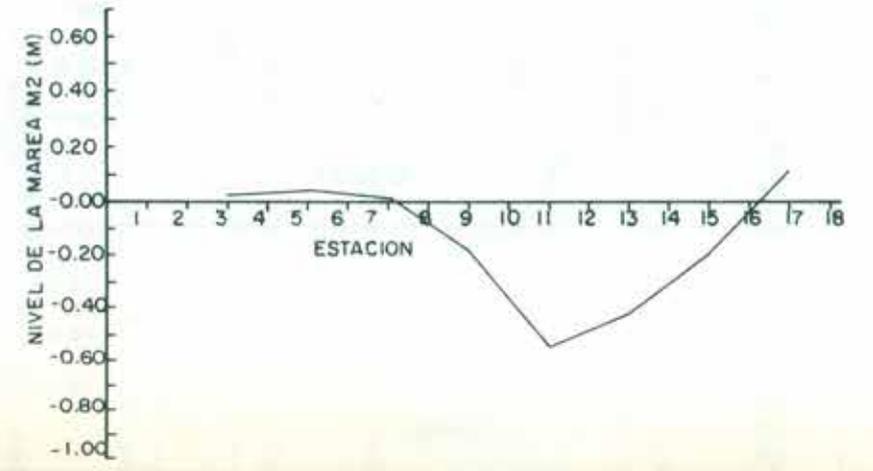
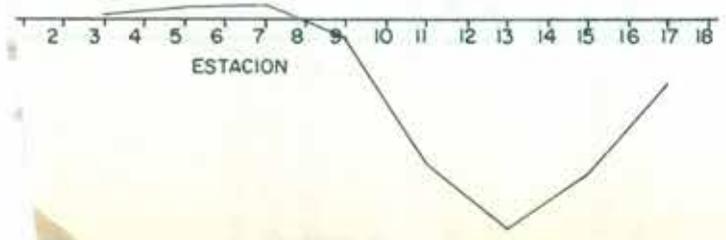
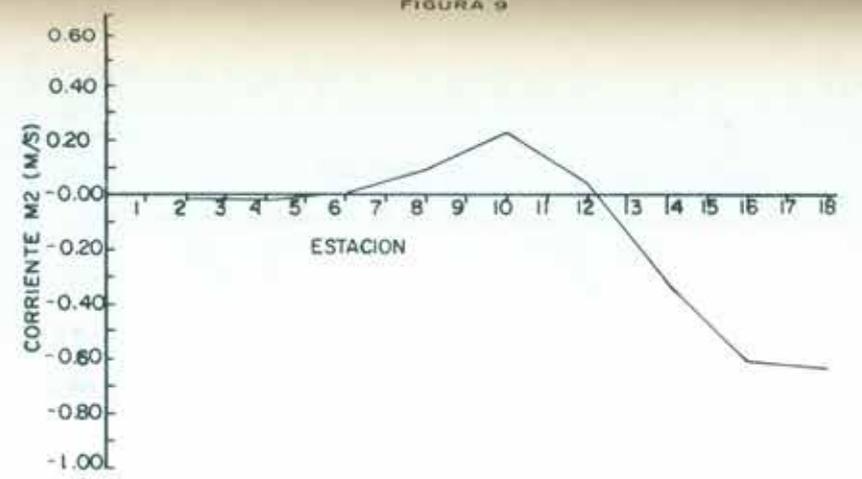


FIGURA 10

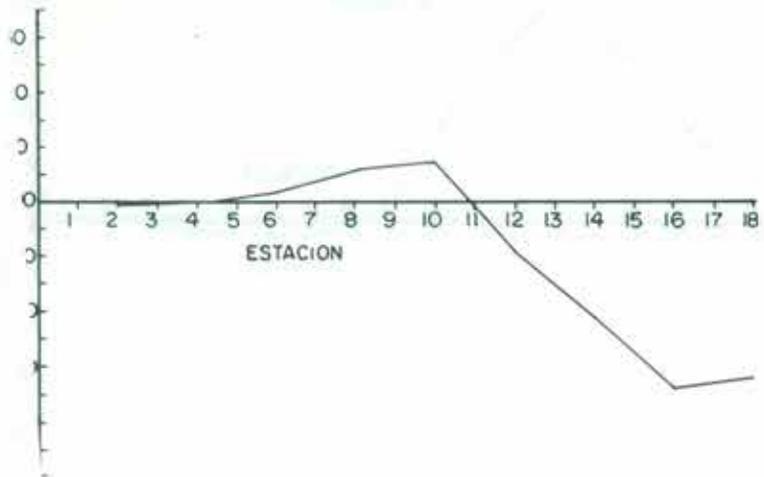
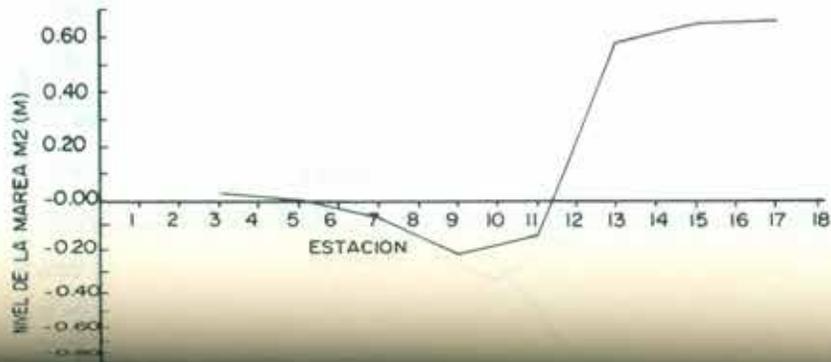
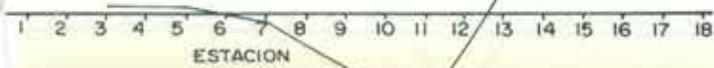
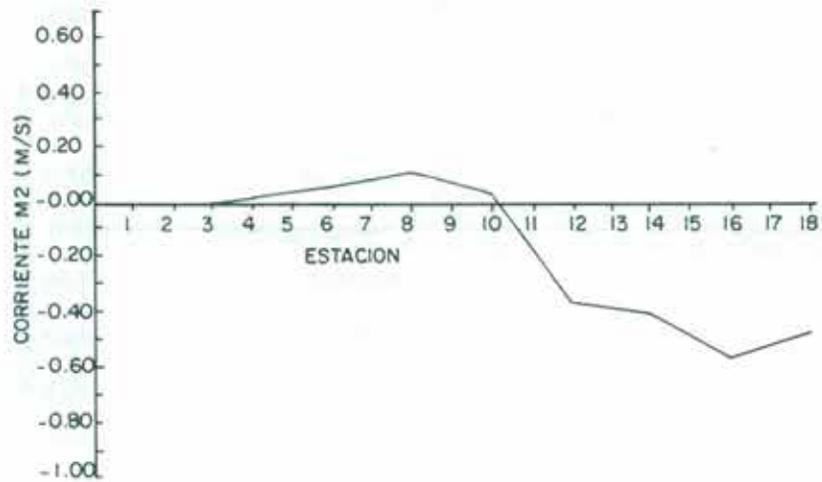


FIGURA 11



ANEXO 2.2.- CONSIDERACIONES SOBRE LOS EFECTOS DE LA SALINIDAD EN LA CIRCULACION.

La intrusión de agua salada en ambientes fluviomarinos es un factor importante en la hidrodinámica de los mismos por ser un modificador del régimen de flujo.

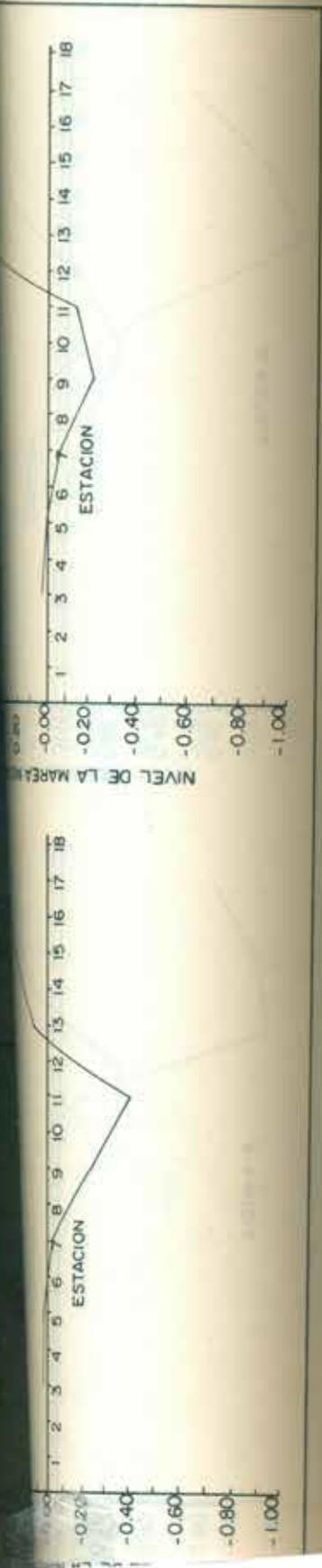
Dicho régimen está, en este tipo de ambientes, gobernado por cuatro factores dinámicos que determinan la dirección y magnitud de la corriente a distintas profundidades y distancias medidas desde la boca. En orden a su importancia, ellos son:

- a) el efecto de la marea que es función de la fuerza generadora de la misma en la entrada;
- b) el efecto de las fuerzas de gravedad debidas a las variaciones en la densidad entre el agua dulce proveniente de fuentes ubicadas en la zona Superior o Interior y el agua salada entrando desde el mar;
- c) las fuerzas de gravedad necesarias para producir un transporte neto de agua dulce mar afuera;
- d) las fuerzas de Coriolis y las fuerzas centrífugas que inducen movimiento en sentido transversal debido a la rotación terrestre y a la curvatura del área, respectivamente.

Las corrientes generadas por las mareas generalmente se determinan mediante un tratamiento unidimensional dando como resultado velocidades medias para cada sección (Mazio, 1987).

Obviamente, el valor medio de la corriente de marea en un ciclo de marea es cero; sin embargo, para cualquier instante, existe un flujo cortante (variación de la corriente con la profundidad) que es uno de los mecanismos de mezcla de agua dulce y salada.

Generalmente para su estudio, se desacoplan el movimiento transitorio de ida-vuelta de un volumen diferencial en cualquier sección, de los efectos debidos a las diferencias de densidad, como si éstas ocurrieran bajo condiciones estacionarias



Se está de acuerdo en que, con buen grado de aproximación, la teoría de mareas es suficiente para definir la conducta mareológica en un sistema fluviomarino (especialmente si es bien mezclado), y, consecuentemente, despreciando los efectos de salinidad y de flujo neto saliente de agua dulce.

Dos casos extremos surgen para las intrusiones salinas, como resultado de la acción de mareas, según sea mínima o intensiva la mezcla producida por las corrientes de marea. Para el primer caso se distinguen claramente dos zonas: una inferior en la que la salinidad es prácticamente igual a la del océano y la superior en la que el agua dulce fluye casi sin mezcla con la salada hacia el mar, definiéndose claramente una interfase llamada cuña salina, que actúa hidráulicamente como una presa sobre la cual el agua dulce descarga al mar. La gran diferencia de densidades es capaz de suprimir la mezcla turbulenta y las ondas en la interfase dando una cuña salina estable. La débil acción de la marea provocará así un movimiento traslatorio hacia adelante y hacia atrás de la cuña.

En el caso de sistemas bien mezclados, la interfase no está claramente definida. Las corrientes de densidad generadas por los gradientes longitudinales y verticales de salinidad están ahora acoplados al proceso de mezcla producidos por los flujos cortantes de marea.

Aunque las corrientes de marea son mucho más intensas que las de densidad, éstas son muy importantes para el proceso de difusión. Este dependerá de una combinación de tres mecanismos :

- a) difusión turbulenta como encuentro en mezcla aleatoria;
- b) proceso de dispersión inherente a los flujos cortantes transitorios generados por las mareas;
- c) circulación interna generada como resultado de las diferencias de densidad.

No es posible hallar una solución de las ecuaciones dinámicas de movimiento conjuntamente con la ecuación general de difusión y, por lo tanto, la aproximación analítica debe ser un compromiso entre los hechos observados y formas altamente simplificadas de la ecuación de difusión. La primera aproximación que se puede admitir es la de suponer que el proceso de intrusión es cuasi-estacionario efectuando promedios temporales de la salinidad y las corrientes. Esto trae un

consecuencia la eliminación de sus variaciones locales debidas a la acción de las mareas.

Con el fin de ofrecer una descripción física de la situación, se combinará el proceso de difusión con los flujos cortantes de la marea y las corrientes internas surgidas por las diferencias de densidad del agua. Las distribuciones de la salinidad así analizadas pueden ser transpuestas a perfiles instantáneos en distintos tiempos del ciclo de marea mediante la superposición de las corrientes generadas por ella.

Se presenta a continuación un modelo unidimensional; para el mismo, la ecuación de difusión puede reducirse a :

$$\frac{\partial s}{\partial t} + u(x,t) \frac{\partial s}{\partial x} - U_f \frac{\partial s}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial s}{\partial x} \right) \quad (1)$$

donde :

x es la dirección de descarga, con $x = 0$ en el extremo oceánico y sentido corriente arriba.

t es el tiempo, con $t = 0$ la ocurrencia de la bajamar en el extremo oceánico.

U_f la velocidad del agua dulce aportada

s la salinidad
 u la velocidad según x
 D_x el coeficiente de difusión
 }
 función de " x ", " t " y constantes con la profundidad " h "

Suponiendo que el coeficiente de difusión D_x es independiente del tiempo (o equivalentemente, que la variación de la salinidad debida a la convección de sal es compensada por el aporte de agua dulce), la salinidad variará periódicamente con la marea. Promediando sobre un período del orden del ciclo de marea (anotando mediante una barra superior), la ecuación anterior quedará simplificada :

$$-U_f \frac{\partial \bar{s}}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial \bar{s}}{\partial x} \right) \quad (2)$$

Como ya ha sido indicado, un proceso de difusión en presencia de diferencia de densidad entre el agua dulce y la salada recibidas en un ambiente como el que ocupa debe estar significativamente afectado por las corrientes convectivas y la circulación interna. Esta convección de carácter bidimensional puede ser representada unidimensionalmente reemplazando el coeficiente de difusión por otro (D'_x), llamado de difusión aparente, dependiente únicamente del flujo cortante de marea. Naturalmente su valor será mayor que el primero y se aproximará a éste en el caso que los efectos del flujo cortante predominen netamente sobre los de circulación convectiva. A ambas se las supondrá distribuidas de la misma manera sobre la longitud de la intrusión. Resolviendo (2):

$$\ln \frac{\bar{s}}{s_0} = -\frac{Uf}{2BD'_0} (x^L + B)^2 \quad (3)$$

para $x^L + B > 0$

donde \bar{s} y s_0 representan las salinidades locales y oceánicas, respectivamente

D'_0 el valor máximo del coeficiente de difusión aparente en la boca (1)

La distribución de la salinidad dada por la ecuación (3) está especificada por la situación de bajamar (supraíndice L), y responde a una curva gaussiana. La distancia B es la longitud en bajamar desde el extremo oceánico hasta la concentración máxima posible ($s/s_0 = 1$).

A partir de (1) considerando sólo los términos significativos para el movimiento traslatorio en un ciclo de marea, la solución de la ecuación resultante puede combinarse con la (3) a fin de determinar la variación temporal de la salinidad en dicho ciclo. Para ello es necesario suponer que la marea puede representarse mediante:

$$\eta = -a_0 \cos \sigma t \quad (4)$$

con σ la frecuencia y a_0 la amplitud (supuesta constante y simultánea sobre la longitud total de la intrusión salina). Con la condición de continuidad y admisión de que las velocidades y amplitudes están desfasadas 90° en la boca, entonces la corriente de marea puede expresarse como:

$u(x,t)$

siendo u_0

De lo anterior en cualquier

$s(x)$

con

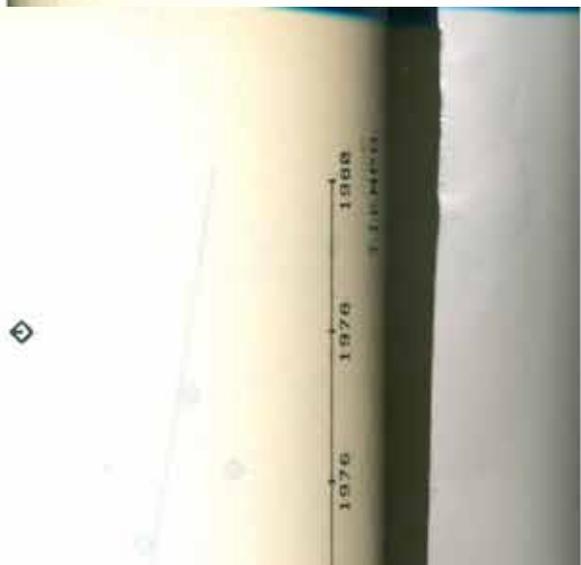
La intrusión especificada obtiene:

L

Análogo con un valor

L

Depende del océano alcanza su



$$u(x,t) = u_0 \left(1 - \frac{a_0 s_0}{h u_0} x \right) \sin \sigma t \quad (5)$$

siendo u_0 la corriente máxima en $x = 0$.

De lo antedicho resulta que la salinidad puede darse para cualquier distancia x y en cualquier tiempo de marea mediante :

$$\frac{s(x,t)}{s_0} = \exp \left[-\frac{Uf}{2BD'_0} \left[N - (N - x) e^{-\frac{a_0}{h}(1-\cos \sigma t)} + B \right]^2 \right]$$

con (6)

$$N = \frac{h u_0}{a_0 \sigma}$$

La intrusión máxima de la salinidad ocurre en pleamar (P , para $\sigma t^P = \pi$); especificando dicha longitud ($x = L^M$) para una salinidad de 1% de la del océano, se obtiene :

$$L^M = N \left(1 - \exp(-2a_0/h) + \exp(-2a_0/h) B \left[3(D'_0/U_f B)^{1/2} - 1 \right] \right) \quad (7)$$

Análogamente, la longitud de la intrusión mínima ($x = L^m$) ocurrirá en bajamar, con un valor :

$$L^m = B \left(3(D'_0/U_f B)^{1/2} - 1 \right) \quad (8)$$

Dependiendo de la velocidad del flujo de agua dulce, para $t = 0$ en $x^L = 0$ (entrada del océano) hay bajamar y salinidad mínima; en dicho instante, la salinidad más alta alcanza su posición más externa ($x^L = -B$) en una extensión hipotética del área, más

allá de la cual, la salinidad del océano es supuesta constante. En algún tiempo tarde (t_B), dicha relación máxima ($\bar{S}/S_0 = 1$) habrá alcanzado la posición $x = B$. Vinculando entre ambos eventos y suponiendo que la relación a_0/h es pequeña, se obtiene:

$$B \approx \frac{u_0}{\sigma} (1 - \cos \sigma t_B) \quad (9)$$

Así, el parámetro B podría obtenerse con la observación en la entrada de las salinidades medias sobre la profundidad h desde la bajamar hasta su valor máximo alcanzado al tiempo t_B .

Determinado B , el coeficiente de difusión aparente D'_0 puede calcularse mediante (3), midiendo la salinidad en bajamar a la entrada:

$$D'_0 = \frac{U_f B}{2 \ln (s_0/s_{\min})} \quad (10) \quad \text{en } x^L = 0$$

Resumiendo, conociendo los parámetros mareológicos a_0, u_0, σ , la variación de la salinidad en la entrada (s y t_B en $x = 0$), la profundidad y el flujo de agua dulce, el modelo permite obtener la distribución instantánea de la salinidad.

Las corrientes causadas por la marea a la entrada son, en general, de flujo durante la creciente y reflujo durante la bajante. Despreciando los efectos de flujo de agua dulce y la diferencia de densidad, las intensidades y direcciones de las corrientes de marea son función de la amplitud de la marea en la boca, del régimen de marea oceánica (semidiurno, diurno y mixto) y de las características físicas del sistema en cuestión.

En un sistema fluviomarino dado, las corrientes de marea son más intensas durante las sicigias y más débiles durante las cuadraturas. Su intensidad es función de la masa de agua desplazada horizontalmente durante la creciente y bajante, de la marea y del área transversal a través de la cual se mueve. Por lo tanto, se puede inferir que "mareas grandes, fuertes corrientes; mareas pequeñas, corrientes débiles". Una amplitud de marea grande en la entrada de un río de gran caudal y gran área transversal puede producir corrientes muy débiles; inversamente, una amplitud pequeña de marea en la entrada de un canal conectado a una bahía amplia puede producir corrientes muy intensas.

Si no tener en cuenta los efectos provocados por el agua dulce y la variación en la densidad, las corrientes de marea de flujo y reflujo vinculadas a un régimen semidiurno (dos pleamares por día de similar altura y duración) son esencialmente iguales en magnitud y dirección. Sin embargo, si la desigualdad diurna es significativa, existen apreciables diferencias entre aquellas.

La diferencia de fase entre la marea y la corriente asociada varía significativamente de un sistema fluvio-marino a otro, y, dentro de uno dado, de un lugar a otro. En ambientes amplios, dicha diferencia es de aproximadamente 90° (la máxima corriente de reflujo coincide con la bajamar y la de flujo con la pleamar) en la desembocadura; en el extremo superior, las corrientes y la marea están en fase (el máximo reflujo ocurre entre la pleamar y la bajamar, y viceversa para el máximo flujo). Esta última situación también se presenta en ambientes pequeños.

La cantidad de agua dulce recibida desde las zonas de drenaje y su grado de mezcla con agua salada son de fundamental importancia en la circulación vertical del sistema y pueden causar cambios significativos en las intensidades y direcciones de la corriente de marea. La consecuencia del aporte mencionado será la de una reducción en el flujo entrante y un aumento en el saliente dando como balance un flujo neto en la dirección de reflujo pues fluirá un mayor volumen de agua dulce hacia afuera durante el mismo, comparado con el dado por la corriente de reflujo.

Cuando el flujo entrante de agua dulce es grande respecto al de marea, ambas aguas se encuentran claramente separadas: la dulce fluyendo hacia el mar en una capa superficial y la salada introduciéndose como cuña. La extensión de la penetración de la cuña es función de la profundidad, de la descarga de agua dulce y de la diferencia de densidad. Se delimitan dos zonas separadas por el límite de la intrusión, destacándose en la superior (corriente arriba) que la corriente tiene la dirección de reflujo a toda profundidad pues, al ser un sistema altamente estratificado, no hay normalmente inversión de flujo por la acción de la marea. En la región de la intrusión salina, en cambio, la dirección de la corriente desde la superficie a la interfase es hacia la entrada; por debajo de la misma, el agua salada tiene igual dirección en un espesor dado y se invierte en una capa adyacente al fondo.

En los ambientes parcialmente mezclados, las corrientes de marea son suficientes para producir una apreciable mezcla vertical entre el agua dulce y salada, y ésta avanza y retrocede con cada creciente y bajante de la marea. Aunque la interfase no está claramente definida, ella está señalada en la transición que se encuentra en el

perfil vertical de la salinidad o en el de las corrientes. En la zona de aguas de la intrusión, a pesar de haber inversión de flujo con la fase de la marea, la corriente de refluo predomina sobre la de flujo en toda la vertical debido a la descarga de agua dulce. En la región de la intrusión salina, la dirección de la corriente cerca de la superficie y del fondo se invierte con la fase de la marea. Encima de la interfase, el flujo neto es aguas abajo, y, por debajo de ella, es aguas arriba.

En los sistemas bien mezclados, las fuerzas de marea predominan sobre el avance de agua dulce y, a veces, puede distinguirse una interfase embrionaria. La salinidad decrece progresivamente desde el extremo oceánico y, a su vez, la salinidad en el fondo excede normalmente a la de superficie en un 15 a 25%. Las corrientes se invierten con la fase de la marea en todo el área. En las regiones de agua dulce y salada, las corrientes de refluo predominan sobre las de flujo en las profundidades por la descarga del agua dulce. En las regiones intermedias de alta salinidad, sin embargo, las corrientes en el fondo tienen una intensidad y la dirección de flujo ligeramente mayor que las de refluo.

Con el fin de obtener una descripción acabada de la circulación vertical debe efectuarse el análisis de las corrientes medidas en varias localidades a diferentes profundidades en todo el sistema durante ciclos completos de marea.

Naturalmente una variación de la descarga del agua dulce puede modificar el grado de mezcla. Asimismo, la profundización y otras mejoras para la navegación en los canales del mismo provocarán cambios. Cuando los canales son dragados, el agua salada puede penetrar más lejos aumentando el grado de la estratificación vertical al disminuir las corrientes de marea.

Hay evidencia de que en la mayoría de los sistemas fluvio-marinos, en los períodos anteriores a la acción del dragado, existía un grado de equilibrio entre el suministro de sedimentos y la habilidad de las corrientes de marea para removerlos. Los bancos transversales fueron caracterizados por la entrada de barras y bancos transversales en el sistema. Es probable que los sedimentos se acumularan gradualmente en los bancos transversales durante los períodos de flujo normal ó pequeño de agua dulce y derramados fuera de él en períodos de flujo grande. Cuando la profundización de los bancos fue progresivamente aumentada por el dragado, sus formas sufrieron notables cambios por la consecuente variación de la circulación vertical.

En la zona de aguas arriba con la fase de la marea, la circulación vertical debido a la marea salina, la dirección de la marea con la fase de la marea; por debajo de ella, es aguas

predominan sobre el flujo en una interfase embrionaria. La marea oceánica y, a su vez, la salinidad en un 15 a 25%. Las mareas en el área. En las regiones de marea sobre las de flujo en todas las regiones intermedias y las mareas tienen una intensidad en flujo.

La circulación vertical deberá tener en varias localidades y efectos de marea.

El agua dulce puede modificar el tipo de marea para la navegación en los canales son dragados, el agua dulce de la estratificación vertical,

en fluvio-marinos, en tiempos de equilibrio entre el suministro de marea para removerlos. Ellos bancos transversales dentro de los canales gradualmente en los canales o pequeño de agua dulce. Cuando la profundidad de los canales, sus formas sufrieron cambios en la circulación vertical.

En un ambiente del tipo bien mezclado se ha verificado que generalmente los bancos se forman en las regiones de gran sección transversal, adyacencias a islotes, bifurcaciones de canales, etc. Aunque es dudoso que en tal situación la circulación vertical sea determinante, por la extrema dificultad del traslado de los sedimentos del mar afuera mediante las fuerzas naturales, es posible que durante períodos de gran descarga de agua dulce, la circulación vertical sea importante.

A pesar de que otros factores deberán considerarse en la sedimentación en este tipo de ambientes parece cierto que la forma de la circulación vertical es el efecto dominante en la mayoría de ellos.

En el trabajo de seminario de investigación del Lic. Fernando Caviglia ("Intrusión de agua salina en el Río de la Plata", 1988), se analizaron 1550 mediciones de salinidad recopiladas del archivo de datos del SOHMA, dándose, mediante ellas, una descripción de sus distribuciones horizontales y verticales. Se señala que la salinidad es mayor en la costa uruguaya que en la argentina y se supone la existencia de ciertas intrusiones (una entre la costa uruguaya y el banco Inglés, y otra al sudoeste del banco Rouen), que asocia a la penetración de dos ondas de marea oceánicas. Además, se infiere que el frente entre el agua dulce y salada podría ubicarse entre las líneas que unen Punta Piedras - Punta Espinillo y Punta Indio - Punta Tigre, ascendiendo hacia el norte en situaciones meteorológicas excepcionales (persistente viento del cuadrante S-E). Nagy et al. (1987), indican este límite móvil, con ligero corrimiento hacia el sur sobre la costa argentina. Por último, se caracteriza al Río de la Plata inferior o exterior como ambiente parcialmente mezclado lateralmente inhomogéneo.

Con una adecuada planificación de mediciones a fin de implementar un modelo predictivo de la salinidad como el descripto (u otros), se establecerán las bases para el entendimiento de la circulación y para la predicción del transporte de otras sustancias conservativas solubles, por ser la sal un trazador natural. Asimismo, constituirá una herramienta idónea para explicar el comportamiento dinámico de sustancias sólidas y no conservativas, debiéndose obtener información adicional sobre floculación y sedimentación para las primeras y sobre producción y decaimiento para las segundas.

ANEXO 2.3.- CONSIDERACIONES SOBRE LOS PROCESOS DE CIRCULACION LITORAL.

Los procesos litorales son aquellos que se producen en las zonas próximas a la costa y son causantes de las diversas modificaciones que sufre en el tiempo. Dependiendo de las condiciones hidrodinámicas y de transporte de sedimentos, la línea de costa tendrá un retroceso (erosión), un avance (sedimentación) o estabilidad (equilibrio). Esta variabilidad es resultado de una compleja interacción entre diversos factores, los cuales se presentan con distintos grados de intensidad dependiendo de la zona considerada. Entre los más significativos pueden citarse la marea, las olas, el viento y la velocidad de descarga del río.

Un objetivo importante en la ingeniería de costas es el diseño apropiado de estructuras emplazadas en regiones costeras (muelles o escolleras) tal que, por un lado, no alteren la estabilidad de la línea de costa, y, por otro, no padezcan de problemas importantes. Otro problema fundamental es el diseño y conservación de canales y vías navegables, que hacen necesario un conocimiento acabado de las condiciones hidrodinámicas y sedimentológicas.

Consecuentemente, es necesario efectuar una evaluación conveniente, tanto cualitativa como cuantitativa de los factores involucrados a fin de obtener resultados mediante la parametrización e inclusión de los mismos en las diversas técnicas de modelaciones, una estimación confiable de la corriente y del transporte de sedimentos resultante.

El efecto de las olas es uno de los de mayor importancia por ser la causa principal de las variaciones o cambios de la línea de costa. Para su evaluación, es necesario considerar tres aspectos :

- a) disponer de una adecuada descripción teórica de las mismas;
- b) contar con una descripción de la distribución temporal de las condiciones de olas promediadas durante varios años (clima de olas);
- c) una evaluación de la acción de las olas sobre la costa (considerando la pendiente de la playa, el efecto del lavado, etc.).

Dentro del marco de los procesos litorales, las características que deben considerarse para su parametrización, son : la altura y el período de las olas, y el ángulo entre el frente de ola y la línea de costa.

El efecto de las olas debe enfocarse desde dos puntos de vista :

a) como mecanismo fundamental en la iniciación del arrastre del sedimento y como eficaz generador de las condiciones turbulentas que permiten la suspensión del mismo;

b) como generador de una corriente paralela a la costa, en el caso que las olas incidan oblicuamente a ella.

El viento tiene un rol preponderante en la generación de corrientes perpendiculares a la costa. Cuando sopla en tal dirección, genera una corriente superficial de igual sentido, de intensidad proporcional a la del viento, pero considerablemente menor. Dependiendo de la duración, la corriente superficial produce un apilamiento del agua contra la costa, estableciéndose un equilibrio entre la pendiente de la sobreelevación provocada por el viento y la contracorriente que compensa el efecto de la corriente superficial. Para el caso en que el viento sople en sentido contrario, la corriente superficial quita agua de la zona costera compensada por una contracorriente profunda en dirección hacia la costa. Por último, si la dirección del viento es paralela a la de la corriente costera generada por las olas o la del escurrimiento, el efecto es aumentar (si tiene el mismo sentido) o disminuir (sentido contrario) la intensidad de la corriente.

Por último, otro factor es el de las ondas de tormenta, las cuales, aunque menos frecuentes, son responsables de marcadas variaciones del perfil de playa, el cual es reconstruído lentamente, una vez que se han restablecido las condiciones normales. Al presente, estos efectos son los menos conocidos debido a las dificultades involucradas en la obtención de los datos.

A continuación se hace una descripción del fenómeno de generación de corrientes costeras.

En aguas profundas, las olas se propagan en distintas direcciones sin pérdida de energía. Consecuentemente la densidad de flujo de energía se conserva y, mientras se mantengan estas condiciones, la amplitud de las olas no sufrirá variaciones. Al

aproximarse a la costa, las olas comienzan a "sentir" el fondo (zona de bajío) y los frentes de ola tienden a orientarse paralelos a la línea de costa (ley de Snell). Se considera que aún no existe pérdida de energía, la densidad entre rayos de propagación debe conservarse, y, por tanto, se incrementa la altura de la ola. Es cuando se alcanzará un momento crítico en que la velocidad orbital supera a la celeridad de la ola, produciéndose la rotura (rompiente); la energía comienza a disiparse gradualmente hasta anularse en la costa. Sin embargo, se registran casos en los cuales aunque no exista una rompiente definida, hay evidencia de pérdida de energía por los efectos disipativos debidos a la fricción de la ola sobre el fondo. Se denomina zona de bajío a la que llega hasta la rompiente y zona de surf a la comprendida entre la rompiente y la costa.

Se sintetiza ahora brevemente un modelo teórico que explica la corriente costera generada por incidencia oblicua de olas sobre la playa.

Las ecuaciones de la conservación de la cantidad de movimiento (ecuaciones de Navier-Stokes), que para el plano horizontal pueden expresarse :

$$\frac{\partial u_j}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (u_i u_j) + \frac{\partial}{\partial z} (u_j w) = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_i} (-P \delta_{ij} + \tau_{ij}) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial z}$$

y en la vertical :

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (u_i w) + \frac{\partial w^2}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} (P + \rho g z) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{i3}}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{33}}{\partial z}$$

(2)

donde :

t es el tiempo;

x_1, z son las coordenadas horizontales y vertical respectivamente, eligiendo x_1 en la dirección de propagación de las olas y x_2 transversal a la misma;

del fondo (zona de bajío) y los
 de costa (ley de Snell). Si se
 la densidad entre rayos de
 aumenta la altura de la ola. Es así
 velocidad orbital supera a la
 (a); la energía comienza ahora
 Sin embargo, se registran casos
 mida, hay evidencia de pérdida
 ción de la ola sobre el fondo.
 rompiente y zona de surf a la

que explica la corriente costera

de movimiento (ecuaciones de
 expresarse :

$$\rho \tau_{ij} + \tau_{ij} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial z} j_3 \quad (1)$$

$$\rho g z + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial x_i} i_3 + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{33}}{\partial z}$$

respectivamente, eligiendo a x_1
 versal a la misma;

u_i, w son los componentes horizontales y vertical, respectivamente, de la

P es la presión total (hidrostática y dinámica);

ρ es la densidad del fluido, supuesta constante;

δ_{ij} la delta de Kronecker;

τ_{ij} es el tensor de los esfuerzos;

y la ecuación de la conservación de la masa :

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \quad (3)$$

son promediadas en la vertical, desde $-h$ hasta ζ (fondo y superficie
 respectivamente), imponiendo las siguientes condiciones de contorno :

en el fondo :

$$u_i \frac{\partial h}{\partial x_i} + w \Big|_{-h} = 0 \quad \text{para fluido ideal} \quad (4)$$

$$u_i = w \Big|_{-h} = 0 \quad \text{para fluido real} \quad (5)$$

en la superficie :

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + u_i \frac{\partial}{\partial x_i} \right) \zeta = w \Big|_{\zeta} \quad (6)$$

El campo de velocidades puede separarse en :

$$u_i = U_i + \bar{u}_i(x,y,z,t) \quad (7)$$

con $U_i = U_i(x,y,t)$

campo medio

(8)

\bar{u}_i contiene los efectos turbulentos y los de olas, ambos dependientes de z .

Además, son promediadas en el tiempo, considerando una escala menor a las variaciones producidas en el campo medio, pero mayor que la de los efectos de las olas y de la turbulencia. El resultado final es:

$$\rho (\bar{\zeta} + h) \left[\frac{\partial U_j}{\partial t} + U_i \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right] = \bar{P} \frac{\partial h}{\partial x_j} - \rho g (\bar{\zeta} + h) \frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ -S_{ij} + \tau_{ij} \right\}$$

$$\overline{\tau_j^F} \quad | \nabla F | - \overline{\tau_j^B} \quad | \nabla B | \quad (9)$$

$$\frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} [U_i (\bar{\zeta} + h)] = 0 \quad (10)$$

las barras indican el promedio temporal y

$$B = B(x,y,z) = h(x,y) - z \quad (11)$$

$$F = F(x,y,z,t) = \zeta(x,y,t) - z \quad (12)$$

dan la superficie del fondo y la libre, respectivamente, y

$$S_{ij} = \int_{-h}^{\zeta} [P \delta_{ij} + \rho \bar{u}_i \bar{u}_j] dz - \frac{\rho g}{2} (\bar{\zeta} + h)^2 \delta_{ij} \quad (13)$$

es el tensor que representa el exceso de flujo de momento debido a las olas y a la turbulencia.

Efectuando un análisis de órdenes de magnitud en los términos de la ecuación (9), puede demostrarse que el correspondiente a los esfuerzos viscosos es del orden de Re^{-1} (con $Re =$ número de Reynolds); pero como $Re > 1000$, consecuentemente puede despreciarse. Suponiendo que el fondo varía suavemente, puede aproximarse $|\nabla B| \approx 1$. Además, como

$$\frac{\partial h}{\partial x_i} \text{ es } |\nabla h| \text{ menor a los demás términos, puede eliminarse.}$$

Si se descompone el campo de velocidades u_i en uno correspondiente a las olas (u'_i) y otro al de la turbulencia (u''_i), o sea :

$$\tilde{u}_i = u'_i + u''_i \quad (14)$$

entonces S_{ij} puede expresarse como la suma del tensor radiante debido a la presencia de las olas (S'_{ij}) y del tensor de Reynolds, debido a los efectos turbulentos (S''_{ij}).

El tensor S'_{ij} puede expresarse en función de u'_i y w dadas por la teoría lineal de olas (aproximación válida en aguas profundas), o sea :

$$u_i = \frac{A\omega}{\sinh kh} \cosh [k(z+h)] \cos(kx - \omega t) \quad (15)$$

$$u_2 = 0 \quad (16)$$

$$w = \frac{A\omega}{\sinh kh} \sinh [k(z+h)] \sin(kx - \omega t) \quad (17)$$

donde A es la amplitud
 k es el número de onda
 ω es la frecuencia } de las olas

y corrigiendo la amplitud de las olas mediante:

$$A = \frac{\gamma}{2} (\bar{\zeta} + h) \quad (18)$$

con γ una constante aproximadamente igual a 0.78, a fin de adecuar la teoría lineal para aguas someras.

Integrando la ecuación (2) en profundidad y en el tiempo, reemplazando esta relación (13) y considerando que la densidad de energía por olas está dada por:

$$E = \frac{1}{2} \rho g A^2 \quad (19)$$

mediante las expresiones (15) a (17) del campo de velocidades generado por las olas se obtiene el tensor correspondiente :

$$S'_{ij} = E \begin{pmatrix} \frac{2kh}{\sinh 2kh} + \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & \frac{kh}{\sinh 2kh} \end{pmatrix} \quad (20)$$

Cuando un tren de olas incide con un ángulo θ respecto a la playa, se crea la necesidad de efectuar un apropiado cambio de coordenadas. Aplicando la conocida regla de transformación para tensores :

$$S_{xy} = S_{ij} \frac{\partial x}{\partial x_i} \frac{\partial y}{\partial x_j}$$

y eligiendo al eje x en dirección perpendicular y al eje y paralelo a la costa (o a las correspondientes velocidades de la corriente), el tensor quedará expresado en el nuevo sistema de la siguiente forma :

$$S'_{xx} = \frac{E}{2} (2 \cos^2 \theta + 1)$$

$$S'_{yy} = \frac{E}{2} (2 \sin^2 \theta + 1) \quad (21)$$

$$S'_{xy} = S'_{yx} = E \sin \theta \cos \theta$$

Mediante las ecuaciones (9), (10) y (21) es posible dar un modelo teórico para determinar la corriente costera generada por la incidencia oblicua de las olas respecto a la costa. Si ésta se la supone rectilínea (es decir, sin variaciones según el eje y) y con una pendiente constante hacia el fondo (s), y, además, no considerando los efectos atmosféricos, quedará planteado el siguiente balance general :

a) en la dirección normal a la playa

$$0 = -g \frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial x} - \frac{1}{\rho(\zeta + h)} \frac{\partial}{\partial x} (S'_{xx} + S''_{xx}) \quad (22),$$

b) en la dirección paralela a la playa

$$0 = -\frac{1}{\rho(\zeta + h)} \left[\frac{\partial}{\partial x} (S'_{xy} + S''_{xy}) + \tau_y^B \right] \quad (23)$$

Se pueden extraer algunas conclusiones preliminares para el caso en que se descarten los efectos turbulentos ($S''_{xx} = S''_{xy} = 0$). Por medio de la ecuación (22) puede suponerse que la variación de la sobreelevación del nivel medio (ζ , generalmente conocido como "set-up") está en equilibrio estático con :

$$\frac{\partial S'_{xx}}{\partial x} \text{ demostrándose que}$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial x} = -K \frac{\partial h}{\partial x} \quad (24)$$

$$\text{con } K = \frac{3/8 \gamma^2}{1 + 3/8 \gamma^2} \quad (25)$$

o sea, proporcional a la pendiente $s = \frac{\partial h}{\partial x}$. Además si en la ecuación (23) se

parametriza el término correspondiente a la fricción de fondo, puede obtenerse una expresión para la corriente paralela a la costa, de la forma:

$$v = \frac{h}{h_R} x = \begin{cases} v_0 & \text{si } h < h_R \\ 0 & \text{si } h > h_R \end{cases} \quad (26)$$

$$\text{con } v_0 = \frac{5}{B} \pi \frac{\gamma}{C} (g h_R)^{1/2} (s \text{ sen } \Theta) \quad (27)$$

siendo C el factor de fricción de fondo y R el subíndice que indica que los parámetros se evalúan en la rompiente. O sea, que varía linealmente desde 0 (en la costa) hasta un valor máximo v_0 (en la rompiente).

Lamentablemente, las observaciones de campo señalan que dicho máximo es ubicado entre la línea de costa y la rompiente, lo que obliga a considerar los efectos turbulentos involucrados en S''_{xy} . Si este término se lo supone aproximado mediante:

$$S''_{xy} = \mu_R \frac{\partial v}{\partial x} \quad (28)$$

$$\text{con } \mu_R = N \rho x (g H)^{1/2} \quad (29)$$

siendo N un número que parametriza la turbulencia y

$$H = h + \bar{\zeta}$$

la ecuación (23) quedará transformada en :

$$p \frac{\partial}{\partial x} \left(x^{5/2} \frac{\partial v}{\partial x} \right) - q x^{1/2} v = \begin{cases} -r x^{3/2} & \text{si } x < x_R \\ 0 & \text{si } x > x_R \end{cases} \quad (30)$$

con

$$p = N \rho g \frac{1}{s} \quad (31)$$

$$q = \frac{2}{\pi} \gamma C_p g \frac{1}{s} \quad (32)$$

$$r = \frac{5}{4} \gamma \rho g \frac{3/2}{s} \frac{\sin \theta_R}{(g H_R)^{1/2}} \quad (33)$$

Si se efectúa el cambio :

$$x = \chi x_B \quad (31)$$

$$v = V v_0$$

en la ecuación (30) y resolviendo esta ecuación diferencial, se obtiene la siguiente solución para la corriente longitudinal costera :

$$V = \begin{cases} B_1 \chi^{p_1} + A_1 \chi & \text{para } 0 < \chi < 1 \\ B_2 \chi^{p_2} & \text{para } 1 < \chi < \infty \end{cases} \quad (32)$$

siendo A_1, B_1, B_2, p_1 y p_2 constantes de integración que dependen de :

$$T = \frac{\pi}{2} \frac{5N}{\gamma C} \quad (33)$$

el parámetro que cuantifica la magnitud de la mezcla horizontal.

El perfil obtenido es una mejor representación del corte transversal de la corriente costera pues su máximo se ubica entre la costa y la rompiente acercándose a ésta a medida que los efectos turbulentos disminuyen (T decrece). Cuando $T = 0$, se obtiene naturalmente el mismo perfil lineal dado por la ecuación (31).

Este modelo de corrientes litorales está frecuentemente afectado por la sucesión de corrientes circulando en canales estrechos, perpendiculares a la línea de costa, conocidas como corrientes de refluo (rip currents). Su origen está vinculado a las variaciones periódicas de la amplitud de la ola a lo largo de la costa. Por lo tanto, las olas de mayor amplitud producen un "set-up" más alto.

consecuentemente, se genera un gradiente de presión paralelo a la playa provocando una corriente que fluye desde las posiciones de rompiente más altas y gira, alejándose de la costa, hacia zonas de menor altura, como corriente transversal.

Con el objetivo de comprender el proceso físico de las mismas, diversos autores han estudiado el balance entre la componente "y" del gradiente del tensor radiante y:

- a) el término de la fricción del fondo, o
- b) el correspondiente a la mezcla lateral turbulenta.

En ambos casos se obtiene un modelo de circulación en celdas; en especial para la situación (b) se detecta que si Re es grande, existe una mayor asimetría del flujo, con corrientes circulando costa afuera más intensas y en canales más estrechos.

Existe evidencia de que estas corrientes transversales están asociadas a ondas de borde estacionarias que pueden ser representadas mediante :

$$\eta = b \varnothing_n(x) \cos my \cos \sigma t \quad (34)$$

donde:

$\varnothing_n(x)$ es la amplitud de la onda para el modo n

m es el número de onda en dirección y

σ es la frecuencia

Para $n = 0$, la elevación de la superficie debida a la onda de borde (η) decrece exponencialmente con la distancia (x) a medida que se aleja de la costa, pero, para modos más altos, η tiene una ó más líneas nodales. Respecto a la frecuencia (σ) existe una simple relación para expresarla en función de la pendiente de la playa (s), el número de onda m y el número de modo n :

$$\sigma^2 = gm \sin [(2n + 1) \psi] \quad (35)$$

con $\text{tg } \psi = s$

Si olas representadas por frentes planos inciden sobre la costa con frecuencia $\omega \approx \sigma$ pueden formarse simultáneamente ondas de borde y, si están en fase con las olas,

la amplitud efectiva de las mismas aumenta, reduciéndose en el caso contrario. De esta manera, se obtiene un modelo con corrientes transversales, cuya separación a lo largo de la costa es igual a la longitud de onda de la de borde. Las observaciones confirman estas ideas en forma cuantitativa.

Generalmente, tanto el sistema de corrientes costeras como el de circulación en celdas se presentan simultáneamente. El patrón de circulación resultante es, en primera aproximación, la suma vectorial de ambos, el cual se torna asimétrico. Se ha observado que el sistema de celdas puede moverse a lo largo de la costa y este movimiento se evidencia por la migración de las corrientes transversales.

Resumiendo, la corriente generada por olas sumada a la producida por efectos del viento y a la descarga natural del río es la que debe ser evaluada convenientemente por ser responsable del transporte litoral de sedimentos.

Si bien la marea puede ser el factor dominante en la hidrodinámica del río, desde el punto de vista de la evaluación del transporte de sedimentos juega un papel de menor importancia, ya que sus efectos promediados durante un ciclo de marea se anulan, pues el sedimento es depositado, resuspendido y transportado, resultando nulo el transporte neto. Sin embargo, debe tenerse especial atención cuando es considerable la cantidad de material muy fino, ya que éste es incapaz de decaer aún durante los momentos de estoa ("wash-load").

Una vez evaluada la corriente costera, se utilizan distintas modelaciones empíricas y semiempíricas que permiten calcular la tasa de transporte de sedimentos (de fondo y en suspensión), a partir de las condiciones hidrodinámicas y sedimentológicas.

ANEXO 2.4.- BIBLIOGRAFIA.

- Anuario Hidrográfico.* Dpto. Estudios y Proyectos de la Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables. Rep. Argentina.
- Balay, Marciano,* 1961.- El Río de la Plata entre la atmósfera y el mar. Servicio de Hidrografía Naval, Publ. H621, Buenos Aires.
- Baylac, Paula,* 1985.- Ondas de tormenta en el Río de la Plata. Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Informe de Beca.
- Caviglia, F.,* 1988.- Intrusión salina en el Río de la Plata. Trabajo de Seminario para la Licenciatura en Oceanografía, ITBA.
- Clalde, A.,* 1988.- Simulación numérica de corrientes de deriva en el Río de la Plata. Publ. INCYTH.
- Defant, A.,* 1961. - Physical Oceanography. Vols. 1 y 2. Pergamon Press, London.
- Mazio, C.A., y C.D. Vara,* 1981.- Sobre el cálculo de corrientes, cotidales e isoamplitudes. Servicio de Hidrografía Naval, Departamento Oceanografía, Inf. Téc. N°39.
- Mazio, C.A.,* 1987.- Modelo hidrodinámico para el Río de la Plata. 5º Simposio Científico, Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo, Montevideo.
- Mazio, C.A.,* 1988.- Configuración mareológica para el Río de la Plata. Servicio de Hidrografía Naval, Inf. Tec. N° 48, Buenos Aires.
- Molinari, G.,* 1988.- Simulación numérica de la circulación en el Río de la Plata. Publ. INCYTH.
- Nagy, G.J., López Laborde, J., y Anastasia, L.H.,* 1987.- Caracterización de ambientes del Río de la Plata Exterior (salinidad y turbiedad). Inv. Oceanol.,1(1):5-17.
- Schureman, Paul,* 1958.- Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides. United States, Government Printing Office, Washington.

Valdez, A., y Junod, J., 1972.- Generalidades sobre la marea del Río de la Plata, su predicción y el plan de mareógrafos automáticos. Boletín del Servicio de Hidrografía Naval, 8(1):15-19.

Vara, César, 1974.- Ondas de plataforma del Mar Argentino. Tirada aparte del Boletín del Servicio de Hidrografía Naval, 9(3):191-196.

Vara, César D., y C.A. Mazio, 1981.- Nota sobre el cálculo de los elementos astronómicos ligados a la marea. Servicio de Hidrografía Naval, Departamento Oceanografía, Boletín Téc. N°45.

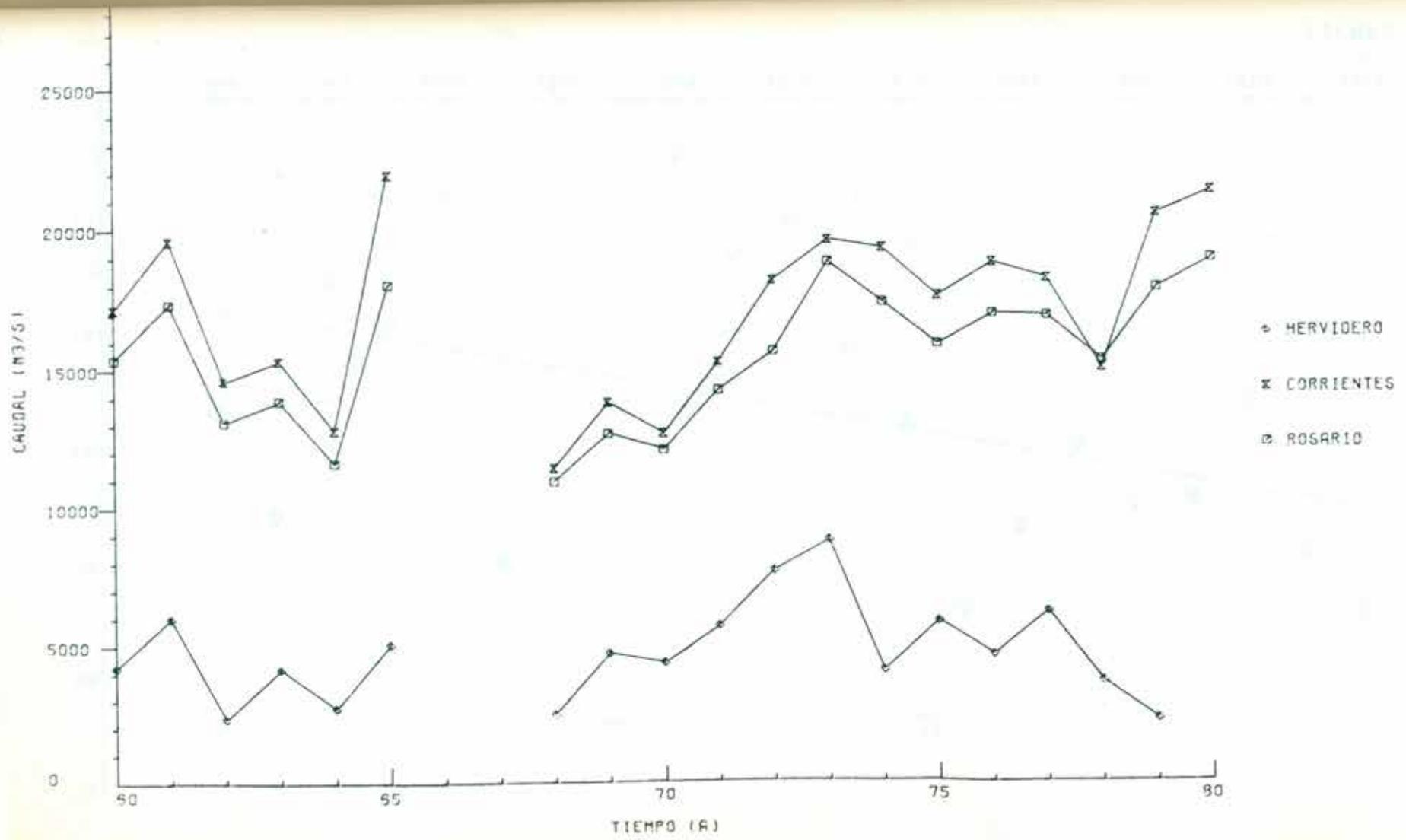
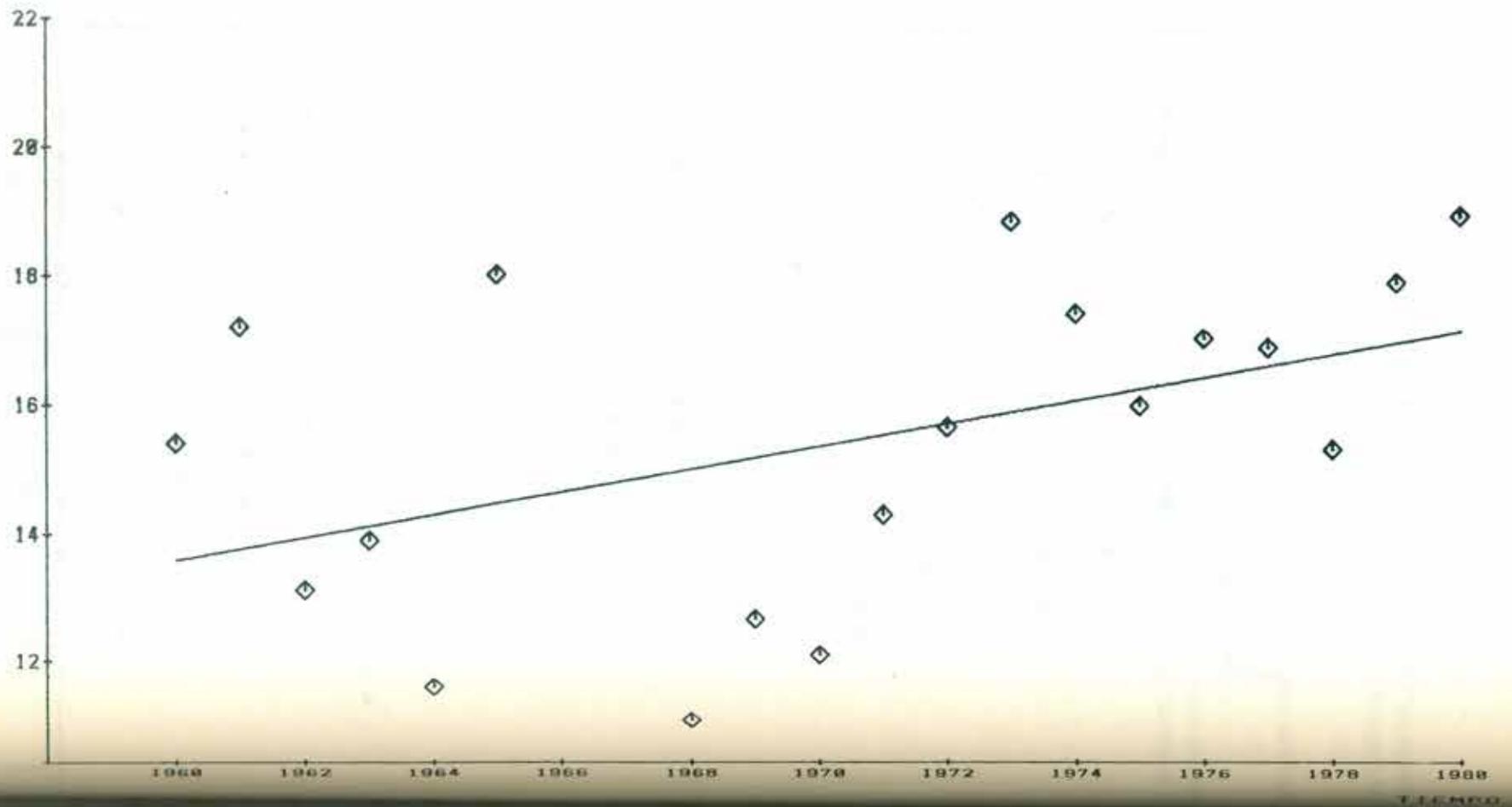


Figura II.1 - Caudal Medio Anual para las estaciones de Hervidero, Corrientes y Rosario.

CAUDALES (m³/s x 1000)



CAUDALES (m³/s x 1000)

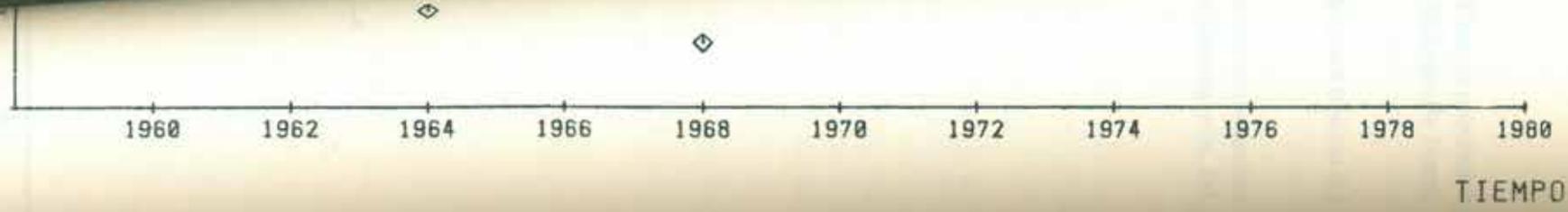
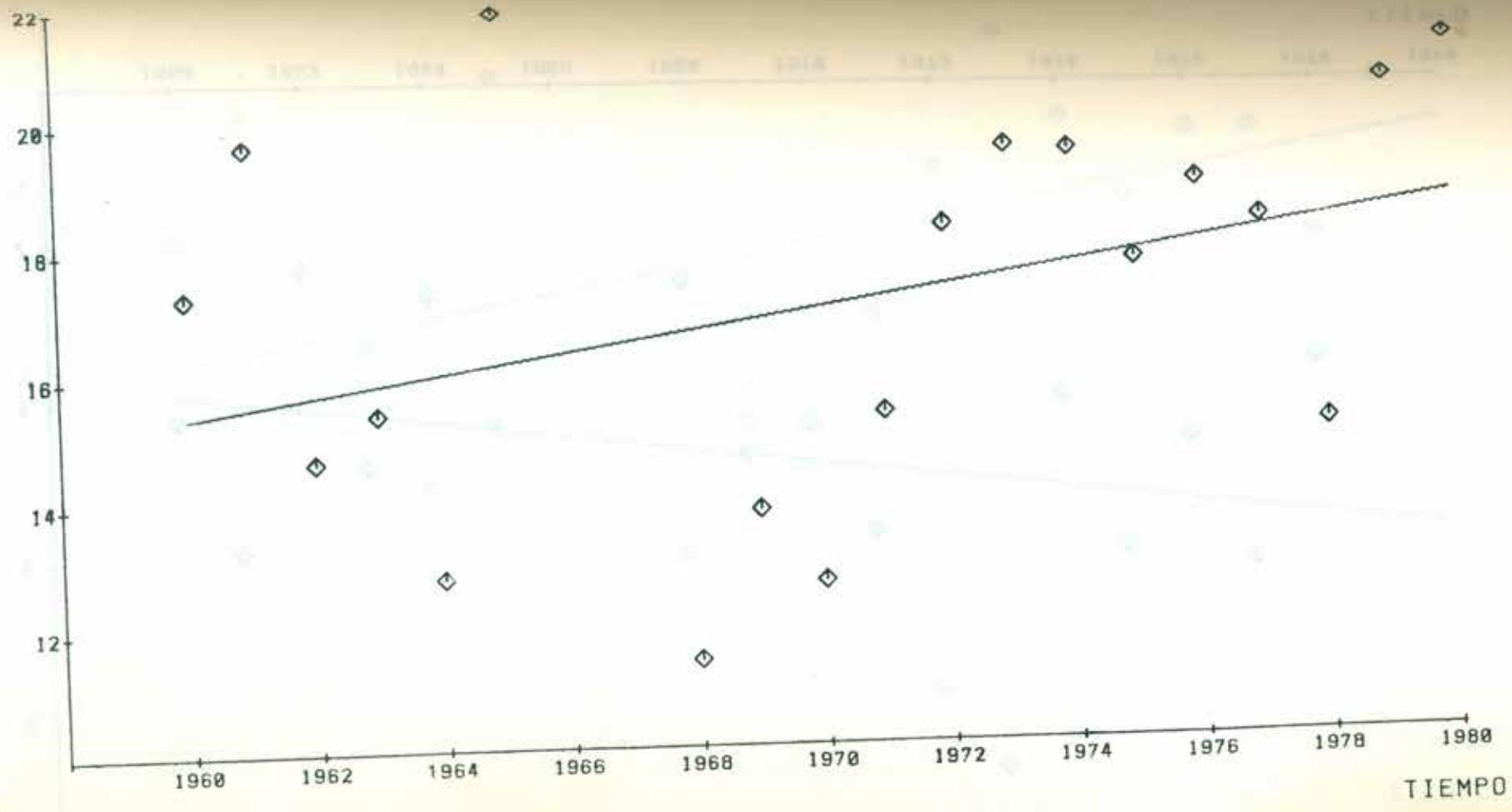


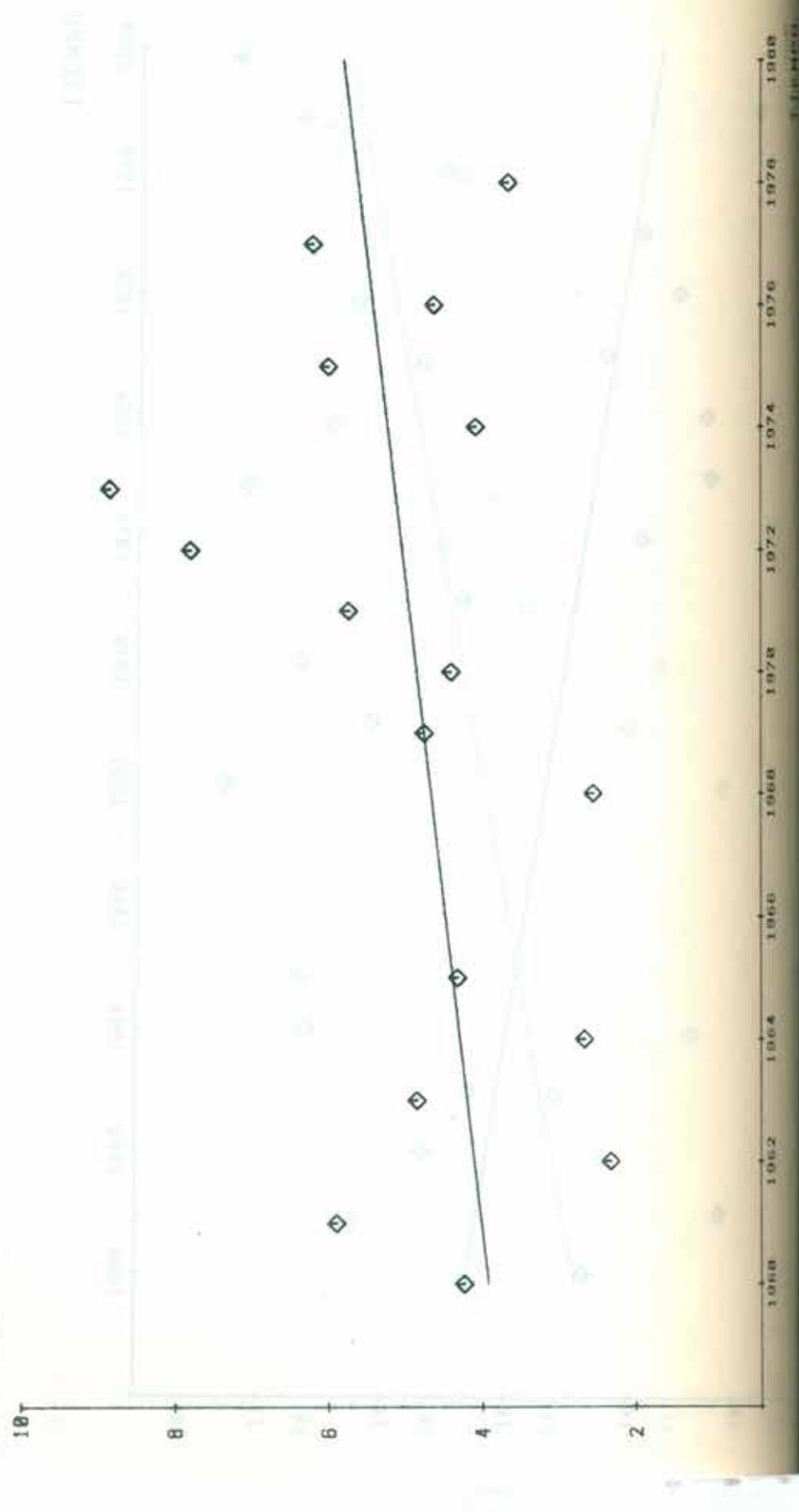
Figura II.2 - Caudales medios anuales en estación Rosario y tendencia lineal.

CAUDALES (m³/s x 1000)

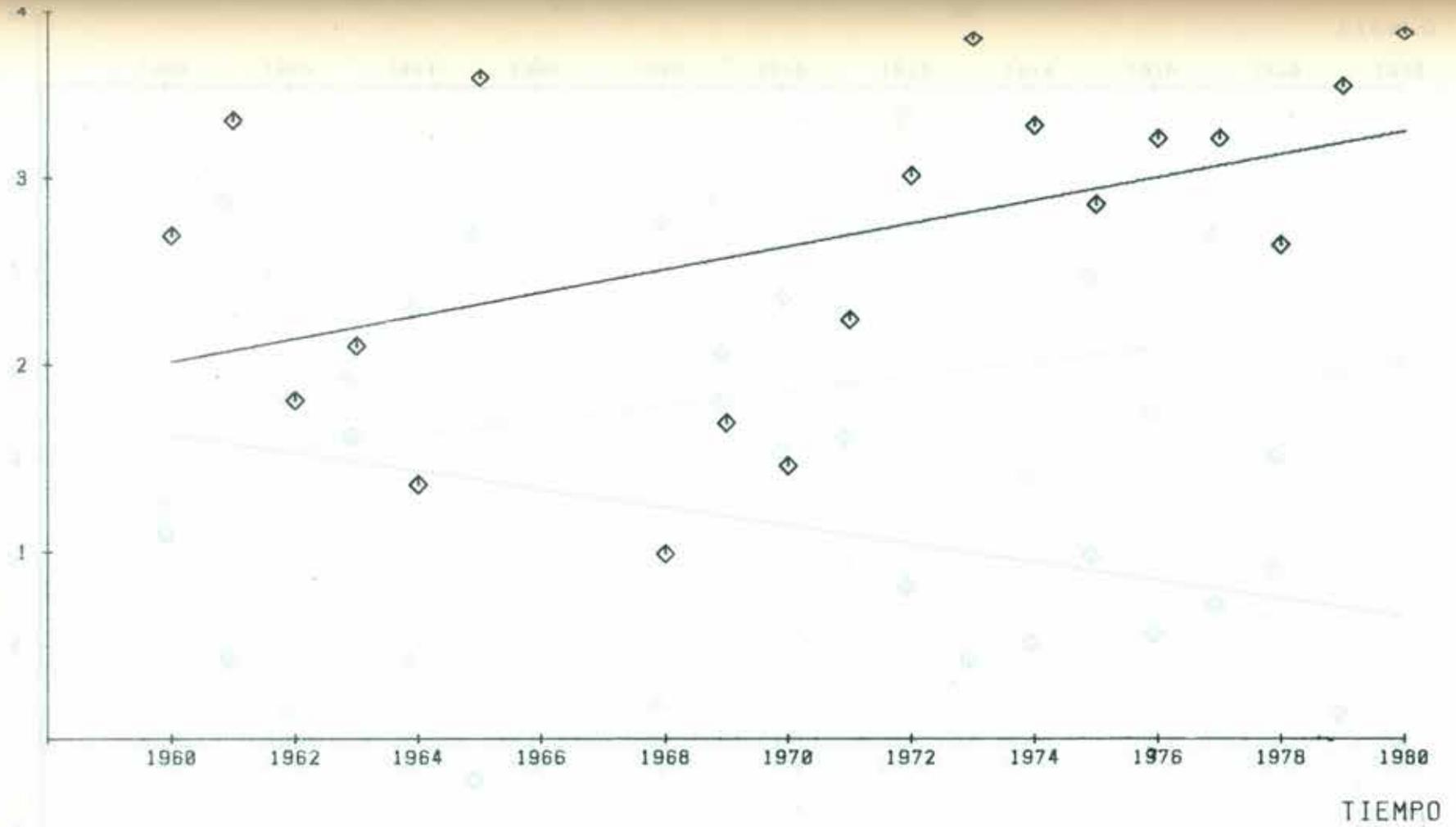


Caudales medios anuales en estación Corrientes y tendencia lineal.

Fig. 1. - Dependence of the discharge on the time of the day.

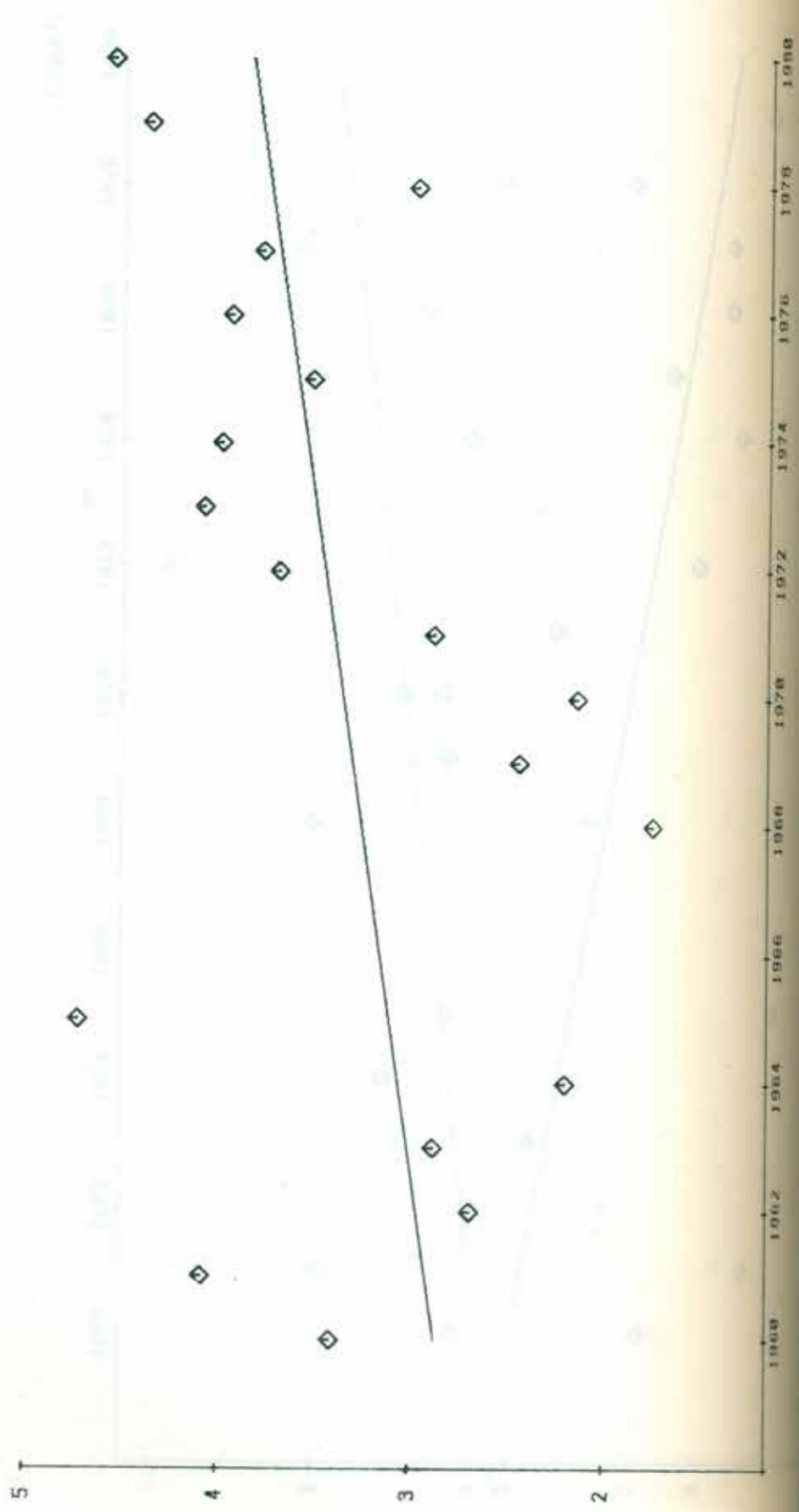


Figuro II.4 - Caudales medios anuales en estación Hervidero y tendencia lineal.



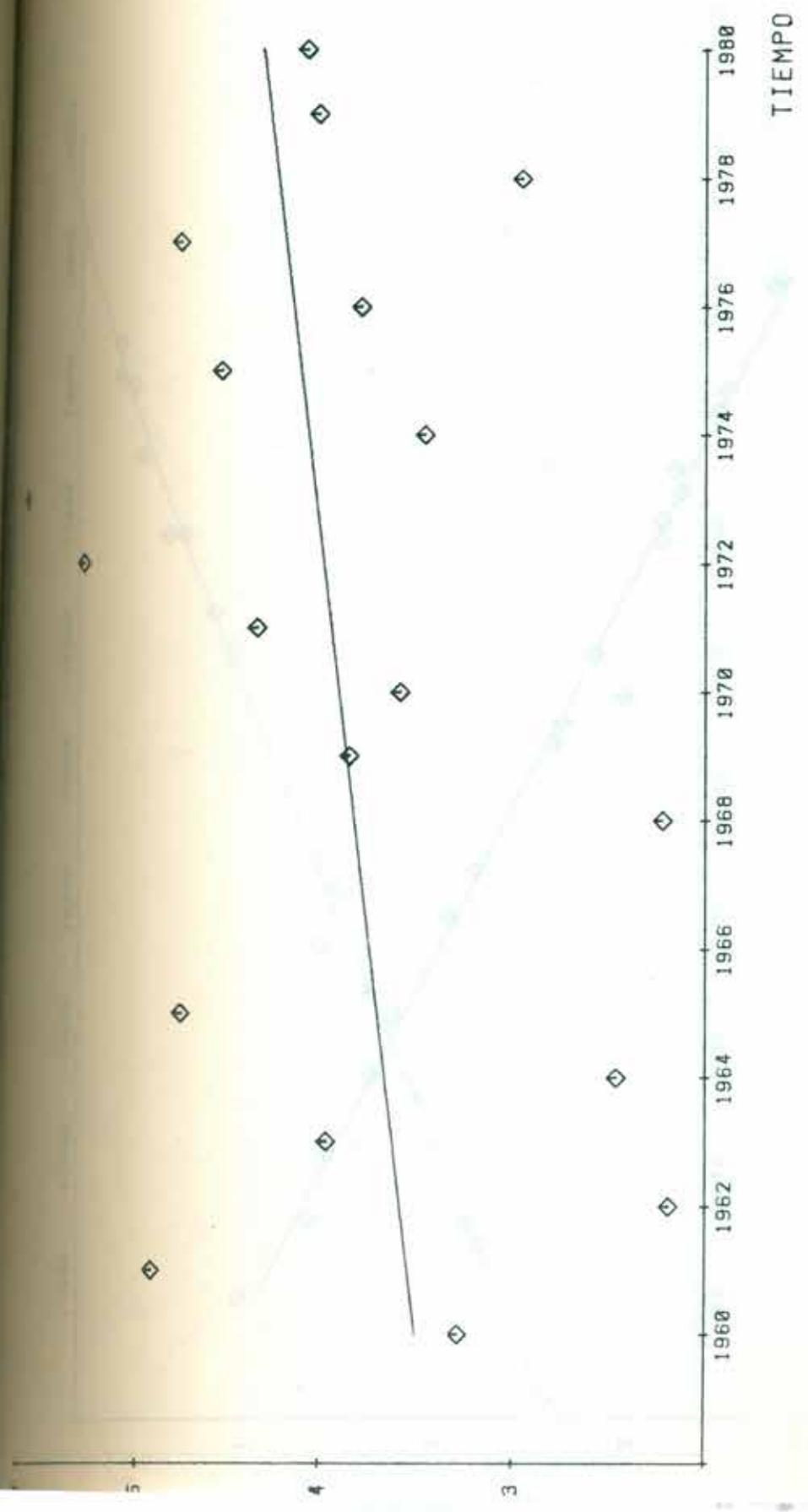
Figuro II.5 - Niveles medios anuales en estación Rosario y tendencia lineal.

IVELES (metros)



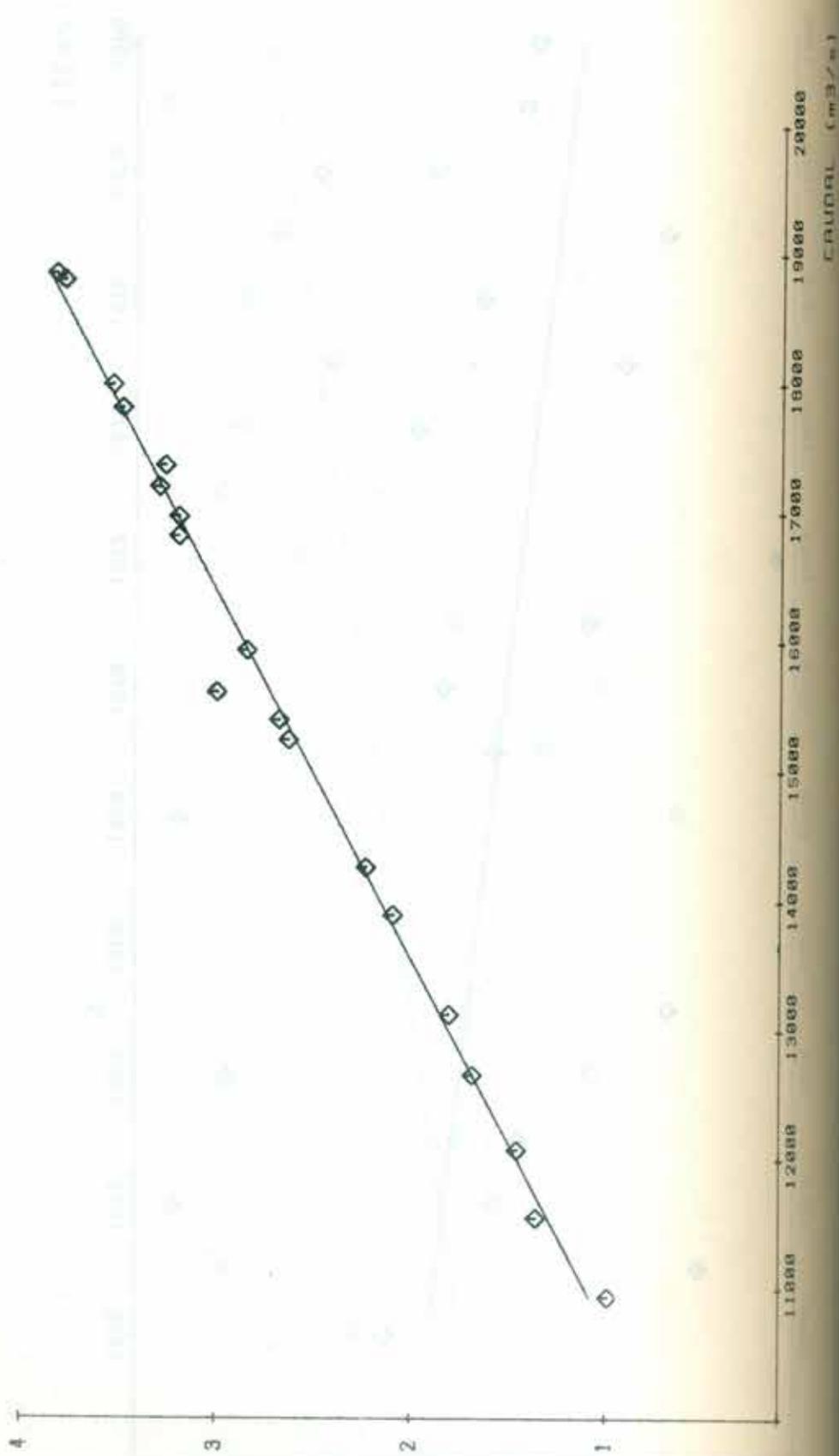
IVELES (metros)

TIME (años)



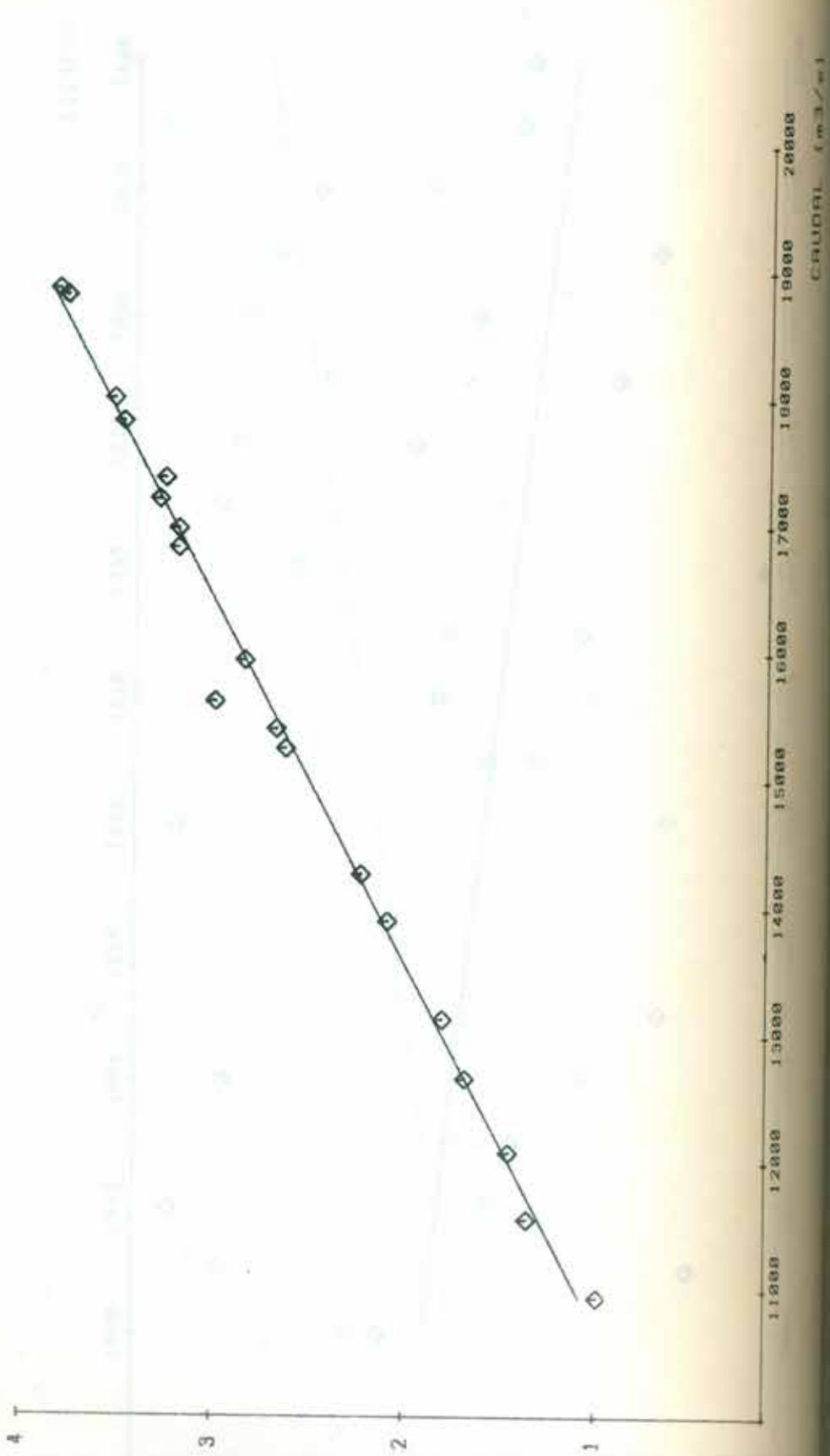
Figuro II.7 - Niveles medios anuales en estación Hervidero y tendencia lineal.

NIVELES (metros)

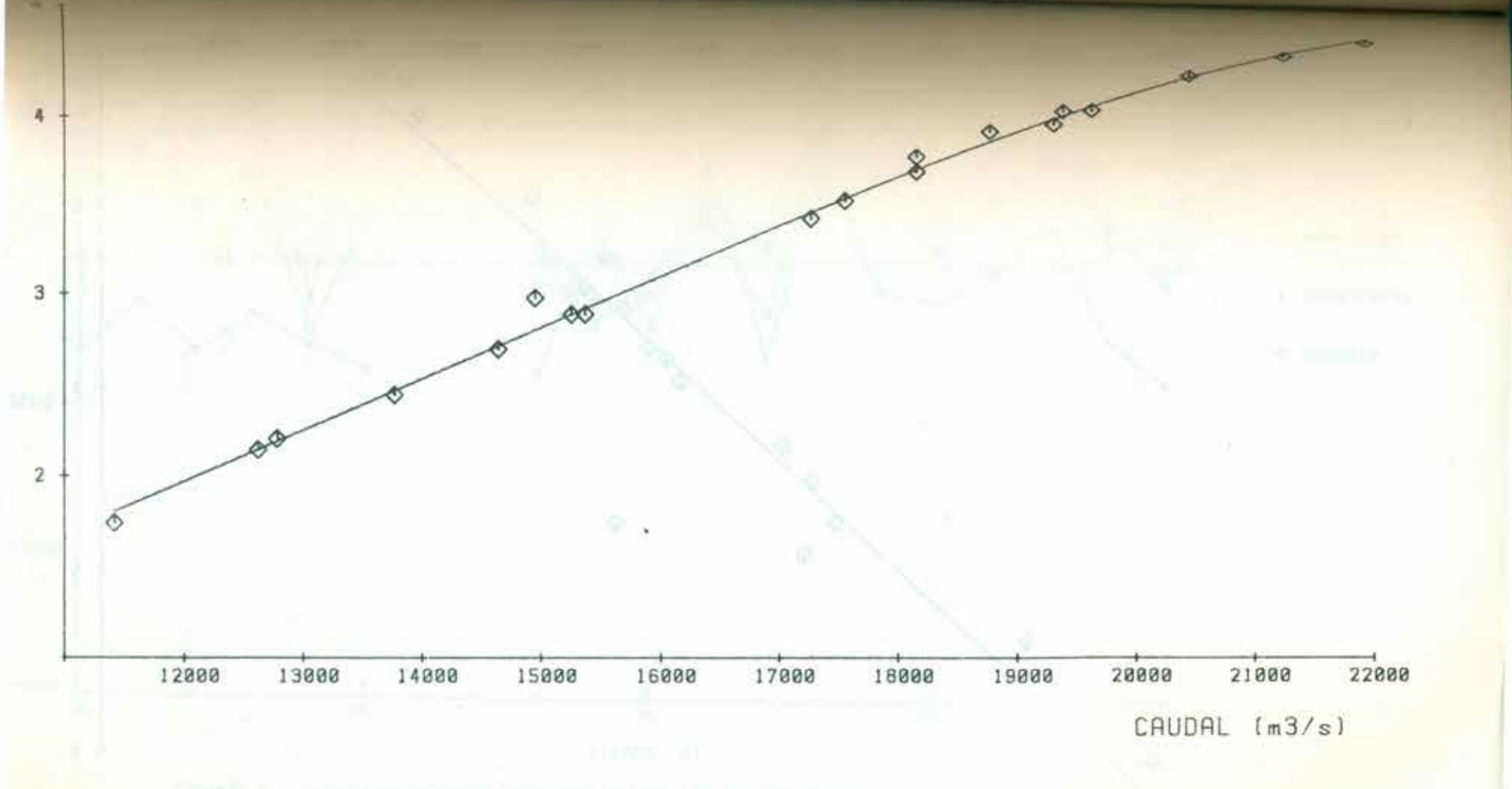
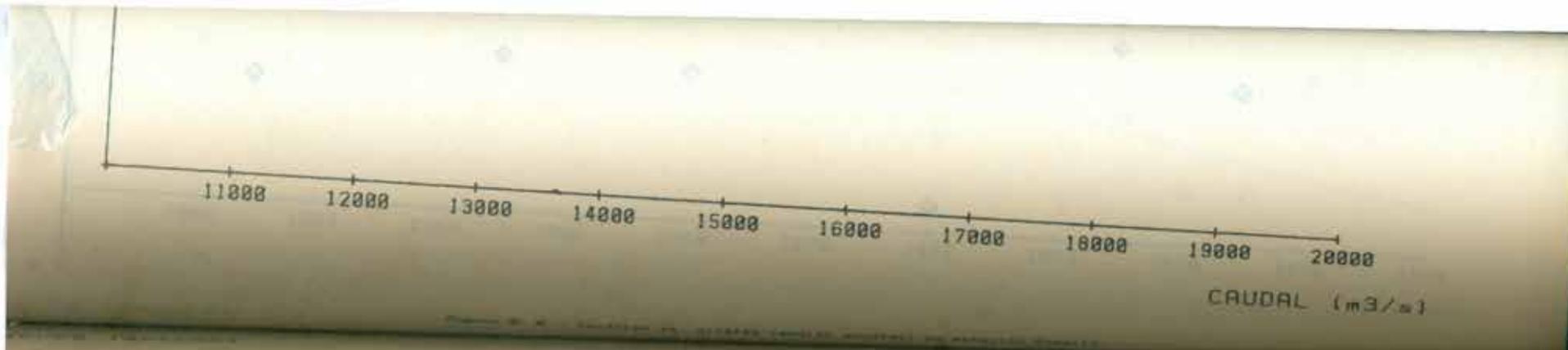


NIVELES (metros)

NIVELES (metros)

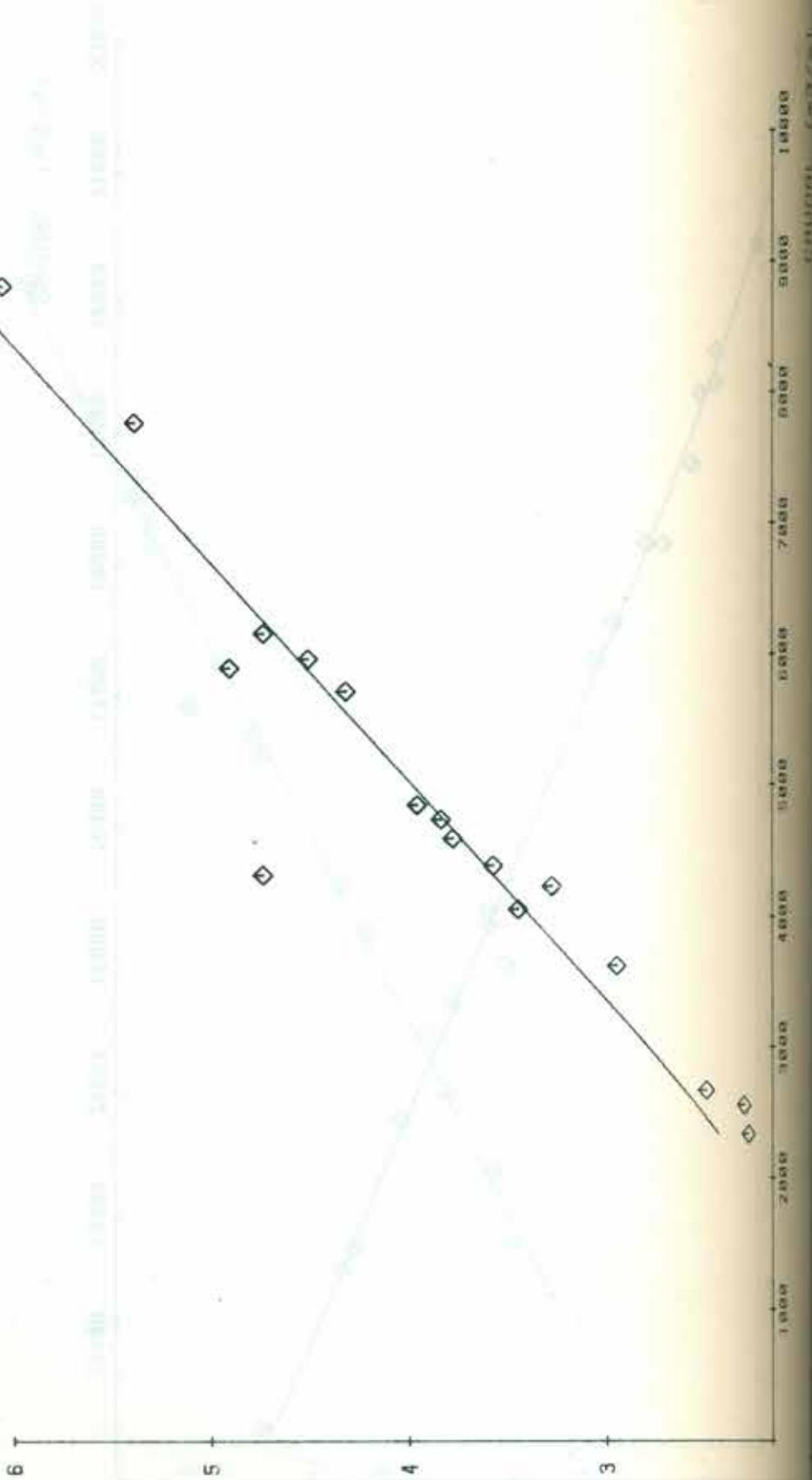


VELES (metros)

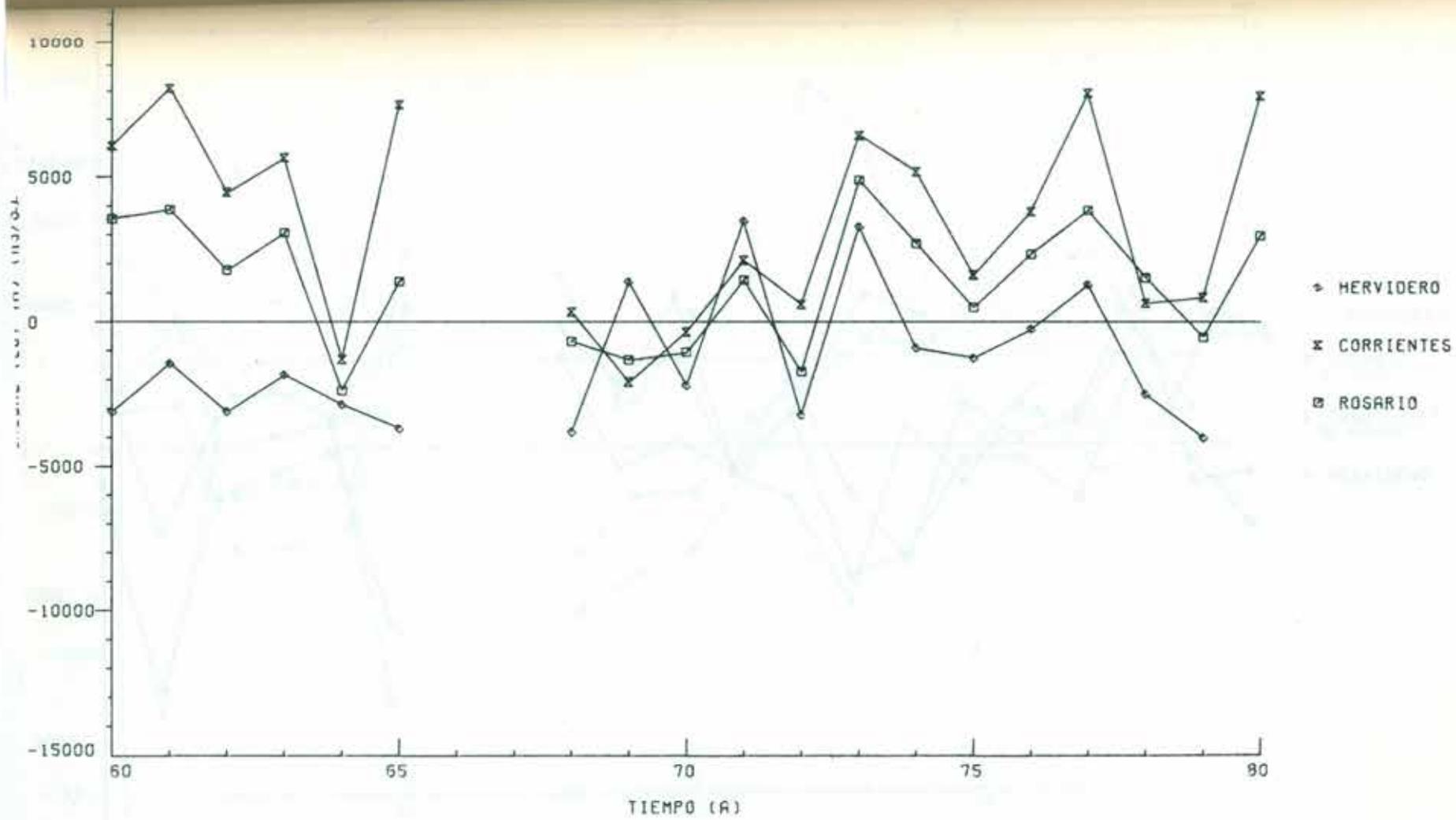


Figuro II.9 - Caudales vs. niveles (medias anuales) en estación Corrientes.

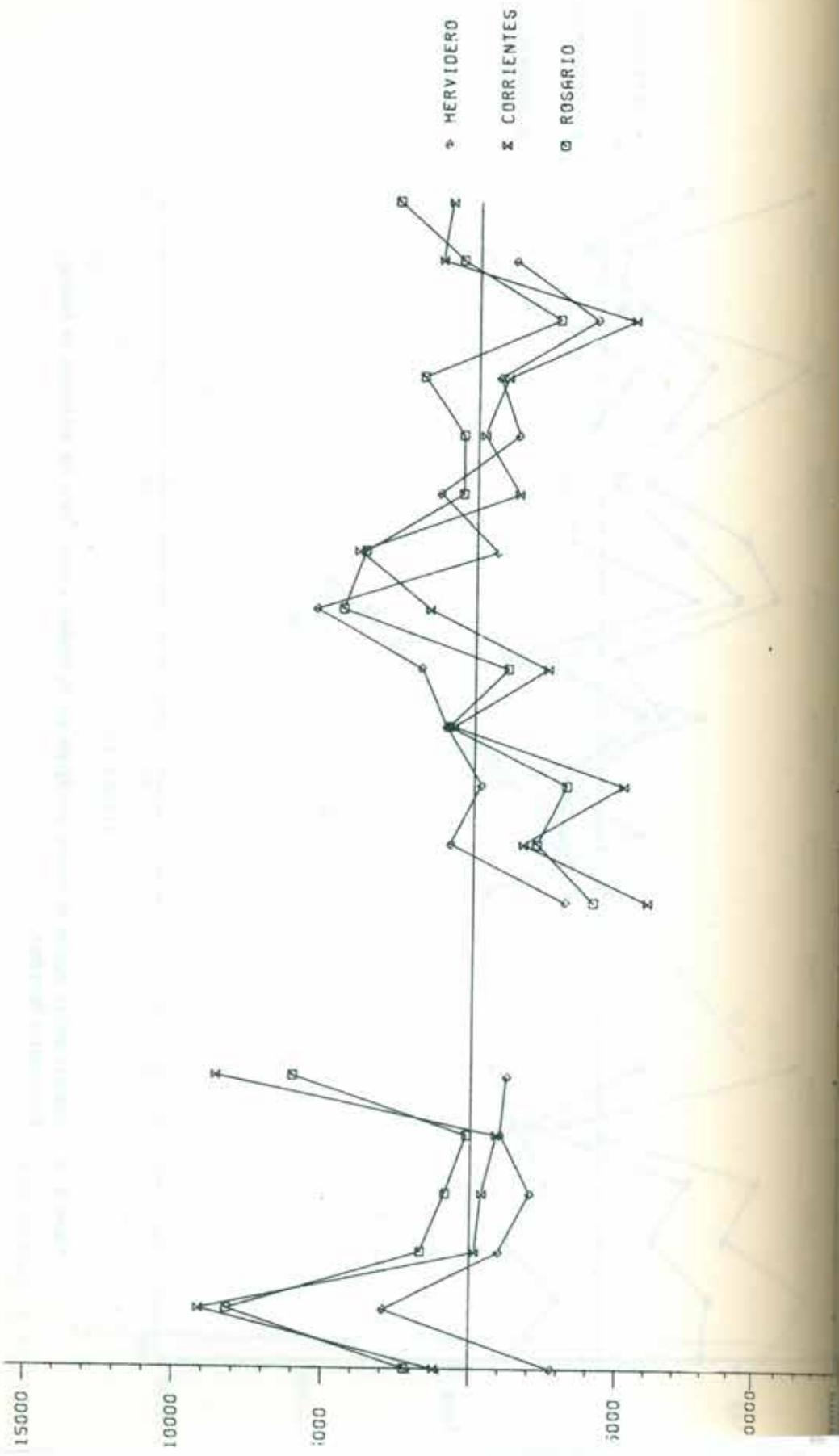
NIVELES (metros)

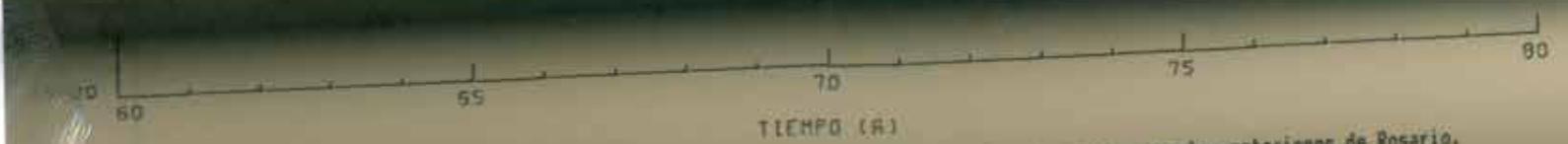


Figuro II.10 - Caudales vs. niveles (medias anuales) en estación Hervidero.

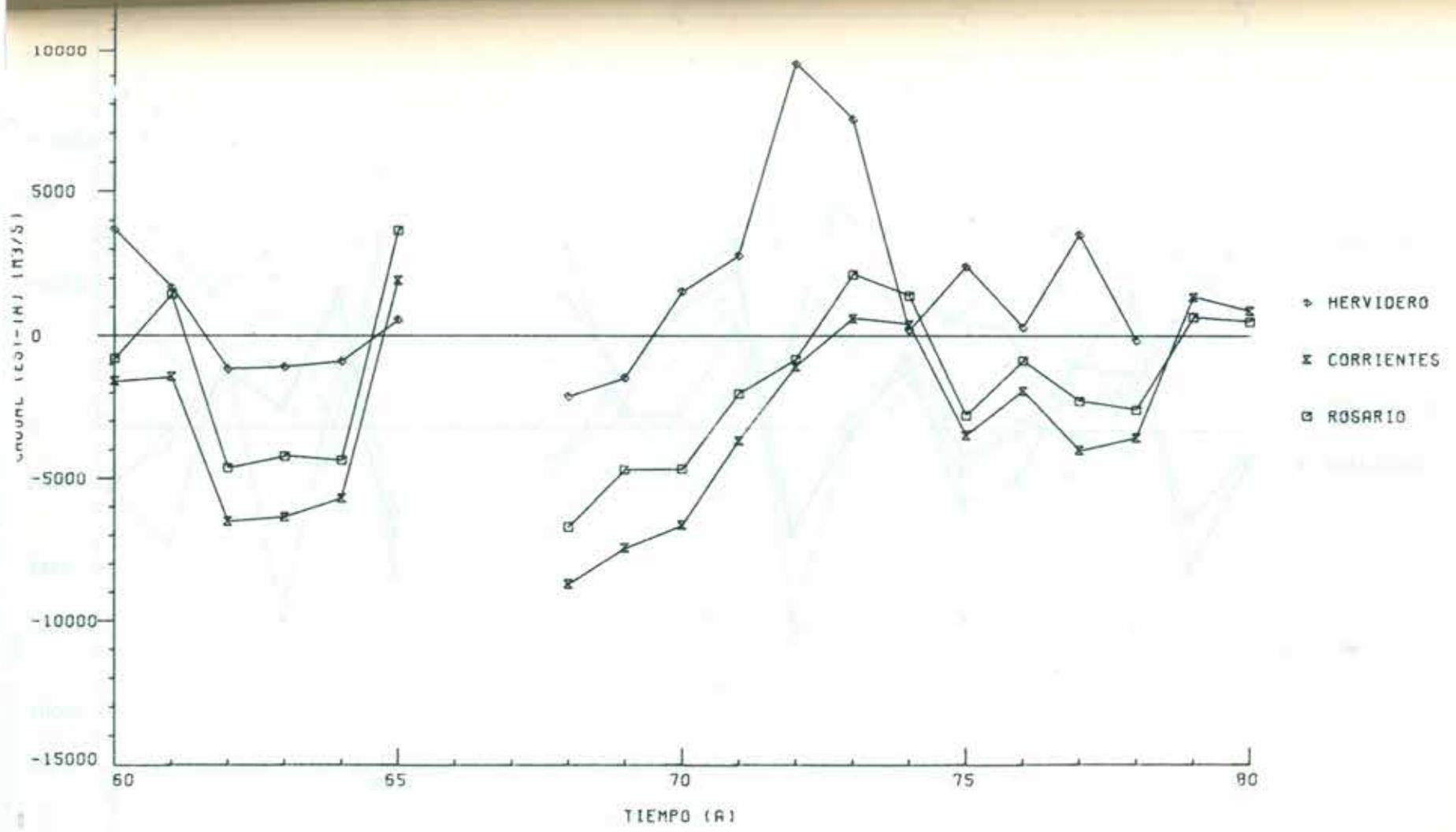


Figuro II.11 - Caudales medios anuales de verano, corregidos por la tendencia anual, para las estaciones de Rosario, Corrientes y Hervidero.





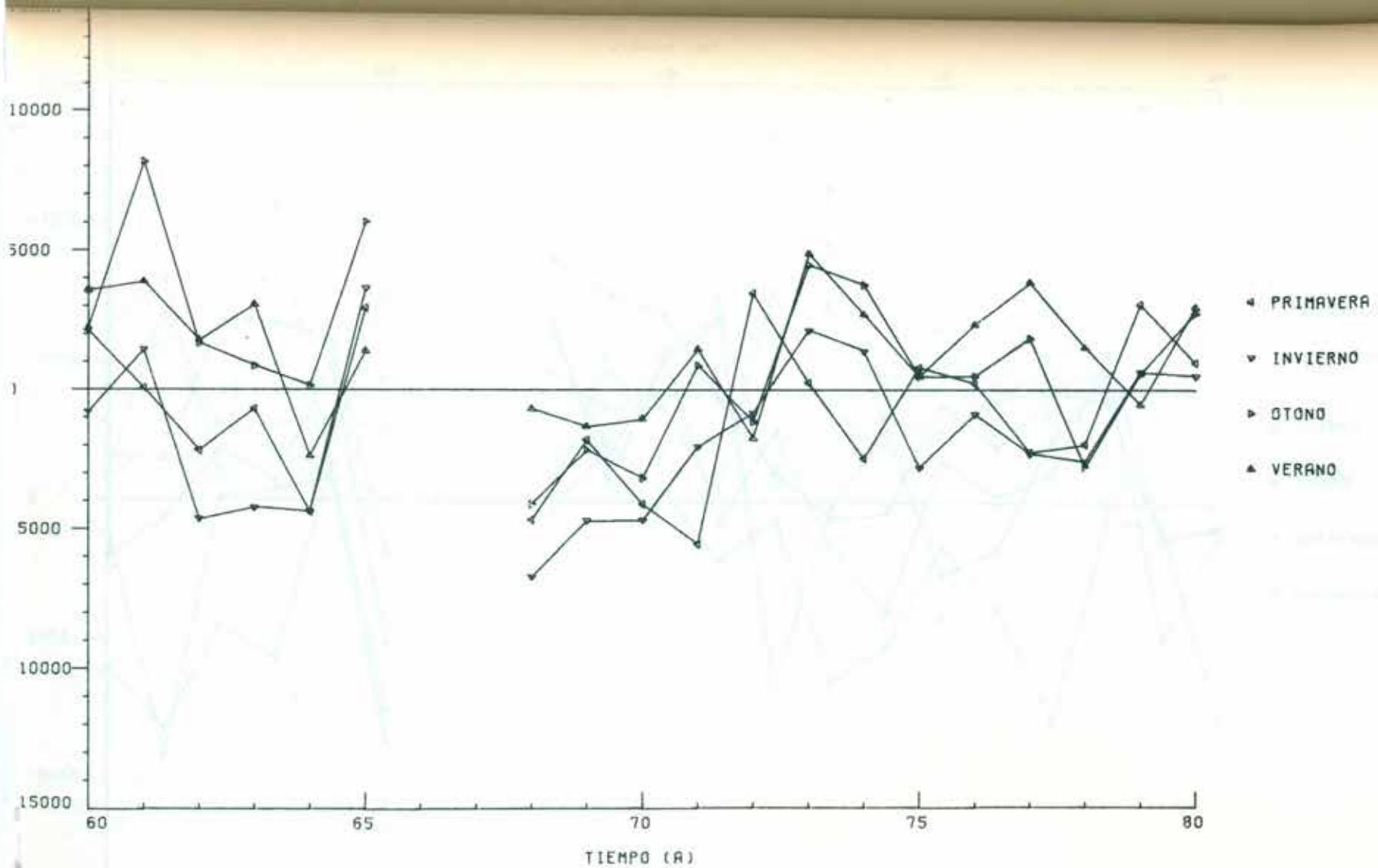
Figuro II.12 - Caudales medios anuales de otoño, corregidos por la tendencia anual, para las estaciones de Rosario, Corrientes y Hervidero.



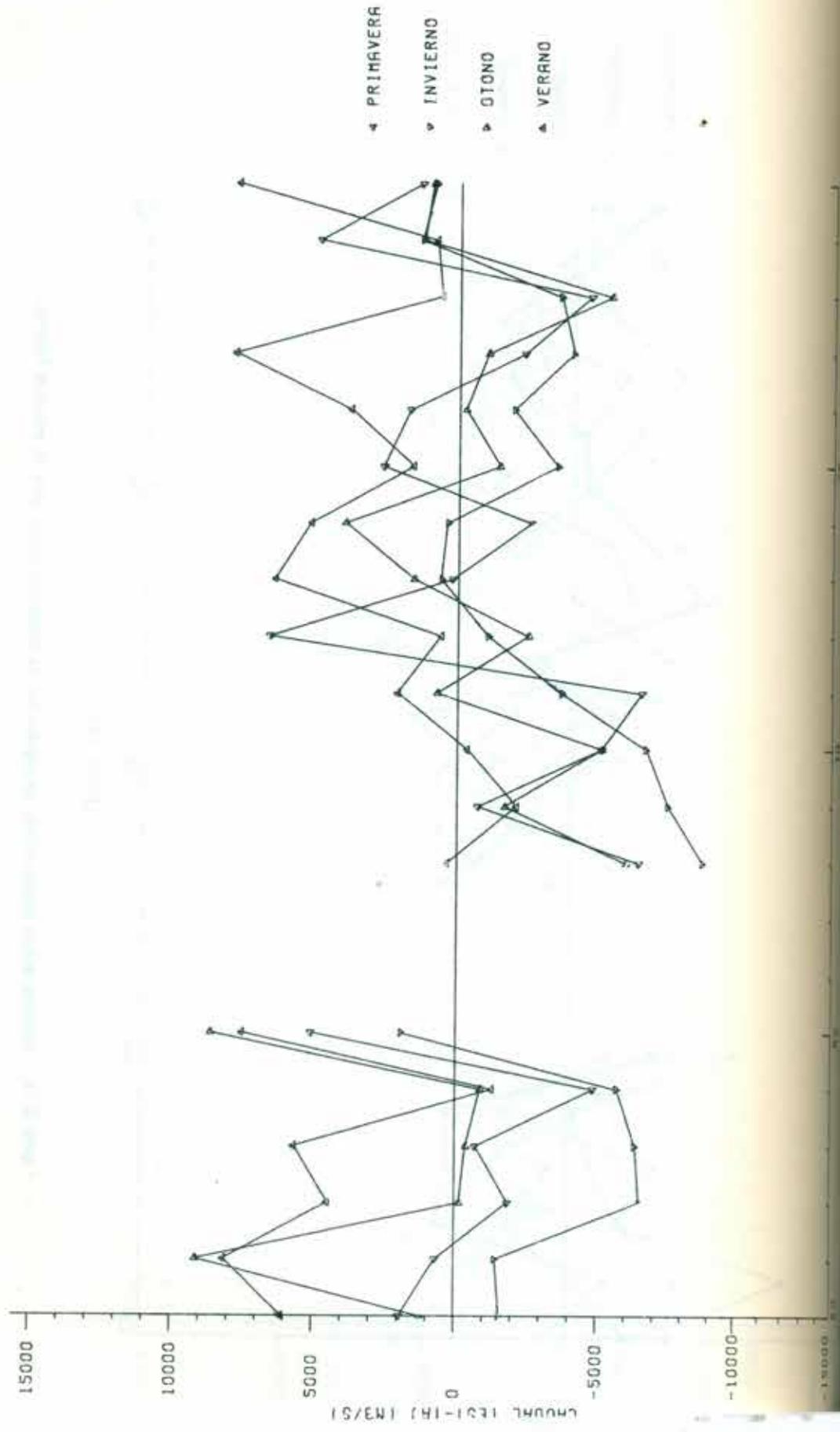
Figuro II.13 - Caudales medios anuales de invierno, corregidos por la tendencia anual, para las estaciones de Rosario, Corrientes y Hervidero.



Figuro II.14 - Caudales medios anuales de primavera, corregidos por la tendencia anual, para las estaciones de Rosario, Corrientes y Hervidero.

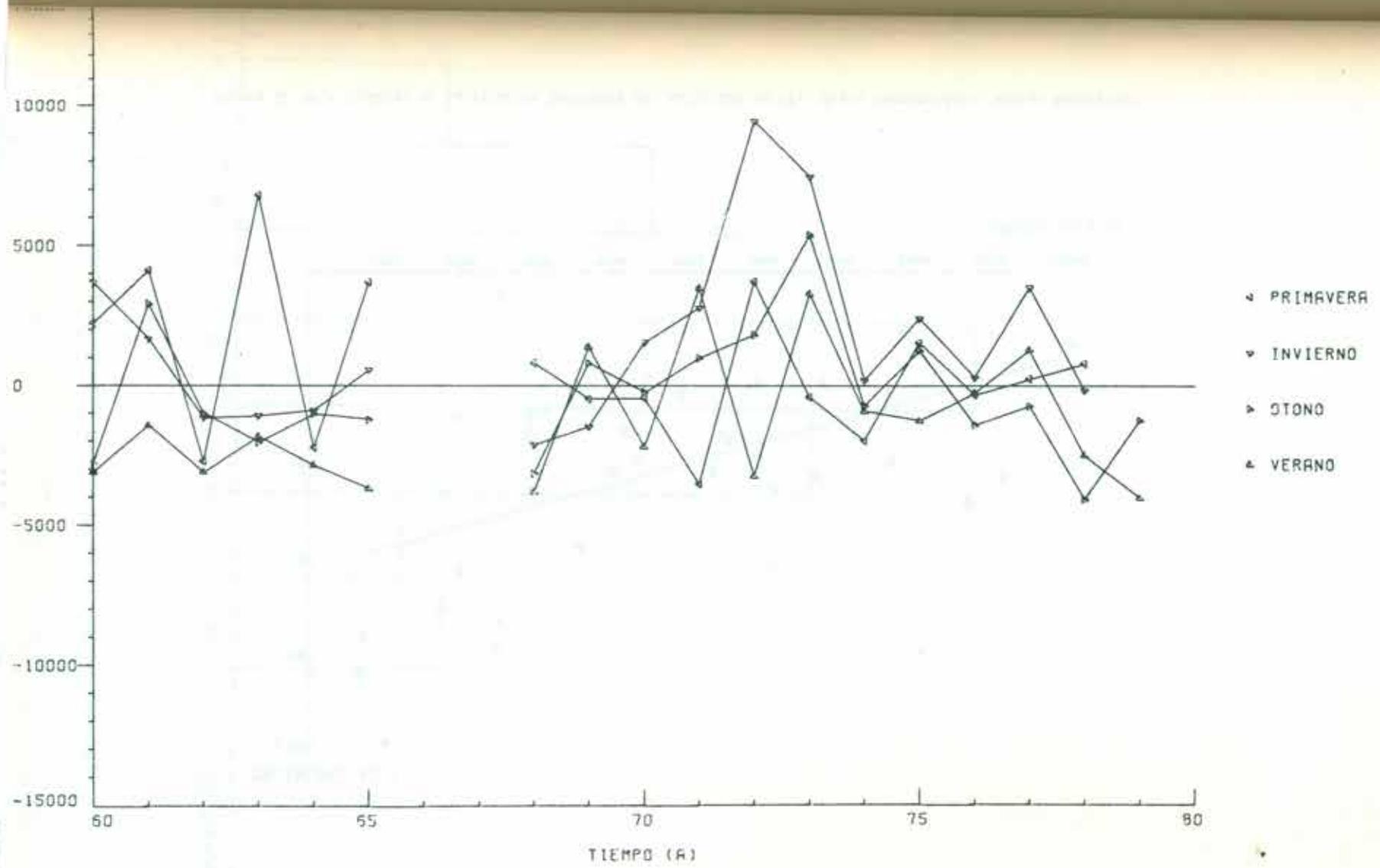


Figuro II.15 - Caudales medios estacionales, corregidos por la tendencia anual, para la estación Rosario.



TIEMPO (A)

Figuro II.16 - Caudales medios estacionales, corregidos por la tendencia anual, para la estación Corrientes.



Figuro II.17 - Caudales medios estacionales, corregidos por la tendencia anual, para la estación Hervidero.

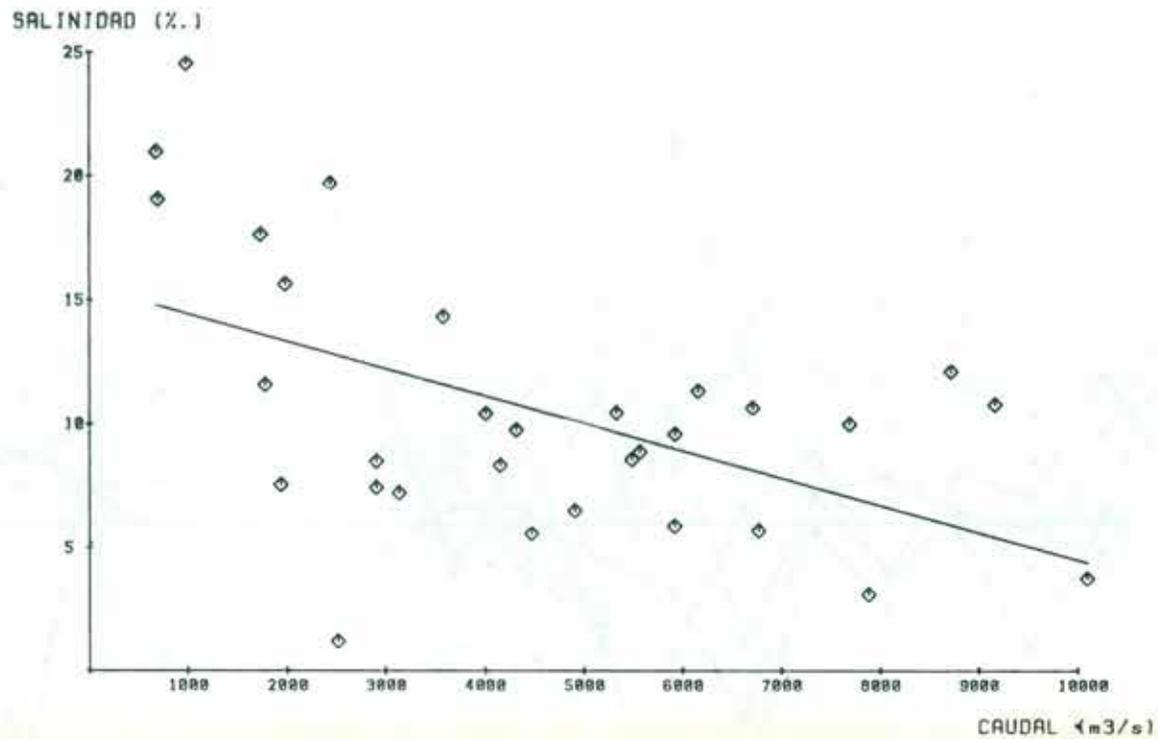


Figura II.18 - Caudales en la estación Hervidero vs. salinidad en Pta. Brava (Montevideo) (medias mensuales).



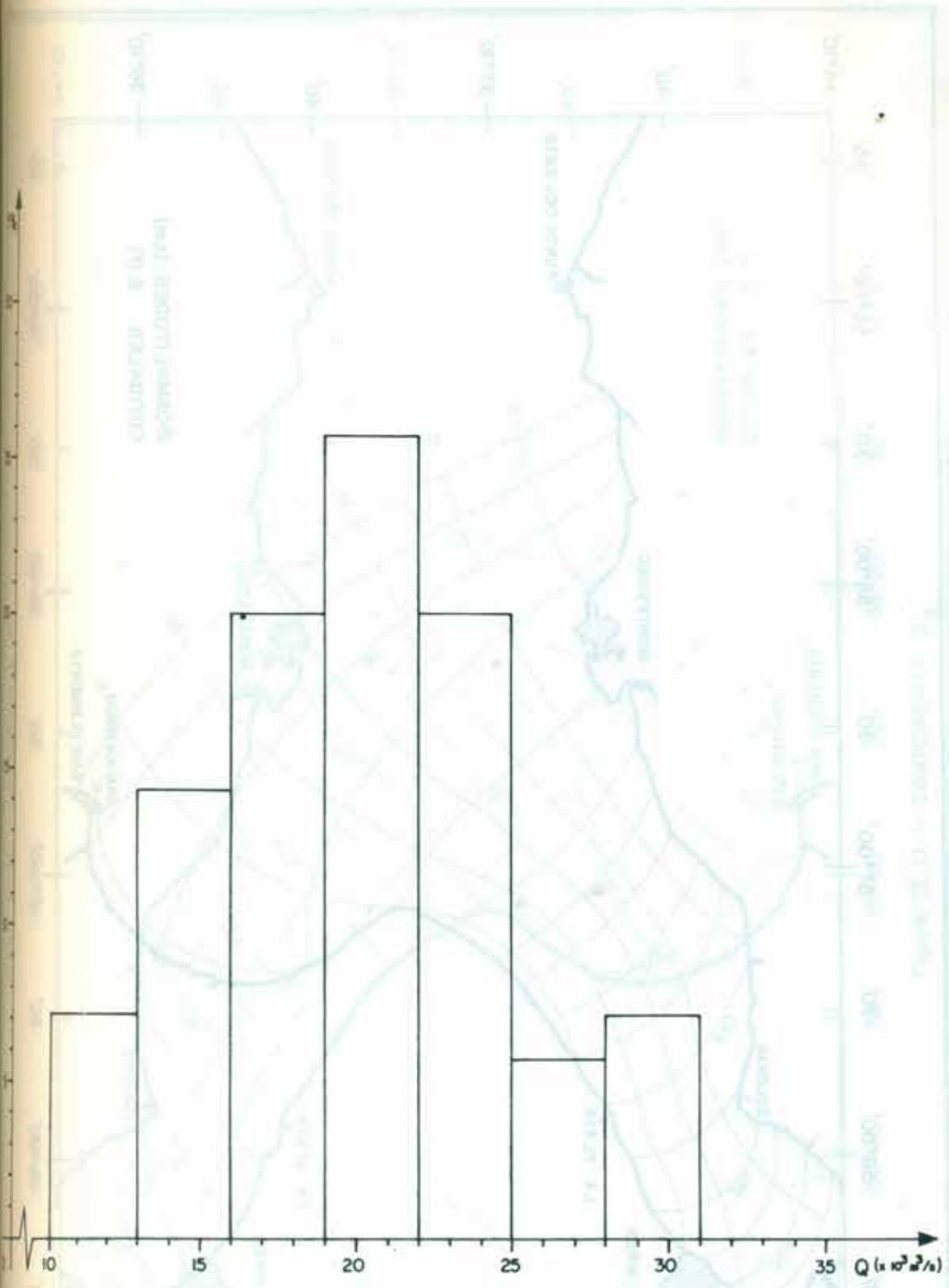
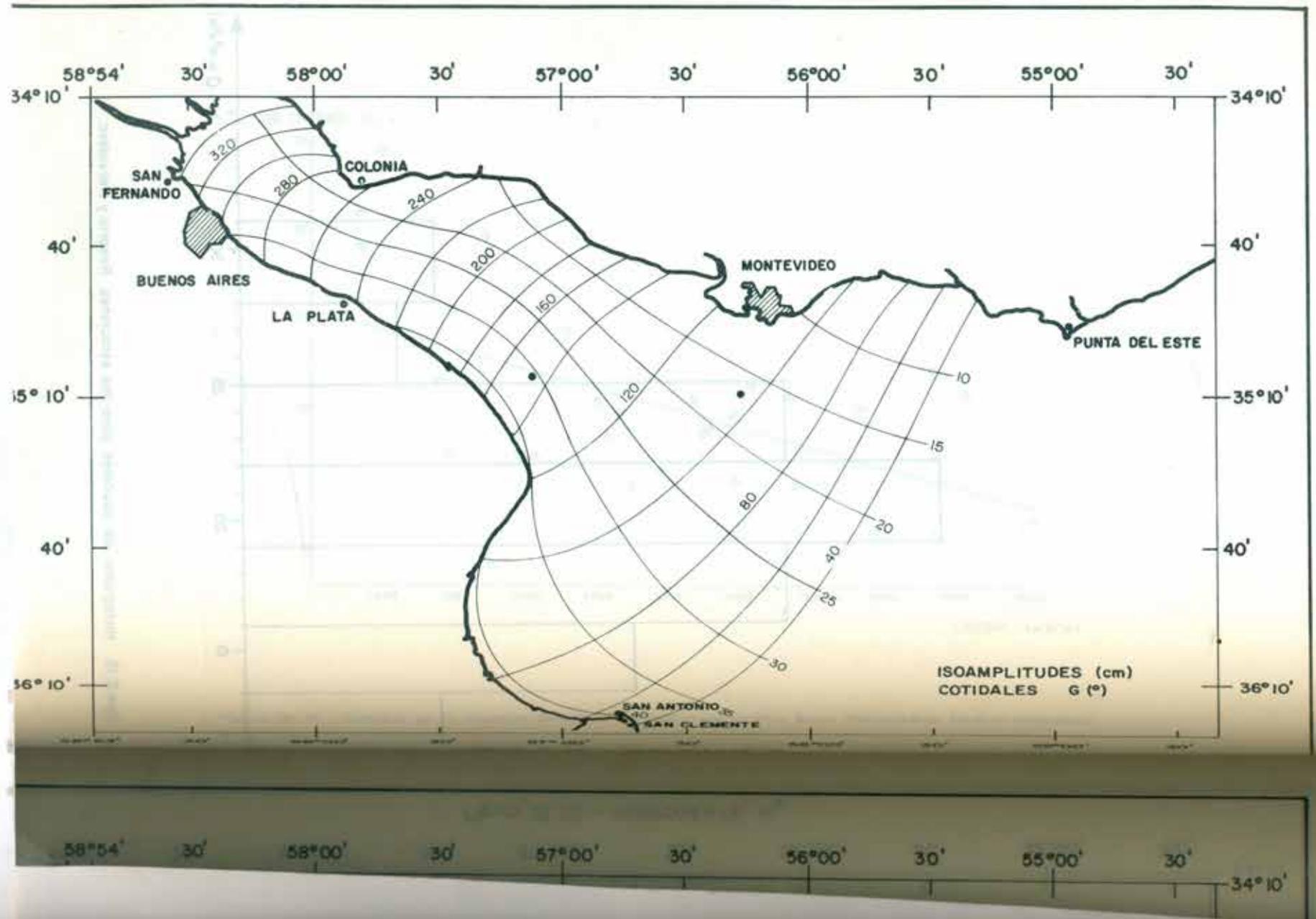


Figura II.19 Histograma de caudales para las estaciones Rosario y Hervidero.



58°54' 30' 58°00' 30' 57°00' 30' 56°00' 30' 55°00' 30'

Figura II.20 - COMPONENTE M₂

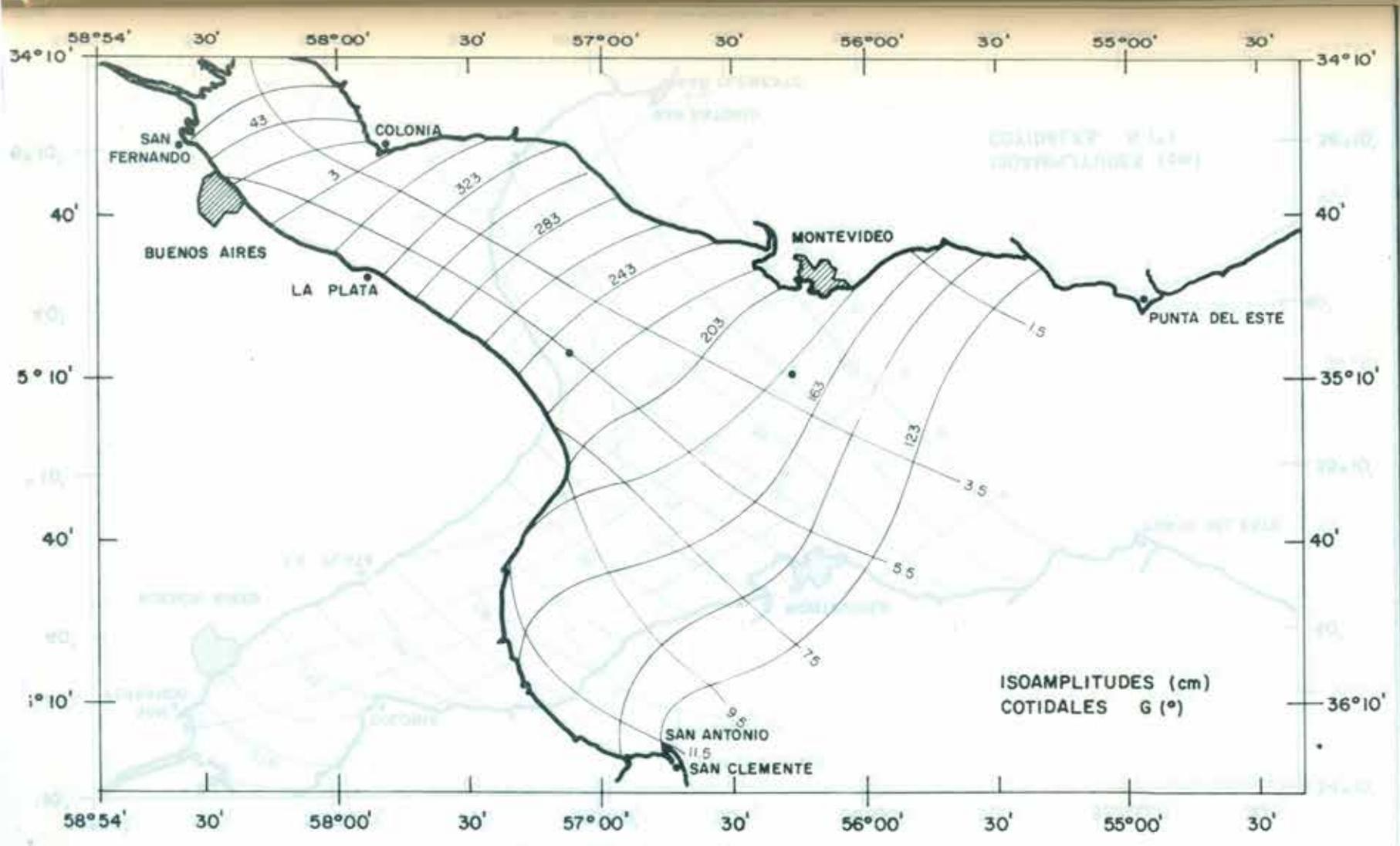
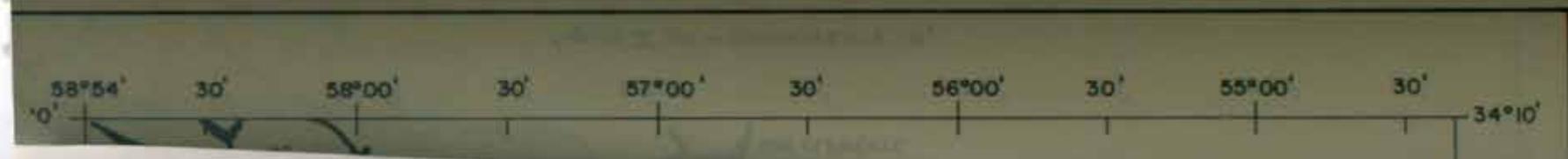
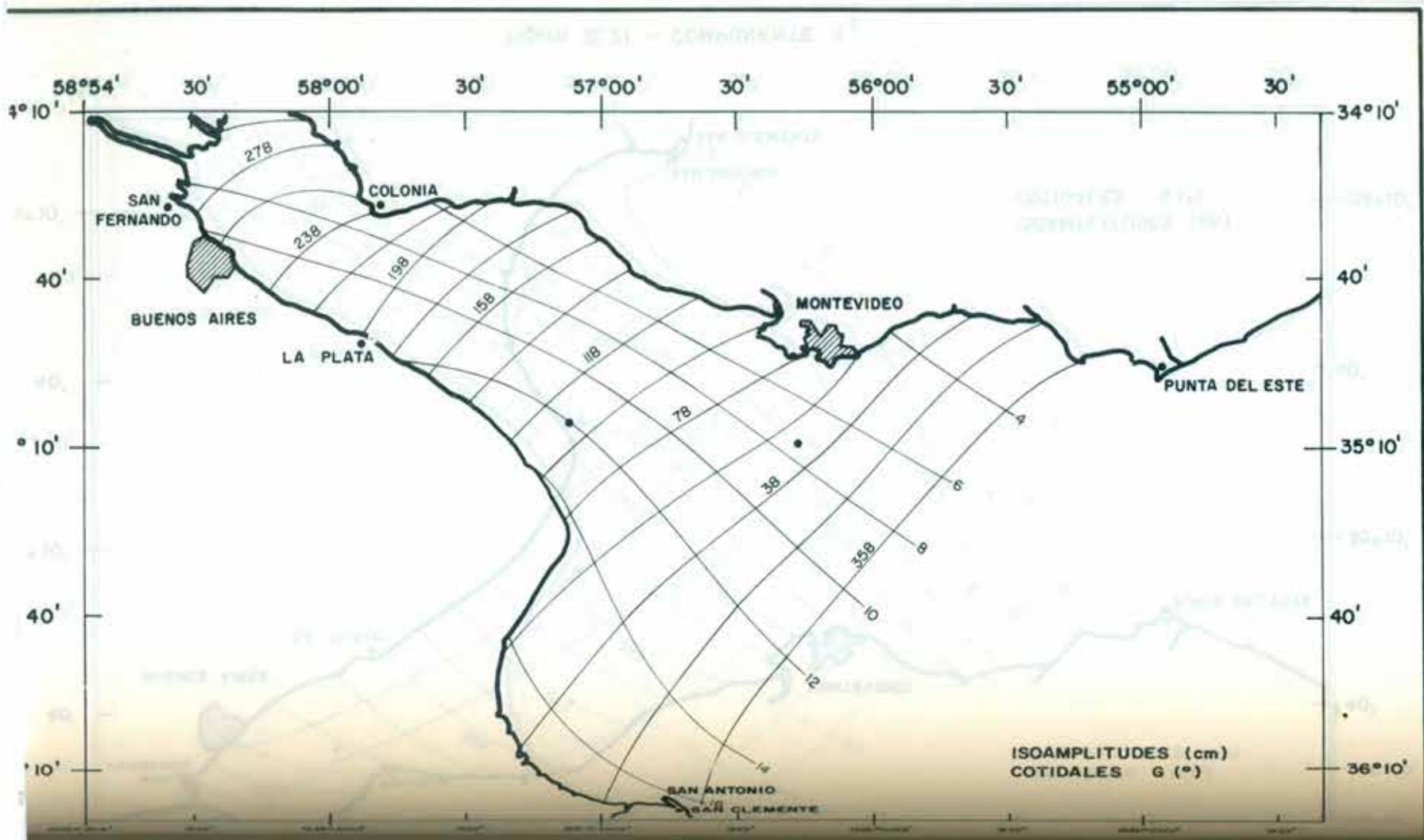


Figura II.21 - COMPONENTE S₂



58°54' 30' 58°00' 30' 57°00' 30' 56°00' 30' 55°00' 30'

Figura II.22 - COMPONENTE N₂

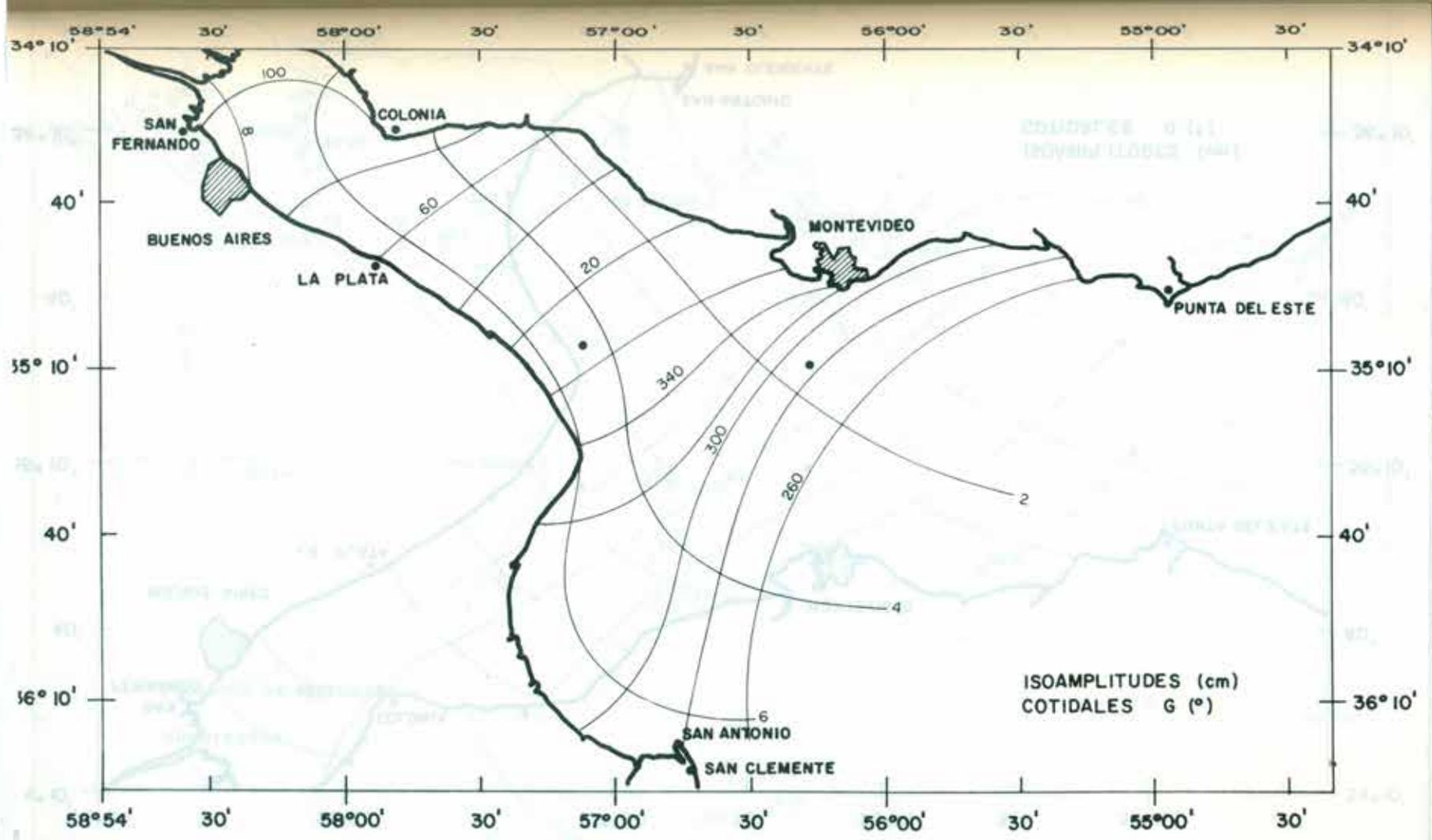
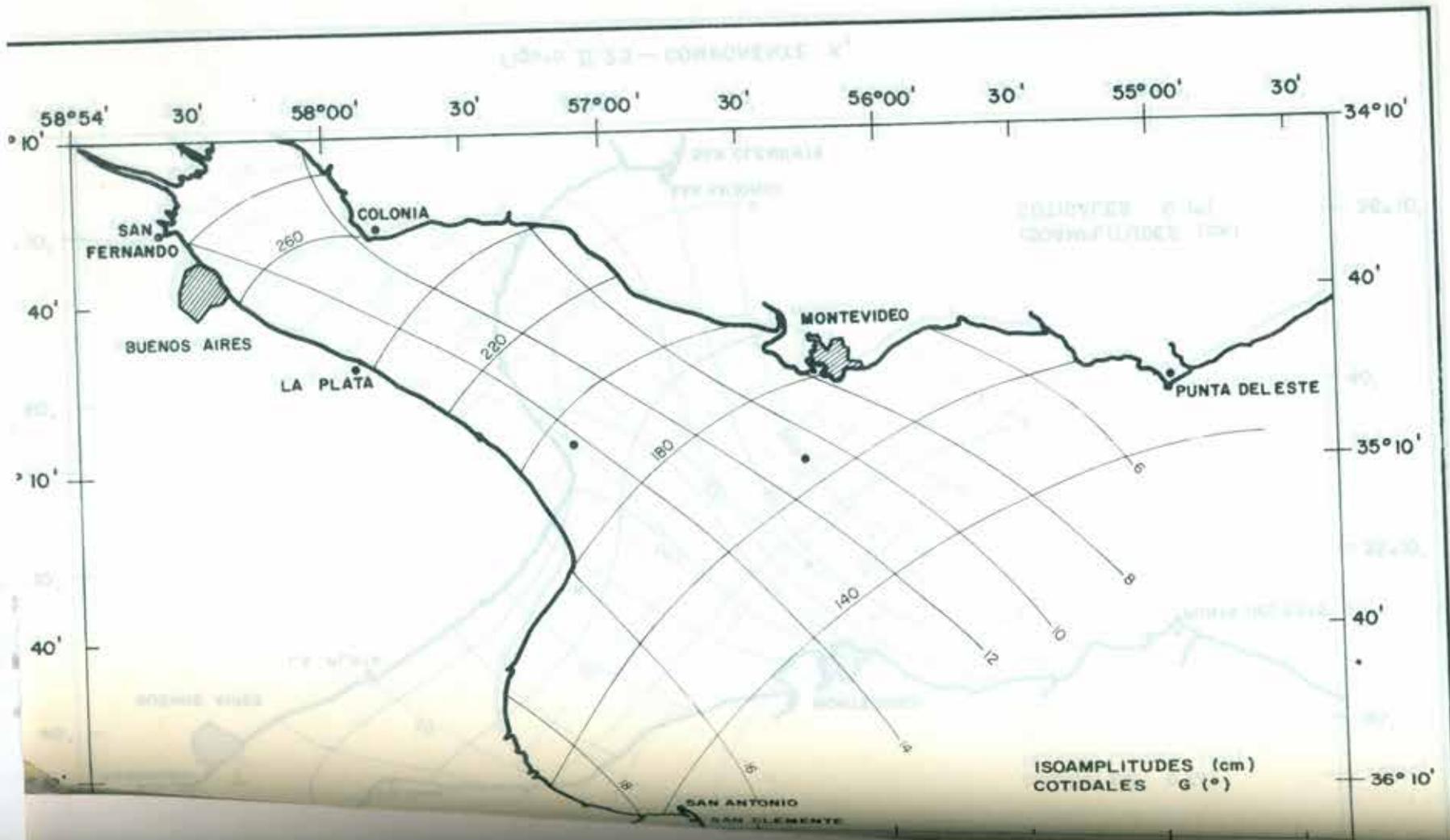


Figura II.23 - COMPONENTE K₁

ISOAMPLITUDES (cm)
COTIDIALES G (°)





Figuro II.24 - COMPONENTE O₁

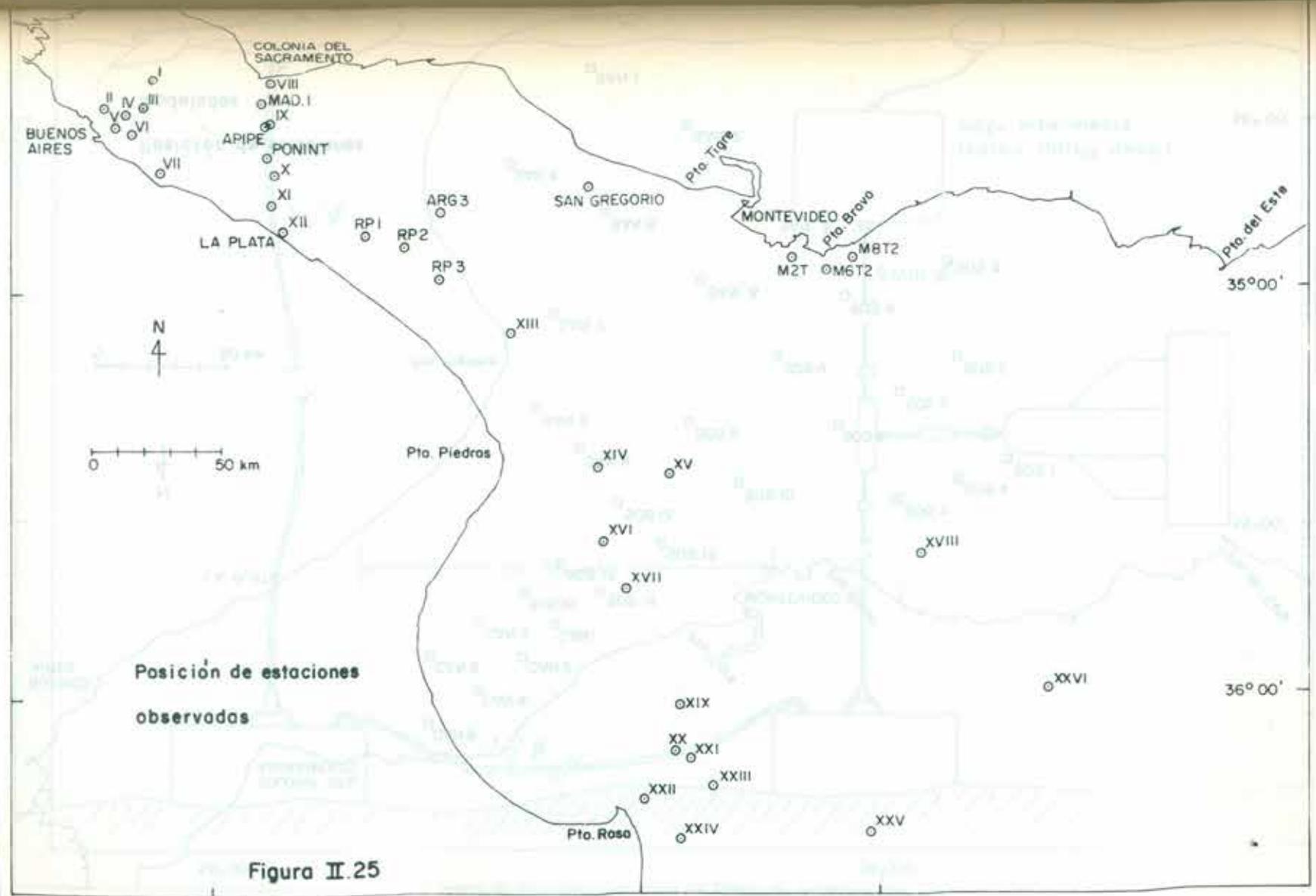


Figura II.25

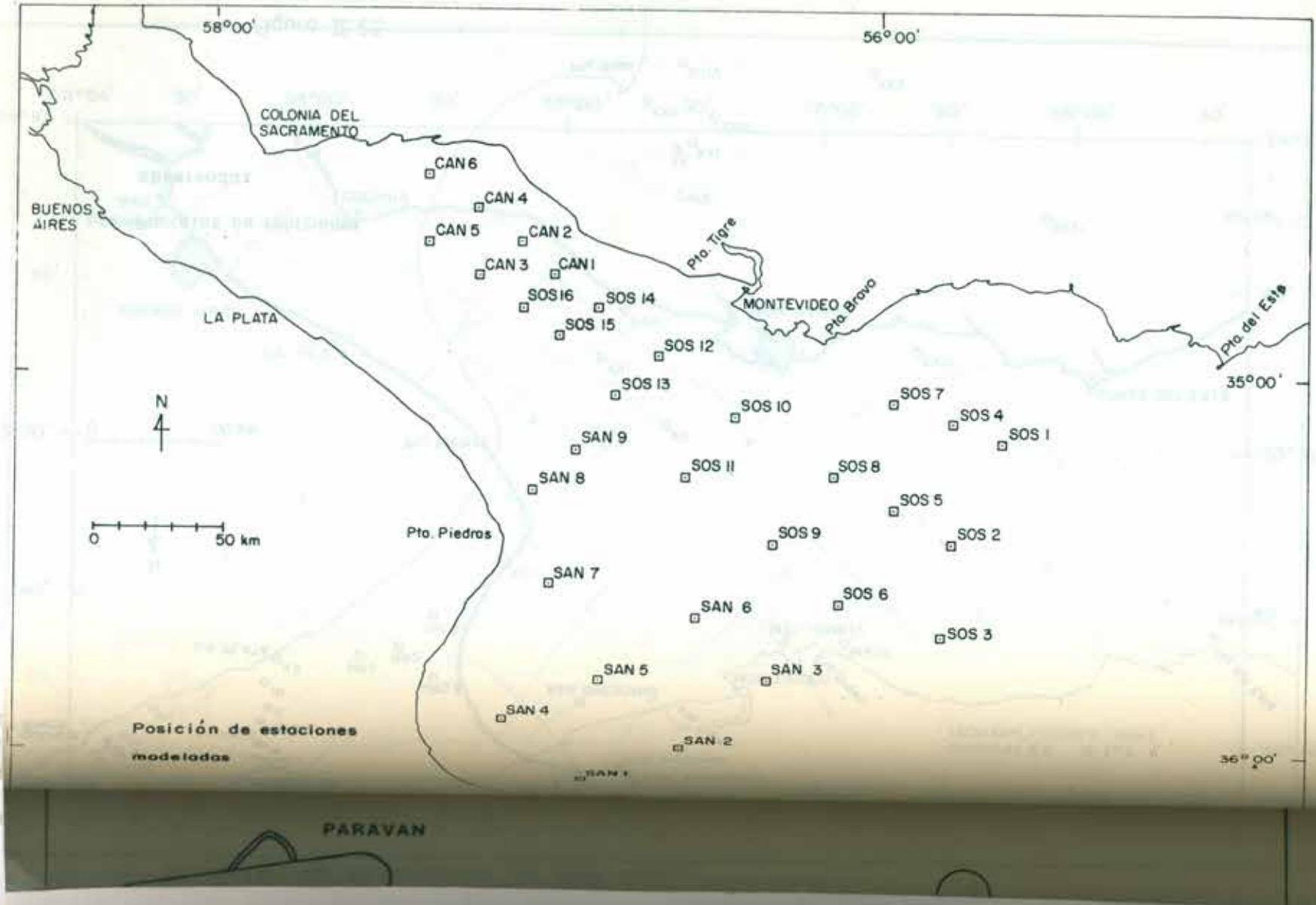


Figura II.26

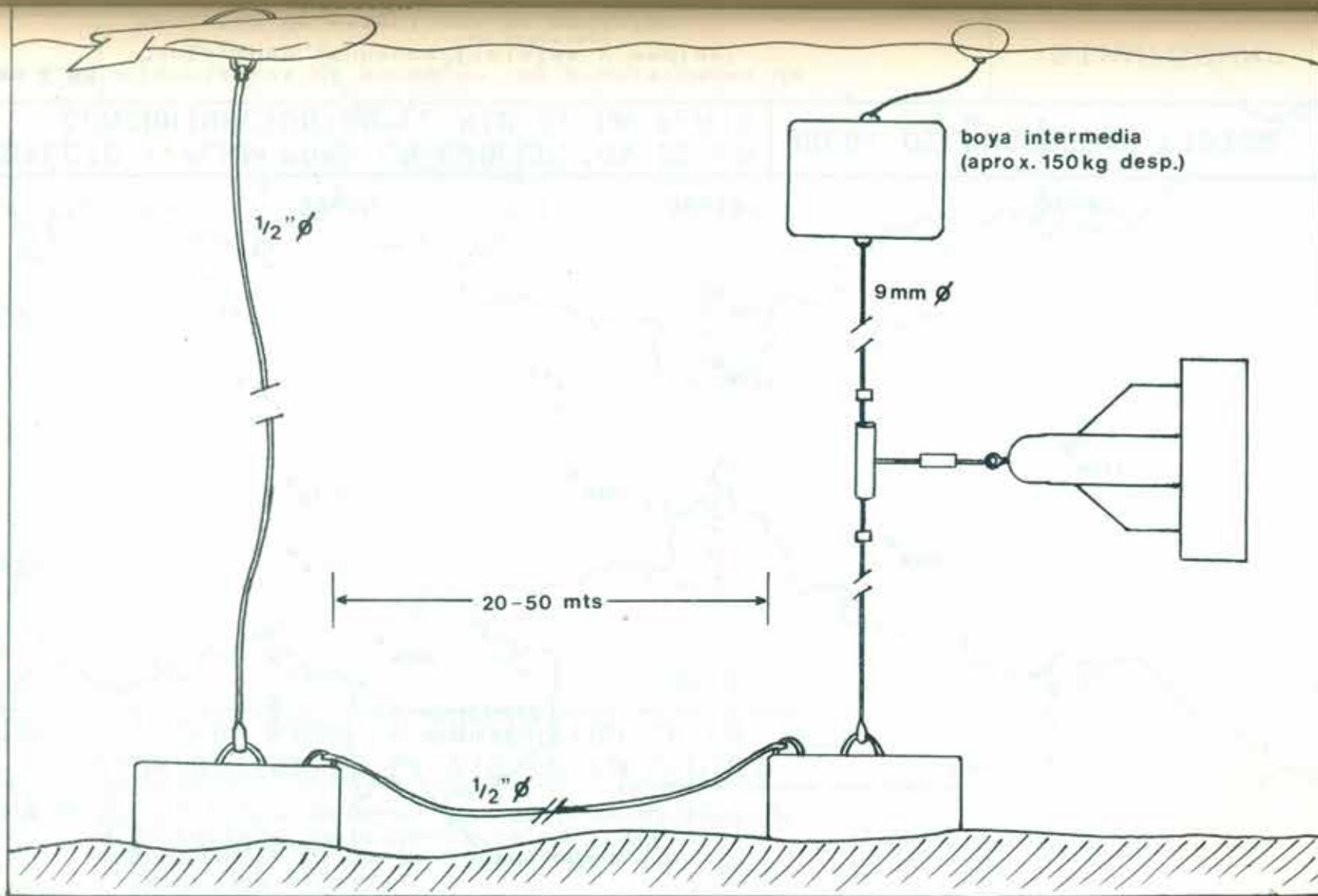
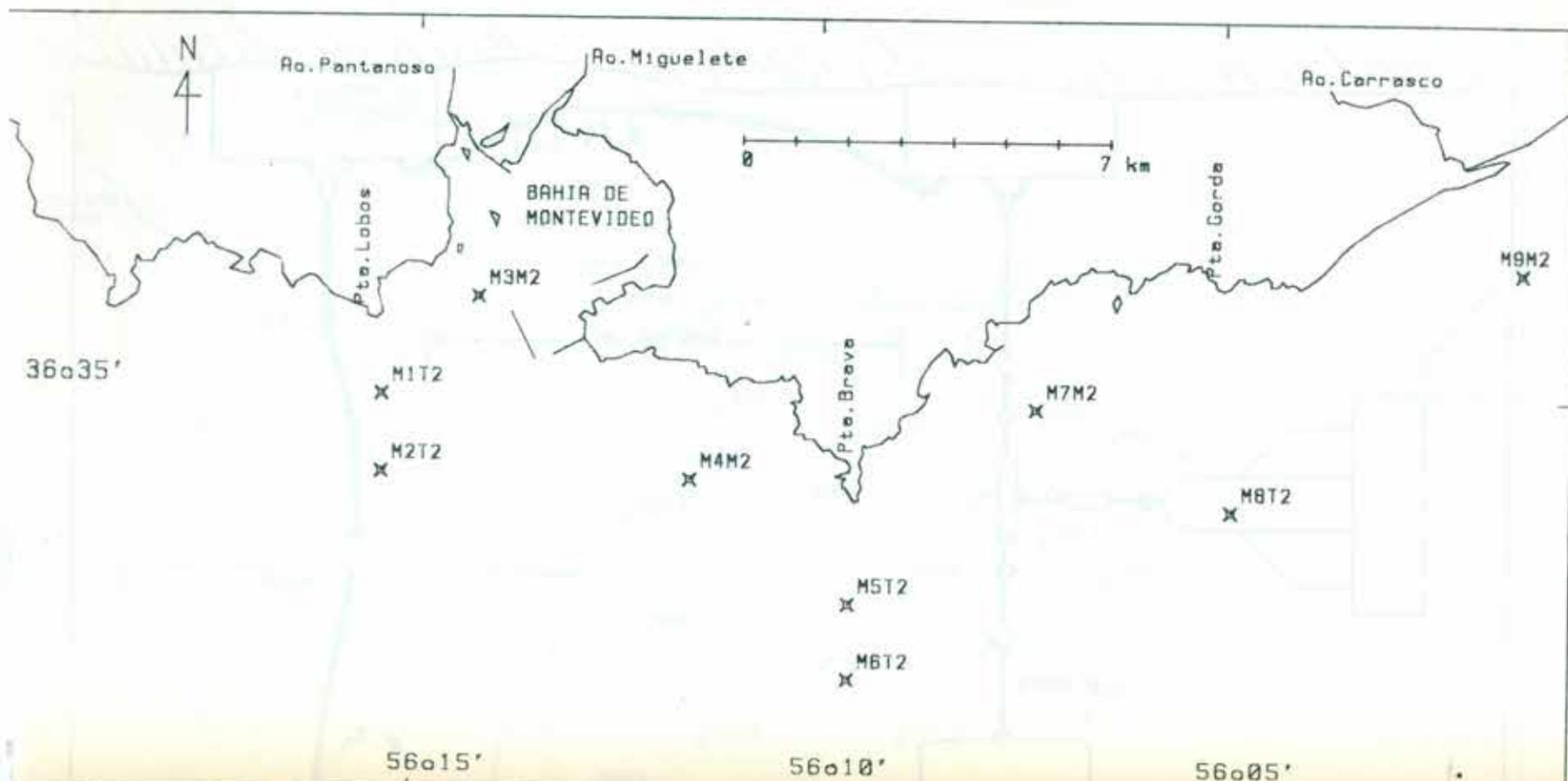


Figura II.27- Maniobra típica de fondeo de correntógrafos.



PROYECTO : PLAN PARA LA EVALUACION DE LA
CONTAMINACION EN EL RIO DE LA PLATA

AREA: OCEANOGRAFIA FISICA

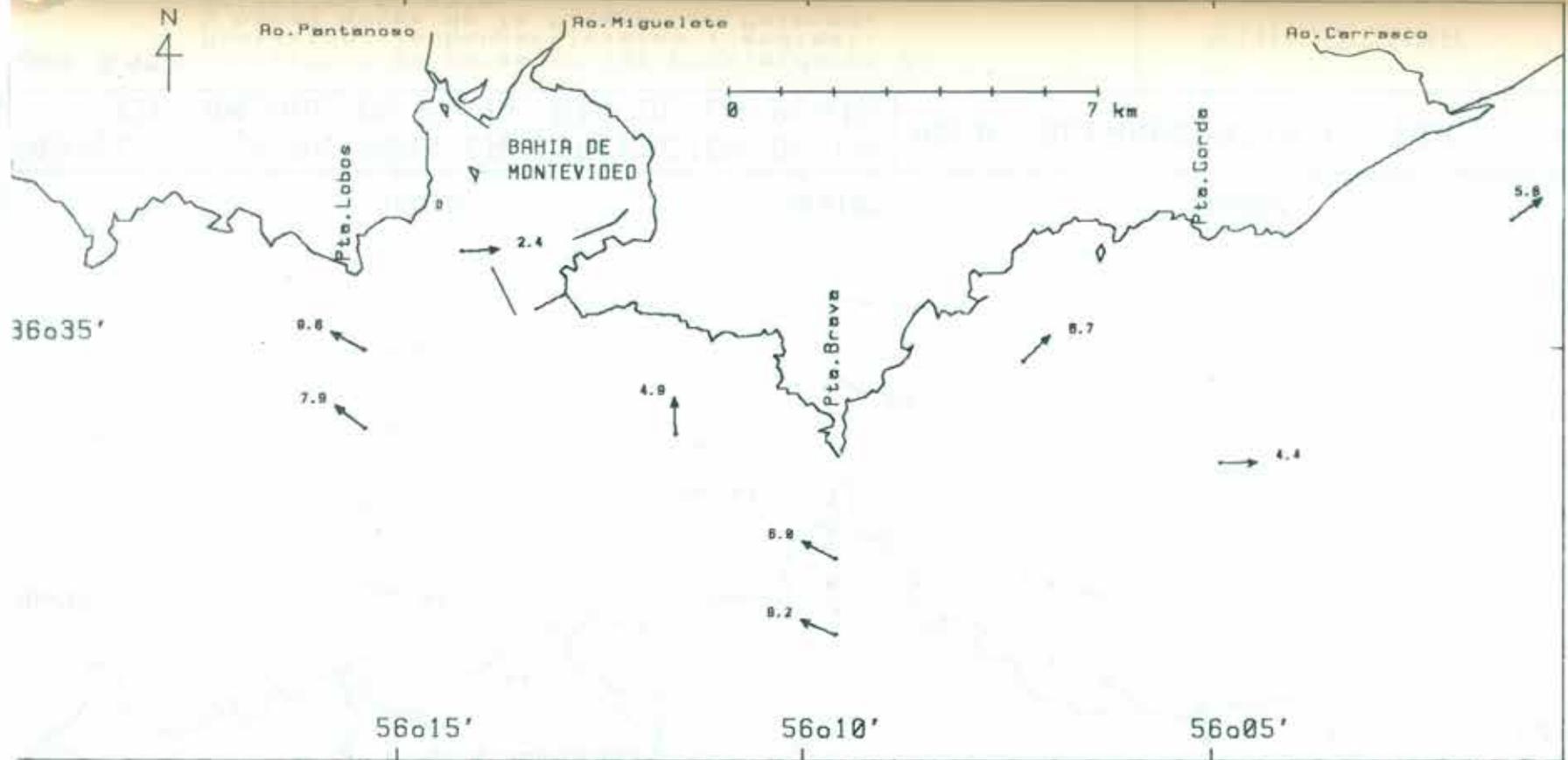
Figura 3.43 - Secciones de muestreo en las proximidades de

STANZONIMO

Figura II.43 - Corrientes de marea en las proximidades de Montevideo (subsuperficiales y medias).

SIHN/SOHMA

Posición de estaciones de medición.

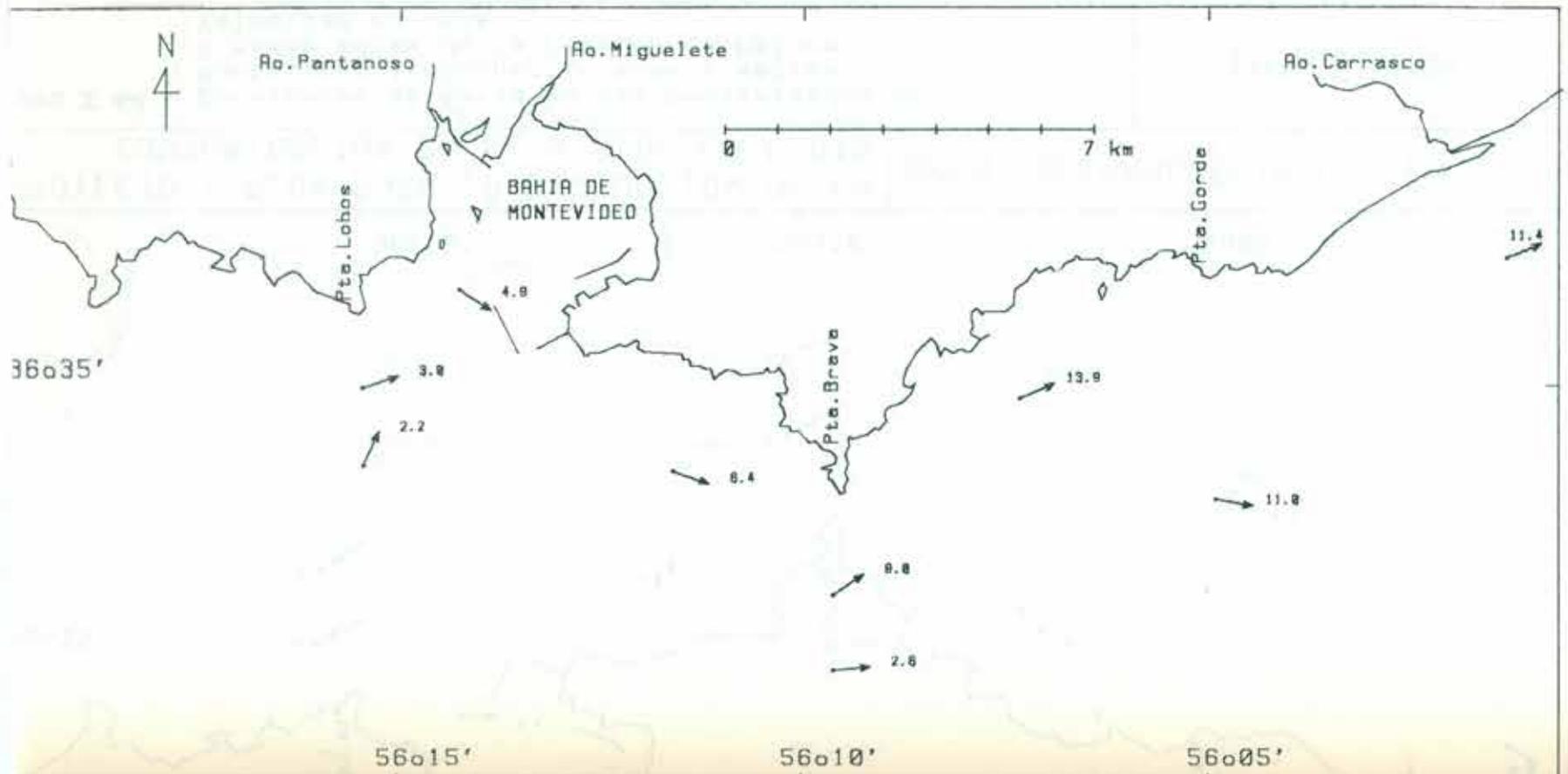


PROYECTO : PLAN PARA LA EVALUACION DE LA CONTAMINACION EN EL RIO DE LA PLATA

AREA: OCEANOGRAFIA FISICA

Figura II.44 - Corrientes de marea en las proximidades de Montevideo (subsuperficiales y medias). 6 horas antes de la Pleamar en Palermo. Velocidad en cm/s

SIHN/SOHMA



PROYECTO : PLAN PARA LA EVALUACION DE LA CONTAMINACION EN EL RIO DE LA PLATA

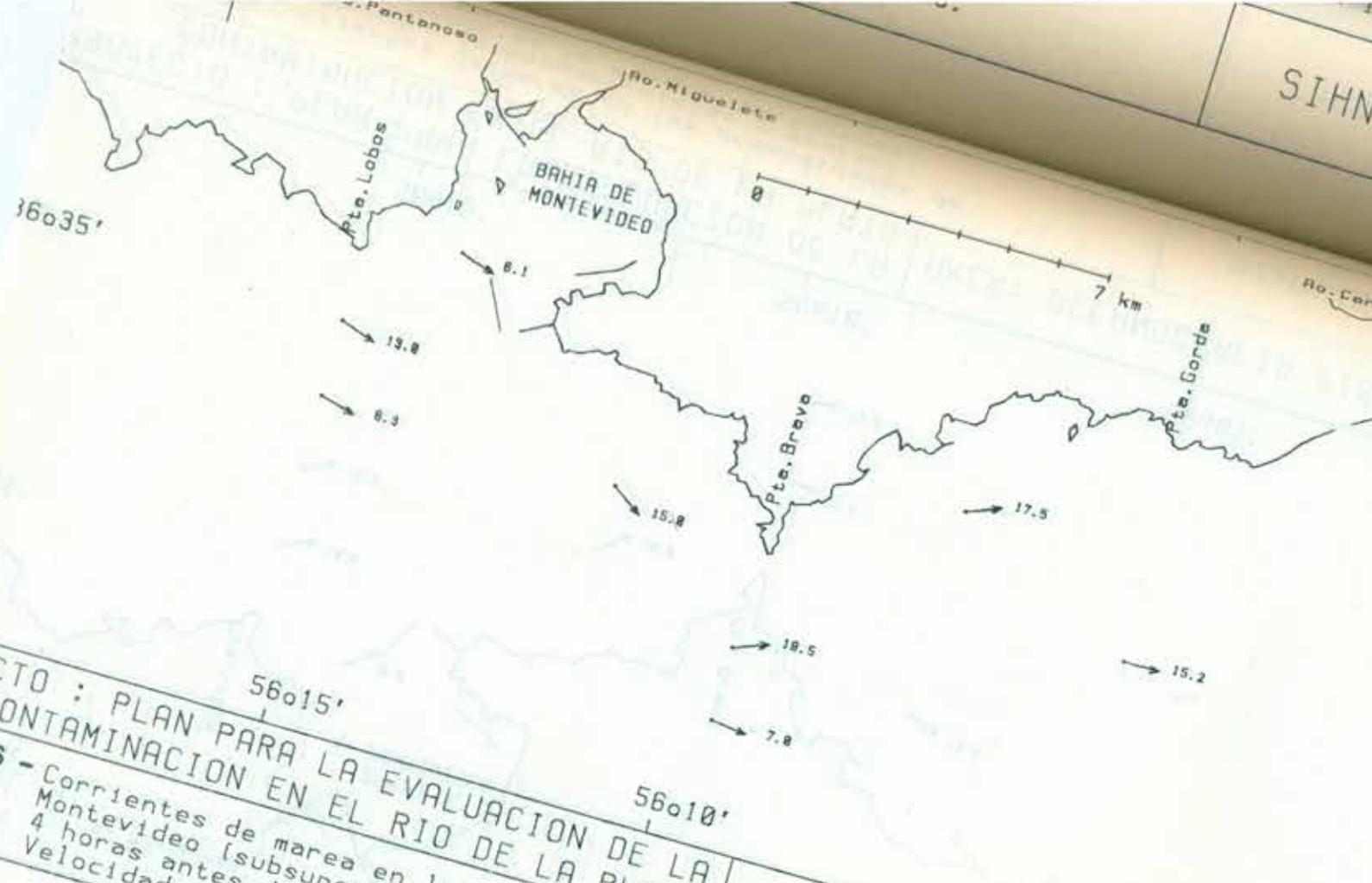
AREA: OCEANOGRAFIA FISICA

Figura II.45 - Porcentajes de sales en las proximidades de Bahía de Montevideo

SIAN/SCHMA



SIHN

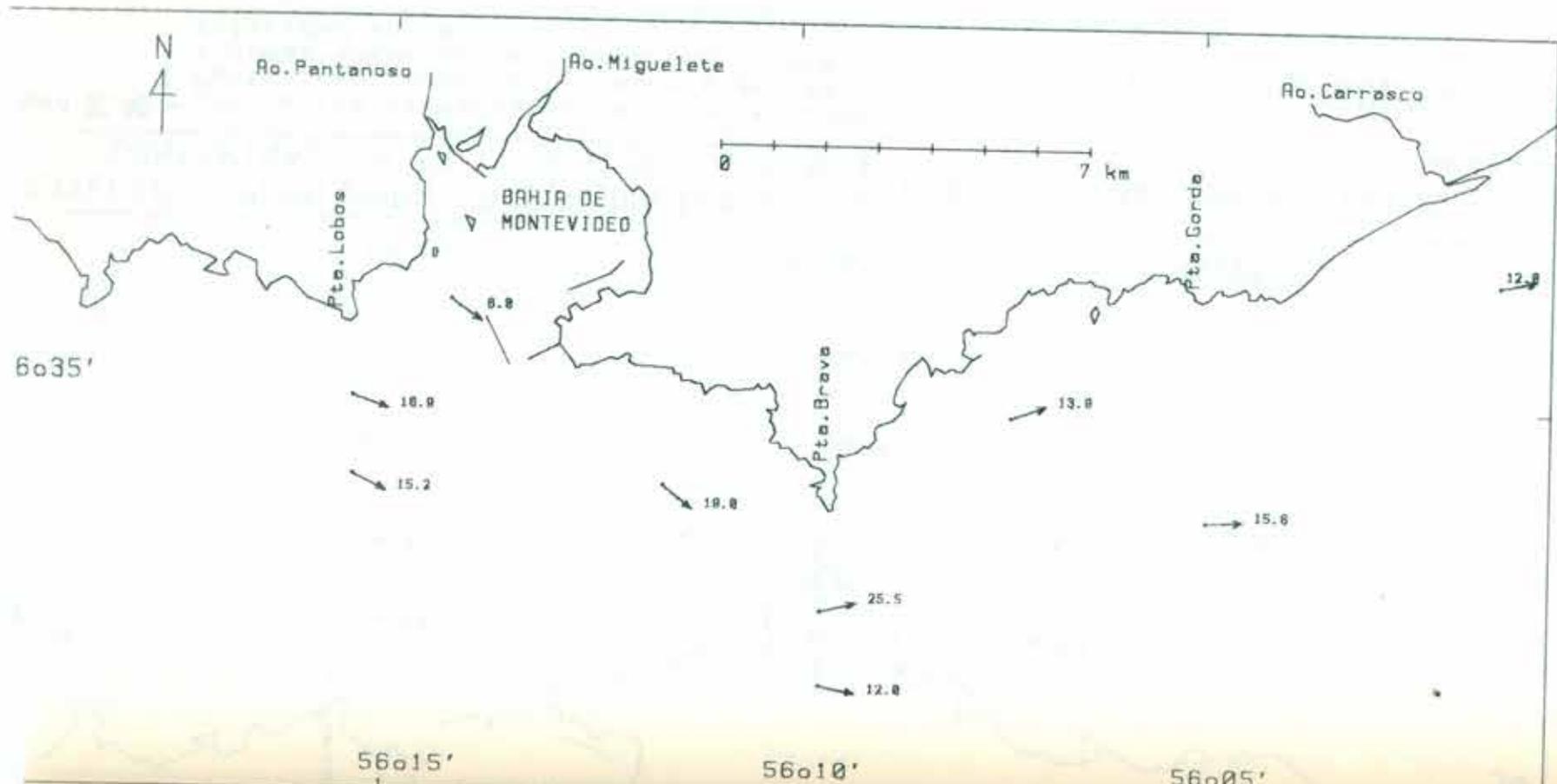


PROYECTO : PLAN PARA LA EVALUACION DE LA
 CONTAMINACION EN EL RIO DE LA PLATA

Figura II.46 - Corrientes de marea en las proximidades de Montevideo (subsuperficiales y medias). 4 horas antes de la Pleamar en Palermo. Velocidad en cm/s

AREA: OCEANOGRAFIA FISICA

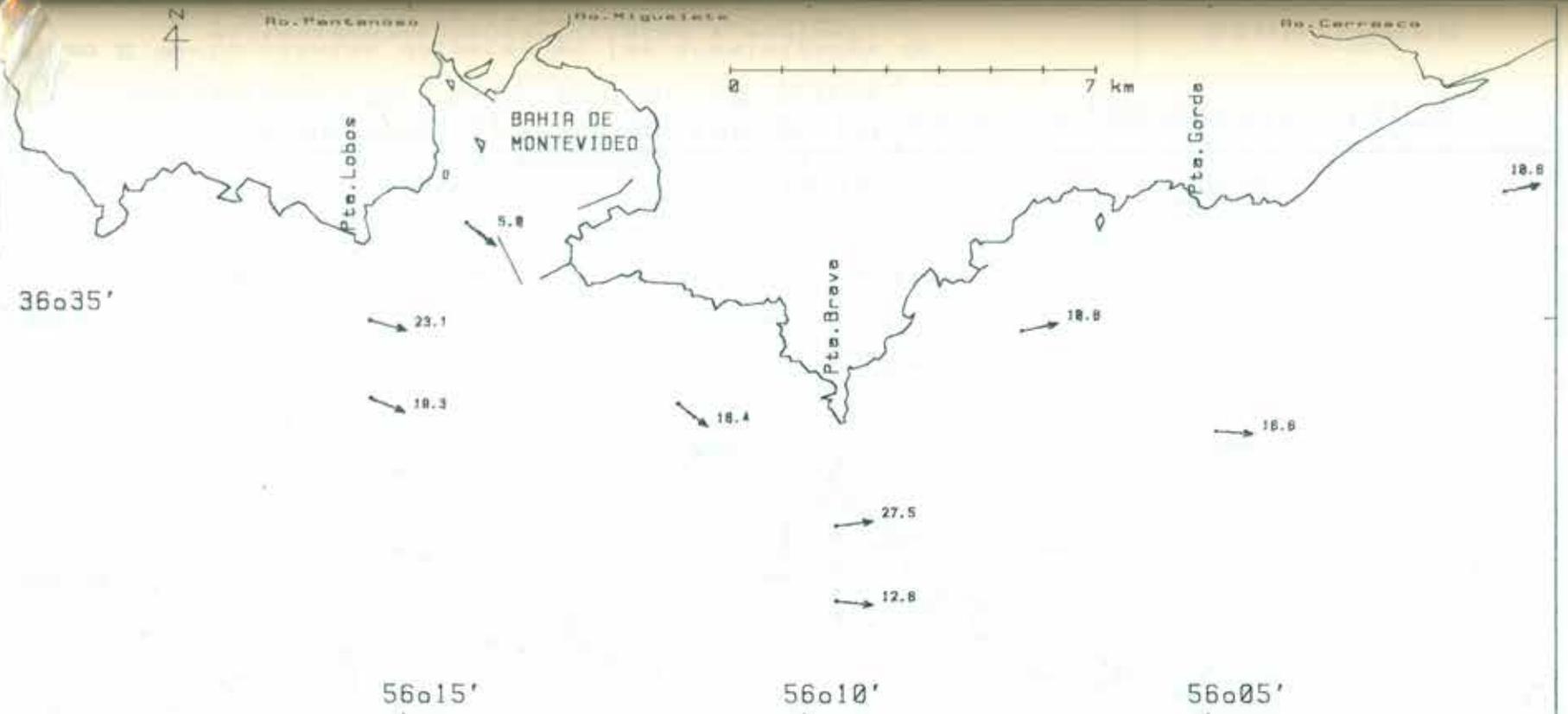
SIHN/SOHMA



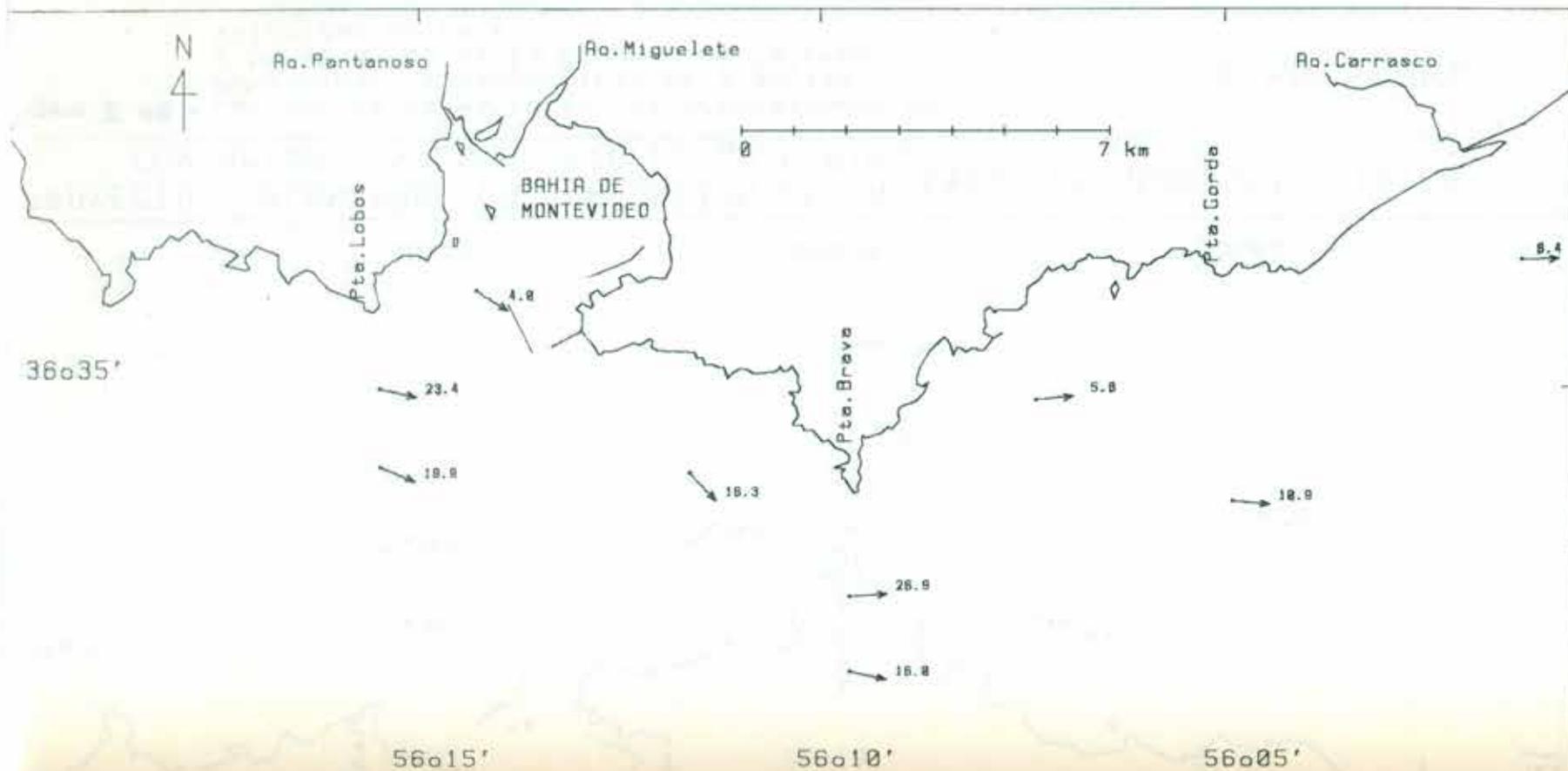
PROYECTO : PLAN PARA LA EVALUACION DE LA CONTAMINACION EN EL RIO DE LA PLATA

AREA: OCEANOGRAFIA FISICA

Mapa No. 47 - ESTADOS UNIDOS DE AMERICA - OFICINA DE INVESTIGACIONES Y SERVICIOS DE LA COSTA



PROYECTO : PLAN PARA LA EVALUACION DE LA CONTAMINACION EN EL RIO DE LA PLATA		AREA: OCEANOGRAFIA FISICA
Figuro II.48 - Corrientes de marea en las proximidades de Montevideo (subsuperficiales y medias). 2 horas antes de la Pleamar en Palermo. Velocidad en cm/s		SIHN/SOHMA

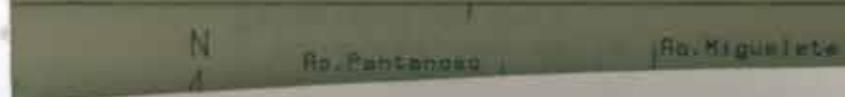


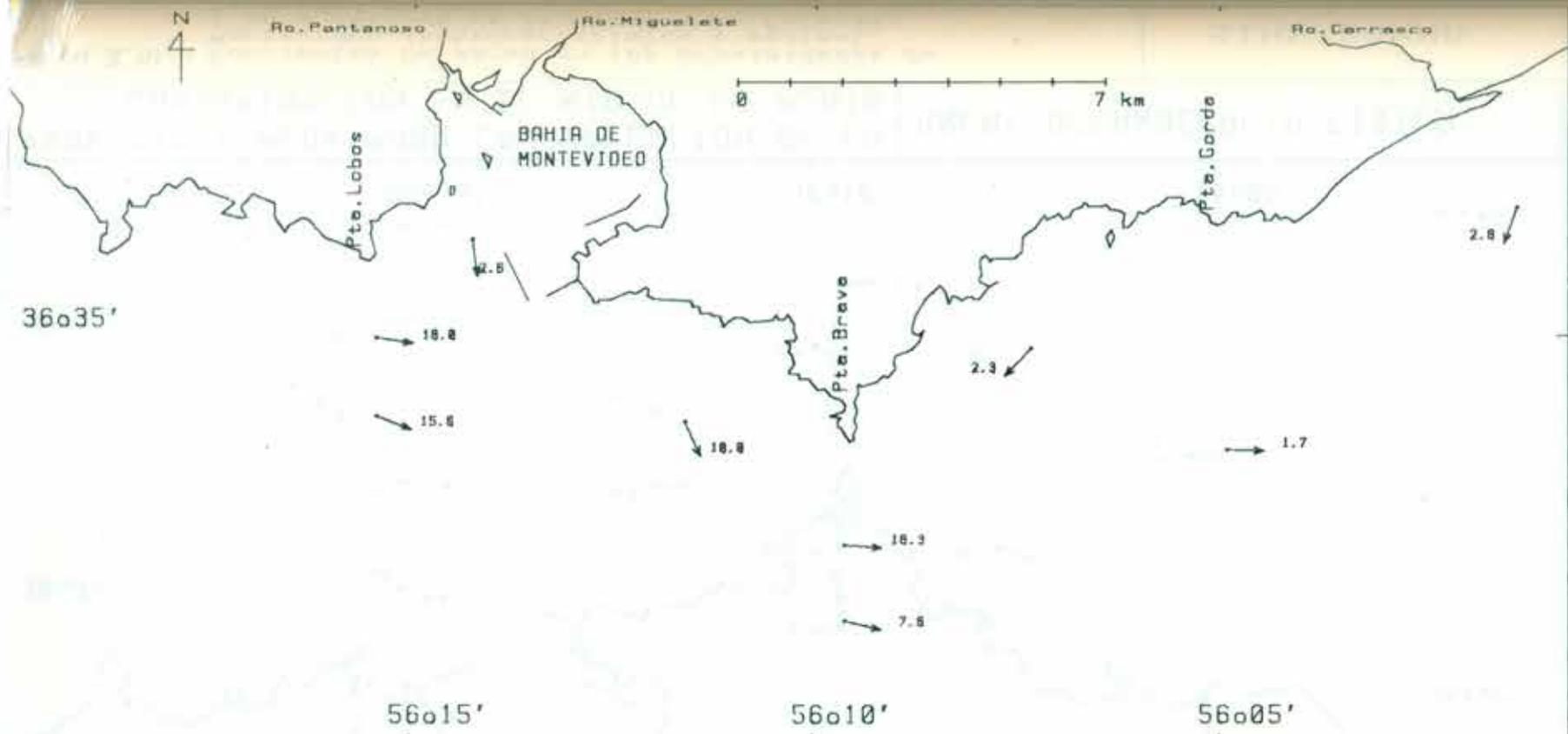
PROYECTO : PLAN PARA LA EVALUACION DE LA CONTAMINACION EN EL RIO DE LA PLATA

AREA: OCEANOGRAFIA FISICA

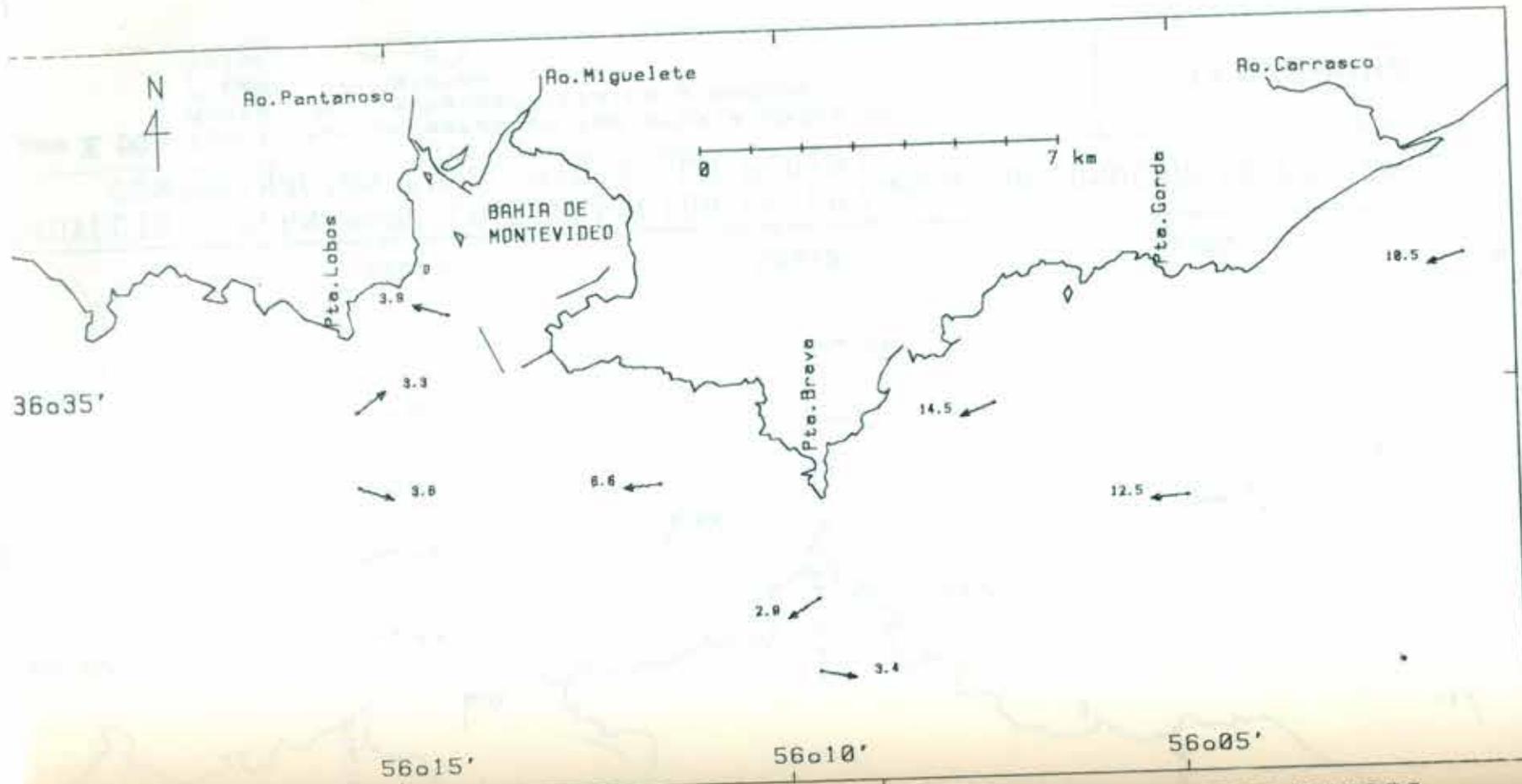
Figura II-49 - Corrientes de marea en las proximidades de

STINZOHME





PROYECTO : PLAN PARA LA EVALUACION DE LA CONTAMINACION EN EL RIO DE LA PLATA	AREA: OCEANOGRAFIA FISICA
Figura II.50 - Corrientes de marea en las proximidades de Montevideo (subsuperficiales y medias). Pleamar en Palermo. Velocidad en cm/s	SIHN/SOHMA

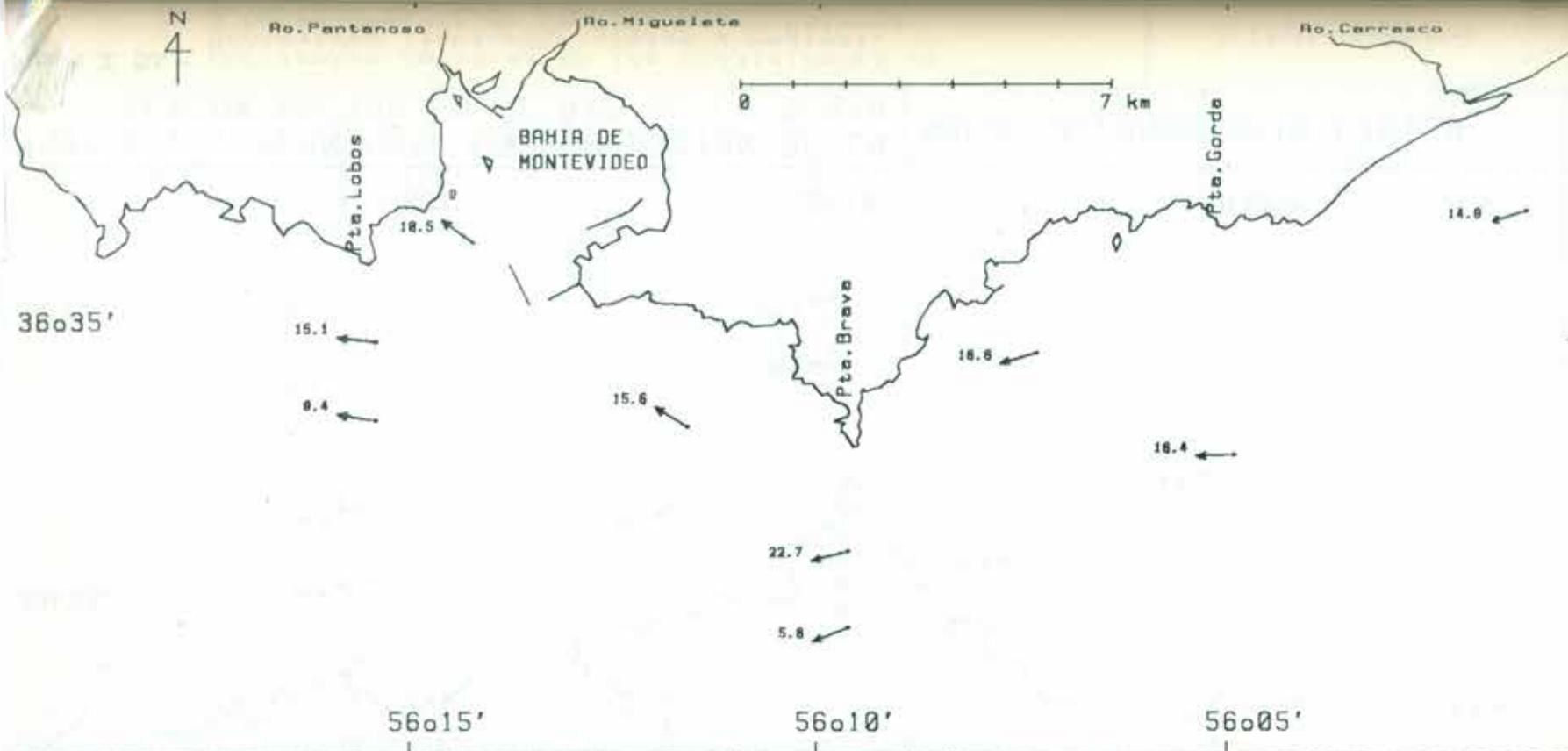


PROYECTO : PLAN PARA LA EVALUACION DE LA CONTAMINACION EN EL RIO DE LA PLATA

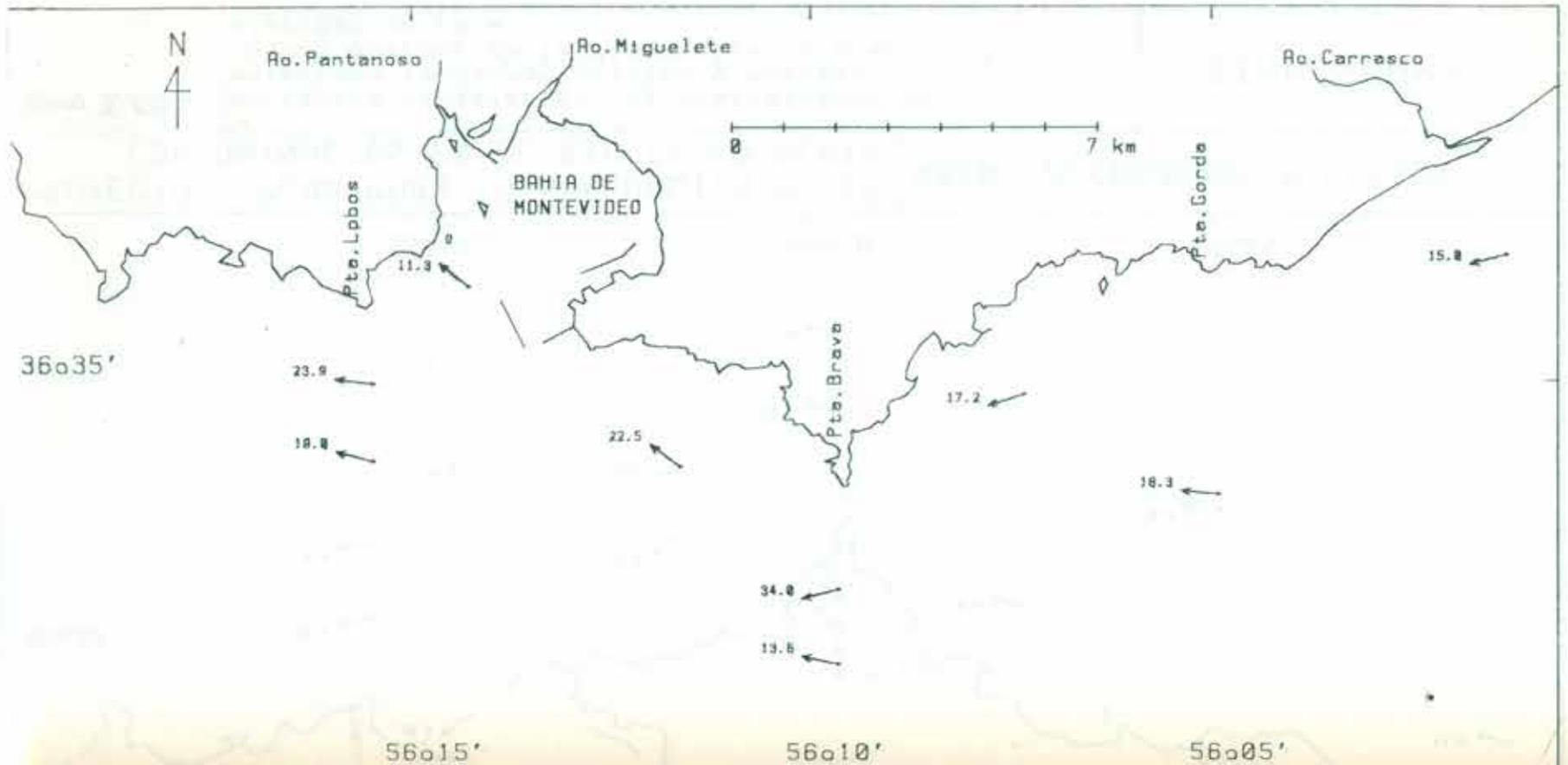
AREA: OCEANOGRAFIA FISICA

Figura 3.51 - Sección transversal de la bahía de Montevideo

STAN/SOLMO



PROYECTO : PLAN PARA LA EVALUACION DE LA CONTAMINACION EN EL RIO DE LA PLATA		AREA: OCEANOGRAFIA FISICA
Figura II.52 - Corrientes de marea en las proximidades de Montevideo (subsuperficiales y medias). 2 horas despues de la Pleamar en Palermo. Velocidad en cm/s		SIHN/SOHMA



PROYECTO : PLAN PARA LA EVALUACION DE LA CONTAMINACION EN EL RIO DE LA PLATA

AREA: OCEANOGRAFIA FISICA

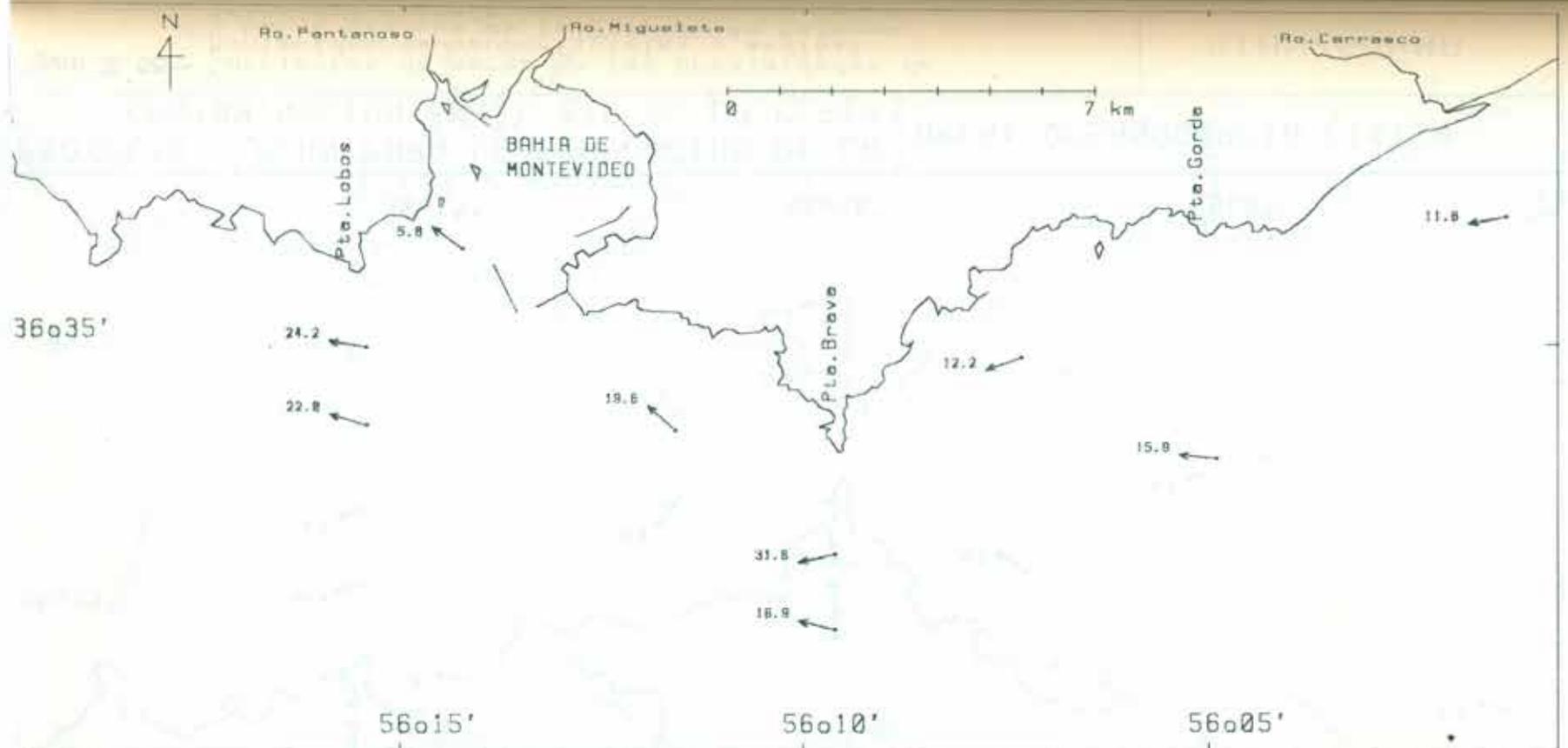
Figura II 53 - Corrientes de marea en las proximidades de Montevideo (observaciones de 1955 y 1956)

cm/hn / 50/100



Figura II. 53 - Corrientes de marea en las proximidades de Montevideo (subsuperficiales y medias).
3 horas despues de la Pleamar en Palermo.
Velocidad en cm/s

SIHN/SOHMA

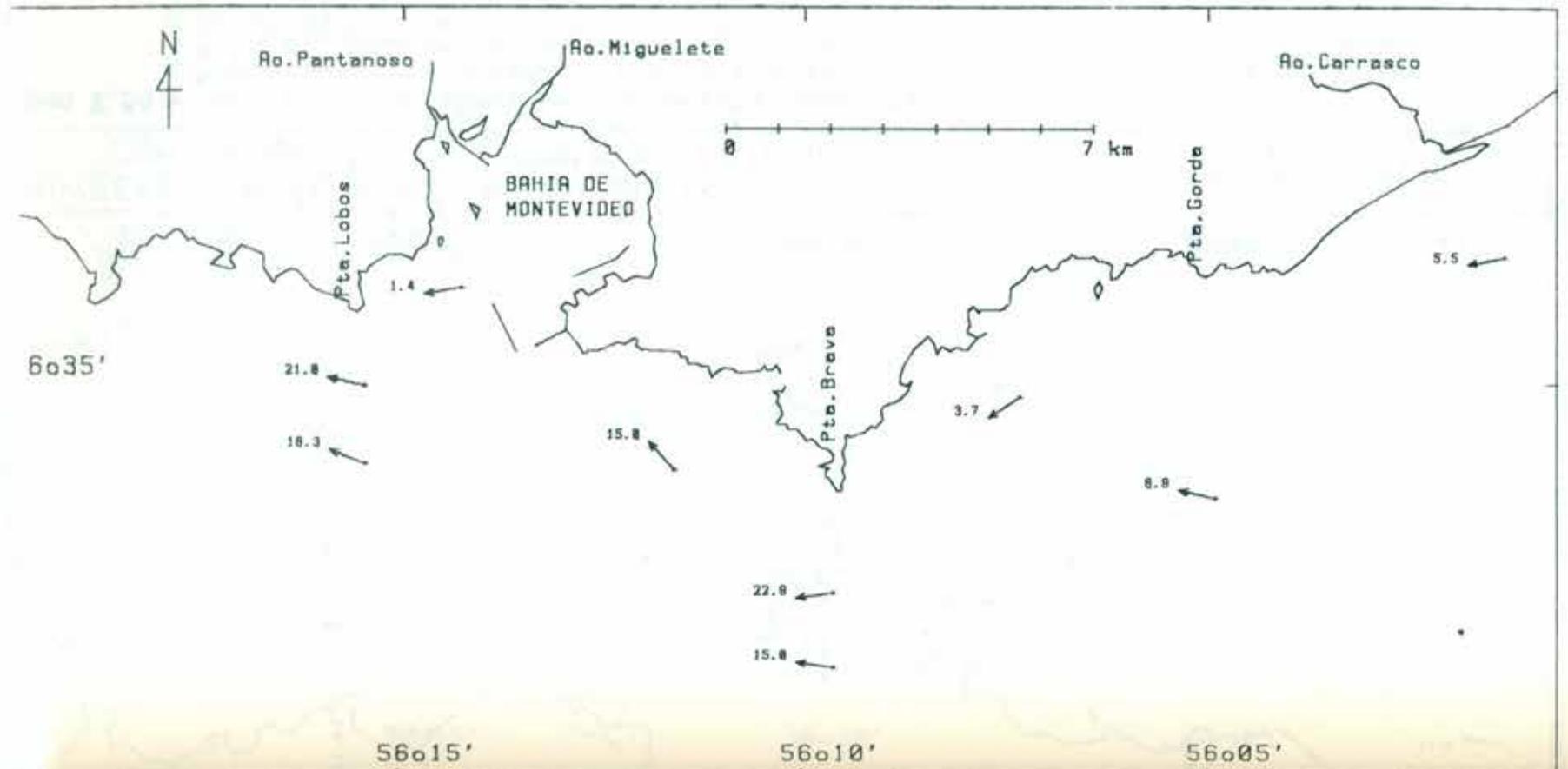


PROYECTO : PLAN PARA LA EVALUACION DE LA CONTAMINACION EN EL RIO DE LA PLATA

AREA: OCEANOGRAFIA FISICA

Figura II.54 - Corrientes de marea en las proximidades de Montevideo (subsuperficiales y medias).
4 horas despues de la Pleamar en Palermo.
Velocidad en cm/s

SIHN/SOHMA

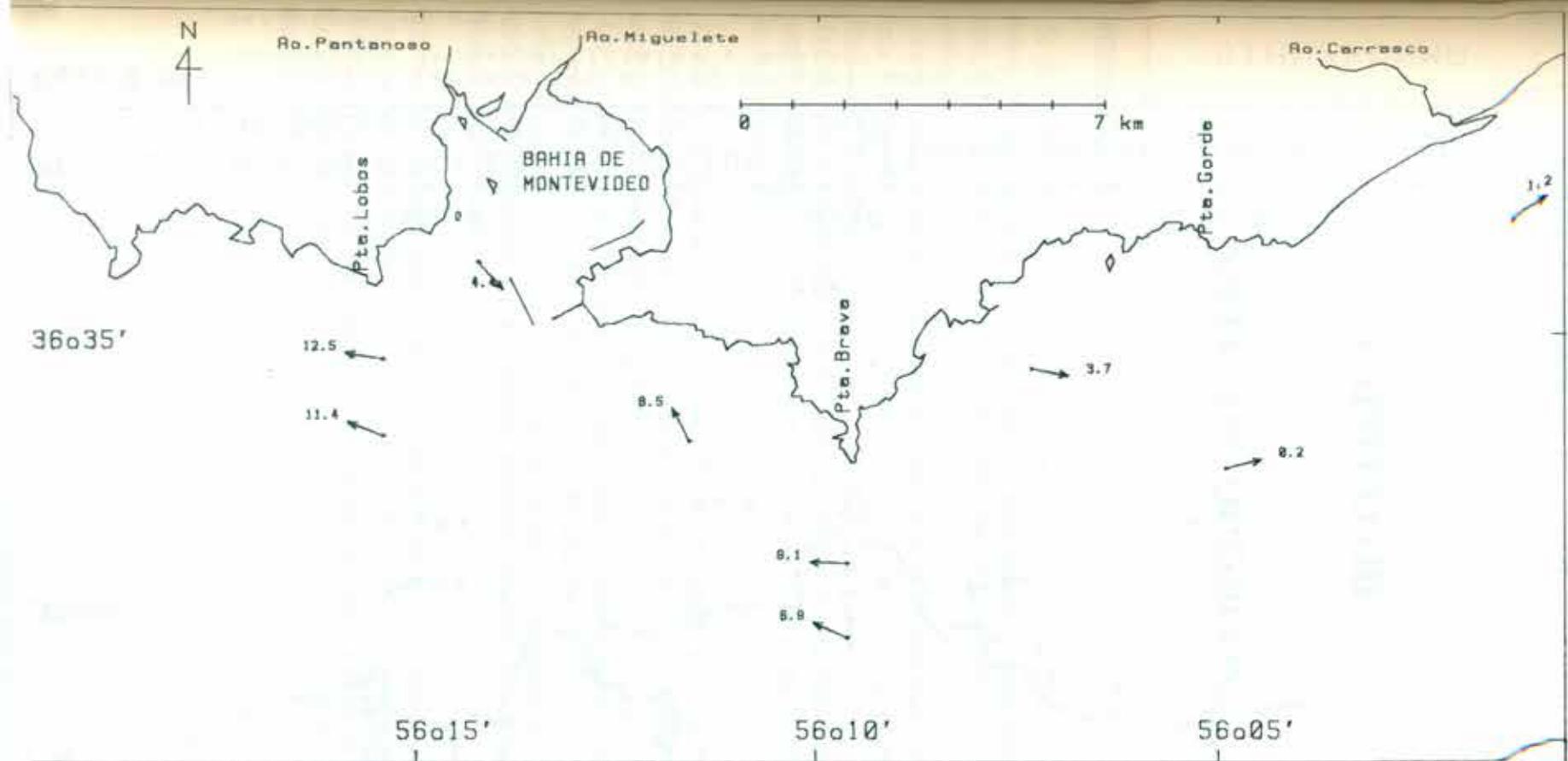


PROYECTO : PLAN PARA LA EVALUACION DE LA CONTAMINACION EN EL RIO DE LA PLATA	AREA: OCEANOGRAFIA FISICA
No. 11-88 - Estudios de mareas y las proximidades de...	ESTADIMONTO...



Figura II. 55 - Corrientes de marea en las proximidades de Montevideo (subsuperficiales y medias).
5 horas despues de la Pleamar en Palermo.
Velocidad en cm/s

SIHN/SOHMA

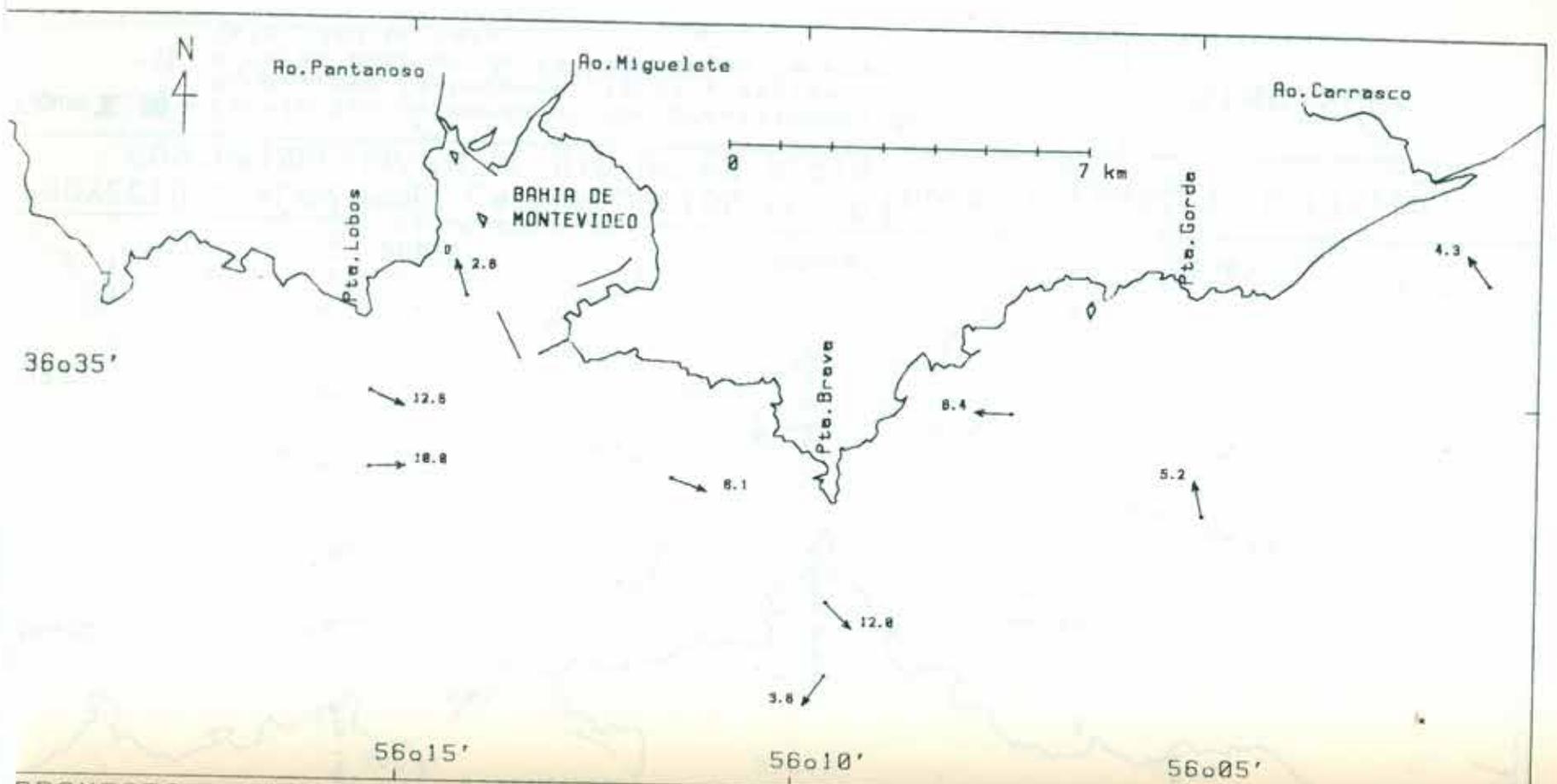


PROYECTO : PLAN PARA LA EVALUACION DE LA CONTAMINACION EN EL RIO DE LA PLATA

AREA: OCEANOGRAFIA FISICA

Figura II. 56 - Corrientes de marea en las proximidades de Montevideo (subsuperficiales y medias).
6 horas despues de la Pleamar en Palermo.
Velocidad en cm/s

SIHN/SOHMA



PROYECTO : PLAN PARA LA EVALUACION DE LA CONTAMINACION EN EL RIO DE LA PLATA

AREA: OCEANOGRAFIA FISICA

Figura II. 57 - Estaciones oceanograficas en las proximidades de

PLANZONADO

INTROD
 Se pre
 fisico-qu
 Interior
 coordina
 Lazon
 Punta p
 (Estacion
 Lazon
 compren
 (Estacion
 La dis
 cubierta
 correspo
 Los p
 Porcent
 Nitro,
 Hidroca
 Pigment
 Es op
 ambas a
 diferent
 Interior
 geograf

CAPITULO III

ASPECTOS QUIMICOS.

INTRODUCCION.

Presenta en este capítulo la descripción y análisis de los parámetros químicos medidos en el Río de la Plata Medio o Intermedio y Exterior o por ambos Servicios, según una distribución por zonas previamente definida.

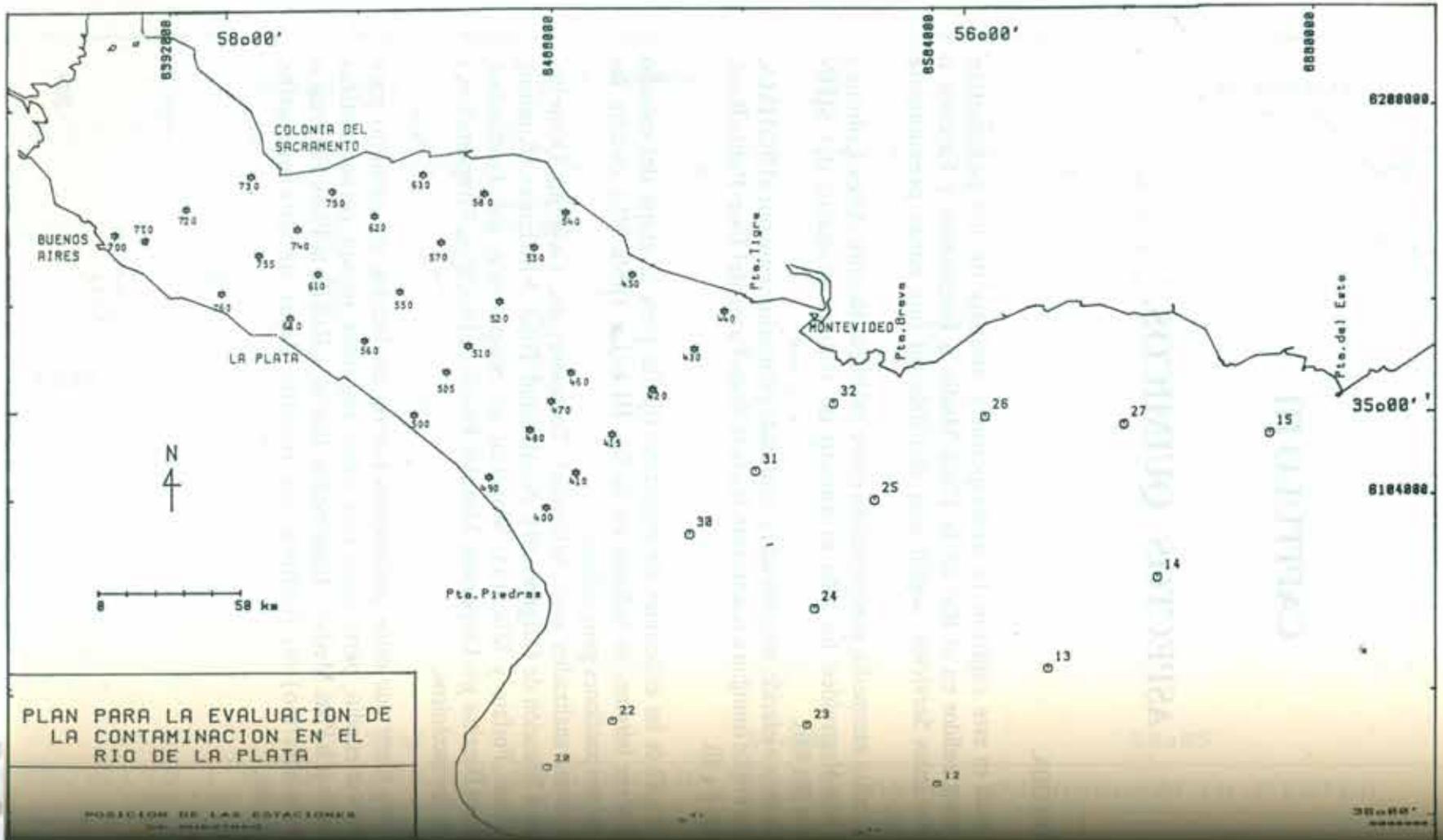
La zona media o intermedia, comprendida entre las líneas Buenos Aires-Colonia y Montevideo-Punta del Este ha sido el ámbito de trabajo primario del SIHN (estaciones 700 a 400).

La zona exterior o inferior, muestreada y analizada primariamente por el SOHMA, comprende la región contigua a la anterior, hasta la línea Punta del Este-Punta Rasa (estaciones 30 a 10).

La distribución de las estaciones de muestreo fijadas para la etapa del estudio descrita por este Informe, se indican en la fig. III.1. La Tabla III.1 detalla las principales posiciones geográficas.

Los parámetros analizados son: Salinidad, Temperatura, Oxígeno Disuelto, Capacidad de Saturación de Oxígeno, pH, Alcalinidad Total, Nutrientes (Amonio, Nitrato, Fosfato y Silicato), Material en Suspensión y/o Turbiedad, Carbonos Disueltos y/o Dispersos, Metales Pesados, Biocidas, Fitoplancton y otros Fitoplanctónicos.

Conviene aclarar que estos parámetros fueron analizados en conjunto para las zonas de estudio, pero dado que estas regiones tienen características propias (Río de la Plata Medio o Intermedio, fluvial, y Río de la Plata Exterior o Inferior, fluvio-marino) no siempre fue posible dejar de diferenciarlos específicamente.



**PLAN PARA LA EVALUACION DE
 LA CONTAMINACION EN EL
 RIO DE LA PLATA**

POSICION DE LAS ESTACIONES
 DE MUESTREO

TABLA III.1

POSICIONES GEOGRAFICAS DE LAS ESTACIONES

COORDENADAS

GEOGRAFICAS

GAUSS-KRÜGER

ESTACION	LATITUD (S)	LONGITUD (W)	X	Y
770	34°43'00	58°10'00	6158447.71	6393124.01
760	34°46'00	58°01'00	6153049.60	6406921.86
750	34°33'00	57°45'00	6177301.36	6431157.43
740	34°37'00	57°50'00	6169845.42	6423569.14
730	34°31'00	57°56'00	6180859.15	6414294.62
720	34°33'00	58°03'00	6177056.02	6403619.46
710	34°37'00	58°13'00	6169488.06	6388409.35
700	34°37'00	58°17'00	6169412.26	6382294.43
630	34°27'00	57°28'00	6188551.51	6457405.46
620	34°35'00	57°44'00	6173676.75	6441889.64
610	34°45'00	57°44'00	6155124.56	6432848.77
600	34°49'00	57°50'00	6147656.96	6423752.94
580	34°30'00	57°14'00	6183078.91	6478569.71
570	34°41'00	57°23'00	6162698.52	6464870.29
560	34°53'00	57°37'00	6140404.00	6443622.98
550	34°47'00	57°29'00	6151565.09	6455759.27
540	34°33'00	57°03'00	6177457.96	6457164.90
530	34°41'00	57°08'00	6162757.30	6487781.00
520	34°48'00	57°15'00	6149794.07	6477121.54
510	34°53'00	57°19'00	6140531.76	6471049.78
505	34°57'00	57°23'00	6133114.29	6464983.30
500	35°01'00	57°28'00	6125685.66	6457405.46
490	35°09'00	57°16'00	6110959.99	6475699.90
480	35°03'00	57°10'00	6122074.36	6484793.89
470	35°00'00	57°06'00	6127629.68	6490870.78
460	34°56'00	57°02'00	6135029.93	6496954.46

TABLA III.1 (continuación)

POSICIONES GEOGRAFICAS DE LAS ESTACIONES

COORDENADAS

GEOGRAFICAS

GAUSS-KR

ESTACION	LATITUD (S)	LONGITUD (W)	X
450	34°43'00	56°52'00	6159059.37
440	34°47'00	56°36'00	6151598.64
430	34°52'00	56°43'00	6142389.91
420	34°59'00	56°50'00	6129470.62
415	35°05'00	56°55'00	6118385.74
410	35°10'00	57°00'00	6109143.44
400	35°15'00	57°06'00	6099893.26
10	36°19'12	56°29'00	5981049.04
11	36°07'54	56°16'00	6001822.45
12	35°53'00	56°03'48	6029221.85
13	35°35'00	55°45'54	6022212.09
14	35°21'48	55°28'12	6082248.88
15	35°03'54	55°09'00	6118857.27
20	35°51'00	57°10'12	6033312.41
21	36°04'12	56°49'06	6008899.04
22	35°42'30	56°53'48	6049039.84
23	35°43'12	56°25'12	6047595.19
24	35°28'18	56°12'30	6075015.84
25	35°12'18	56°13'42	6104617.67
26	35°01'12	55°55'48	6124892.04
27	35°02'42	55°32'18	6121664.80
30	35°15'00	56°42'18	6099857.95
31	35°10'00	56°32'42	6109048.64
32	34°59'30	56°21'12	6128367.71

SECCION 1.- MATERIALES Y METODOS.

En casi todas las campañas realizadas en el Río de la Plata Medio o Intermedio las muestras de agua obtenidas fueron de superficie debido a la baja profundidad existente en el área estudiada. Para la obtención de las muestras se utilizaron botellas del tipo Niskin de seis litros, lo que proporciona una cantidad de agua suficiente para las determinaciones físico-químicas comunes.

La toma de muestras y su conservación se realizó siguiendo las recomendaciones de Strickland y Parsons (1967), Aminot y Chaussepied (1983), GEMS, EPA y COI-UNESCO.

Una vez arribada la muestra a la embarcación se procedió a la medición de la temperatura, pH, fijación del oxígeno disuelto, conservación para la evaluación de nutrientes (-20°C) y demás parámetros.

En el Río de la Plata Exterior o Inferior se obtuvieron muestras de superficie y fondo, tomándose algunas intermedias según la estructura termo-salina de la columna de agua. Al igual que en el Río de la Plata Medio o Intermedio, inmediatamente de obtenida la muestra se procedió a la medición de la temperatura, pH y turbiedad óptica.

El muestreo de agua para la evaluación de hidrocarburos se realizó siguiendo las recomendaciones contenidas en el Manual N^o 13 de COI-UNESCO (1984), y el análisis se hizo por espectrofluorometría, empleando como patrón el criseno, y expresando los resultados en equivalentes de criseno en $\mu\text{g}/\text{dm}^3$.

El muestreo de sedimentos se llevó a cabo con draga tipo Snapper especialmente acondicionada (SIHN) o Dietz-Lafont y con sacatestigos verticales tipo Phleger (SOHMA).

Las muestras se conservaron a -20°C hasta su posterior análisis en el laboratorio.

Para la obtención de las muestras de agua destinadas a la evaluación de biocidas clorados se siguieron las normas establecidas en el IOC/WHO/UNEP/Workshop on the Intercalibration of Sampling Procedures (Pilot Project on Monitoring Background Levels of Selected Pollutants in Open Ocean Waters, Bermuda.1980).

La Tabla III.2 resume el instrumental, precisión y unidades utilizadas, así como la metodología seguida para el análisis.

TABLA III.2
RESUMEN DE INSTRUMENTAL Y METODOS

PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	METODO	INSTRUMENTO	PRECISION
Salinidad	S ⁻	g/kg	Conductimétrico	Salinómetro de inducción	0,01
Temperatura	T C	°C	-	Termómetro de mercurio	0,1
Oxígeno Disuelto	O.D	cm ³ /dm ³	Winkler Potenciométrico	- Elect Orión	0,02 0,02
Material en Suspensión	M.S	mg/dm ³	Gravimétrico		0,5
Turbiedad	UNT	U.N.T	Nefelométrico	Turbidímetro Hach	0,5
pH	pH	u.pH	Potenciométrico	pHmetro Orión	0,05
Alcalinidad Total	Alc.T.	mEq/dm ³	Potenciométrico a pH: 4,5	pHmetro Orión	0,05
Amonio	N/NH ₄ ⁺	μmol/dm ³	Koroleff (1968) Potenciométrico	Espectrofotóm. Electro. Orión	0,05 0,05
Nitrito	N/NO ₂ ⁻	μmol/dm ³	Strickland & Parsons (1972)	Espectrofotóm	0,05
Nitrato	N/NO ₃ ⁻	μmol/dm ³	Strickland & Parsons (1972)	Espectrofotóm.	0,05
Fosfato	P/PO ₄ ⁼	μmol/dm ³	Strickland & Parsons (1972)	Espectrofotóm.	0,05
Silicatos	Si/SiO ₃ ⁼	μmol/dm ³	Strickland & Parsons (1972)	Espectrofotóm.	0,1
Hidrocarburos. Solub. Disper.	H.C	μg/dm ³ unidades Criseno	Fluorométrico	Fluorómetro	0,1
Pigmentos Fitoplanct.		μg/dm ³	Lorenzen (1967)	Espectrofotóm.	0,3
Metales Pesados		μg/dm ³	Absorción Atómica	Espectrofotóm Absorc. Atómic.	*
Biocidas Clorados		ng/dm ³	Cromatografía Fase Gaseosa	Cromatógrafo Varian 3700	*

* La precisión depende de la especie química analizada.

Métodos de análisis

- **SALINIDAD:** Medición conductimétrica, con salinómetro de inducción. Precisión: 0,01 g/kg.
- **TEMPERATURA:** Con termómetro de mercurio al 0,1°C
- **OXIGENO DISUELTO:** Método de Winkler iodométrico, y como método alternativo, potenciométrico con electrodo selectivo Orión. Precisión: 0,02 cm³/dm³.
- **MATERIAL EN SUSPENSION:** gravimétrico por filtración y pesada (filtros Gelman Glass Fiber Filter Type A). Precisión: 0,5 mg/dm³
- **TURBIEDAD:** Nefelométrico con turbidímetro Hach. Precisión: 0,5 U.N.T.
- **pH y ALCALINIDAD:** Potenciométrico con peachímetro Orión y titulación a pH: 4,5. Precisión: 0,05 mEq/dm³.
- **AMONIO:** Espectrofotométrico s/Koroleff (1968) ó potenciométrico con electrodo selectivo Orión. Precisión: 0,02 μmol/dm³.
- **NITRITO:** Espectrofotométrico según Strickland y Parsons. (1972). Precisión: 0,05 μmol/dm³.
- **NITRATO:** Espectrofotométrico según Strickland y Parsons. (1972). Precisión: 0,05 μmol/dm³.
- **FOSFATOS:** Espectrofotométrico según Strickland y Parsons. (1972). Precisión: 0,05 μmol/dm³.
- **SILICATOS:** Espectrofotométrico según Strickland y Parsons. (1972). Precisión: 0,1 μmol/dm³.
- **HIDROCARBUROS :** Espectrofluorométrico, usando como patrón criseno y el resultado expresado en unidades Criseno. Precisión: 0,1 μg/dm³
- **METALES PESADOS:** Espectrofotometría de absorción atómica previa acidificación a pH:2. Horno de grafito, y para mercurio y arsénico con dispositivo para hidruros. Precisión variable según el metal. En sedimentos : se mineraliza en

autoclave de teflón y se lee con horno de grafito. Concentración en $\mu\text{g/l}$. El SOHMA utilizó un equipo de Espectrometría de Emisión de Plasma (DCP) y uno de Absorción Atómica.

- **BIOCIDAS CLORADOS:** Las muestras fueron analizadas dentro de las 48 horas de extraídas. Se utilizó n-hexano nanogrado, se realizó clean-up con Florisil y Alúmina.

SECCION 2.- PARAMETROS FISICO-QUIMICOS GENERALES.

En esta Sección se presentan y discuten los resultados de la evaluación de los parámetros medidos, con excepción de Hidrocarburos, Metales, Biocidas, Fitoplancton y pigmentos fotosintéticos. Las Tablas III.3 a III.5, ubicadas al final de la Sección, contienen los valores promedio, máximos y mínimos medidos en cada estación de muestreo.

2.1.- Salinidad.

La salinidad es la variable maestra del Río de la Plata, en especial en la región exterior, caracterizada por una marcada variación longitudinal y vertical de este parámetro (0 a 33 y 0 a 33.6‰). La región superior y media es una zona fundamentalmente fluvial (<0.4‰).

Casi todos los procesos biogeoquímicos, ecológicos y sedimentológicos, incluyendo los fenómenos asociados a la contaminación se vinculan directa o indirectamente con la distribución y variación espacio-temporal de la salinidad. Las variables más típicamente caracterizadoras de los ecosistemas acuáticos (concentración de oxígeno disuelto y penetración de la luz), presentan un comportamiento notoriamente asociado a la estructura salina y sus consecuencias dinámicas.

Por otra parte, la salinidad en sí misma, dada su dependencia primaria de la descarga fluvial (Ottman, 1966; Poplawski, 1983; Nagy et al., 1987 y Texeira, 1988) debe ser considerada como la primer causa de alteración ambiental. En efecto, variaciones extraordinarias o tendencias temporales moderadas (de aumento de caudal y disminución de salinidad) pueden constituir una alteración irreversible de los ecosistemas costeros.

Sobre este punto, son de importancia en el Río de la Plata :

- 1) las obras de infraestructura en la cuenca, que modifican el régimen fluvial.
- 2) las inundaciones extraordinarias (aperiódicas)
- 3) las tareas de dragado y profundización de canales de navegación.

Se presentan en forma esquemática, mediante cuadros, tablas y figuras, los resultados más relevantes de los estudios abarcados por este Informe.

2.1.1.- Río de la Plata Medio o Intermedio.

En forma general puede apreciarse que los valores medios correspondientes a cada estación apenas alcanzan el valor de 0.5‰ (Fig. III.2), con un 76% de los valores individuales obtenidos en el período considerado, menores que 0.2‰ (Fig. III.3). Si se considera este último valor como el límite entre el agua dulce y oligohalina, se puede afirmar que esta zona es fundamentalmente fluvial. Sin embargo es destacable lo observado durante los cruceros realizados en julio de 1982 y abril de 1984 en los que se obtuvieron valores superiores a la máxima media (0.5‰), tal como puede observarse en la Fig. III.4 con valores próximos a 2‰ en la estación 730 (frente a la ciudad de Colonia, y de 3.5‰ en el centro del Río de la Plata Medio o Intermedio. Este hecho se considera asociado a fenómenos meteorológicos, tales como fuertes vientos de los sectores Sur-SE. La escasa información disponible no permite conocer el comportamiento del resto de la columna de agua, aunque los pocos datos de muestras de fondo, del crucero de julio de 1982 (Cuadro III.1) indican claramente que la presencia de aguas salinas en superficie no obedece a un fenómeno de intrusión por mareas, sino al arrasamiento superficial debido al efecto de fuertes vientos del sector SE (tal como ya había observado Ottman y Urien, 1966).

CUADRO III.1

Salinidad de superficie y fondo en el crucero de julio de 1982.

Estación	730	540	720
Superficie	1.88	0.66	1.27
Fondo	0.48	0.36	0.56

Este fenómeno, aunque esporádico, puede traer aparejados algunos problemas de tipo ecológico, por su influencia en la flora y en la fauna, por variación de la presión osmótica, como así también trastornos en las tomas de agua de las plantas potabilizadoras en la margen sur.

2.1.2.- Río de la Plata Exterior o Inferior.

2.1.2.1- Salinidad costera en la margen norte.(Fig. III.5)

Se analizaron registros de los años 1979-1986. Lamentablemente la disponibilidad de información adecuada de caudales de los ríos tributarios llega hasta el año 1980, lo que impide un análisis preciso de la interrelación caudal-salinidad. No obstante ello, de todos los gráficos de la costa platense se infiere claramente la relación inversa de ambos, con un retardo variable en función del arribo de la corriente fluvial a cada punto analizado (Poplawski, 1983; Moresco y Melgar, 1983; Texeira, 1988).

Esta relación, típica de los sistemas costeros, máxima en aquellos en que la componente fluvial prevalece sobre el efecto de las mareas, se manifiesta a meso (semanas/meses) y macro-escala temporal (meses/años). A micro-escala (horas/días) sin embargo, los vientos y las mareas modifican notoriamente la salinidad (De Buen, 1950; Balay, 1961; Ottman, 1966; Poplawski, 1983).

Obviamente, los registros salinos típicos marcan un aumento en función directa de su distancia del aporte fluvial, disminuyendo progresivamente la variación típica, aunque manteniendo la estacionalidad característica. Un hecho remarcable del análisis de la salinidad costera, incluyendo registros existentes desde 1955, por ejemplo en Punta del Este, es la disminución cercana a 3‰ de los registros medios (Texeira, 1988).

2.1.2.2.- Salinidad en aguas abiertas. (Figuras. III.6 a III.11).

La gran variabilidad de la salinidad en el Río de la Plata Exterior o Inferior dificulta su descripción. Esto se debe a la gran extensión geográfica sometida al ingreso marino ($\approx 20.000 \text{ km}^2$), a la acción de los vientos, a las diferencias de la amplitud de marea en ambas márgenes y a su morfología, caracterizada por tres hechos claves:

- 1) brusco aumento de sección a la altura de Montevideo-Punta Piedras,
- 2) presencia de bancos y
- 3) presencia de canales, en especial los canales Norte y Oriental.

No obstante ser la variabilidad, la complejidad y la heterogeneidad, la razón común de la distribución salina en el Río de la Plata Exterior o Inferior, se comentan los hechos más relevantes:

a) el rango de variación normal para el estrato superficial es de 0 a 33‰, con similar entorno para el fondo, aunque con valores medios de 5 a 10‰. Esta gran variabilidad presenta algunas características dominantes :

- 1) disminuye hacia la boca
- 2) disminuye hacia la costa argentina (probablemente debido a menor caudal)
- 3) es menor en el fondo

b) El límite de ingreso del agua marina no excede naturalmente la sección ubicada en Punta Tigre, aunque podría alcanzar en veranos secos hasta la línea definida por el número 400 en los muestreos del Río de la Plata (considerando el valor límite convencional de 0.5‰). En cambio, la intrusión profunda siempre llega a la altura de la Isla de Flores y más específicamente a la isobata de 8 m.

c) las diferencias salinas verticales son muy importantes, aumentando con la descarga fluvial, la cual disminuye la salinidad de superficie. El gradiente vertical aumenta con la profundidad y generalmente se manifiesta por una brusca haloclina, existiendo a veces una o dos haloclinas secundarias. La mezcla por el viento puede romperlas fácilmente, aunque para mezclar a profundidades de 20 m se requieren vientos de aproximadamente 40 nudos (normalmente sudestadas o pamperos). La fuerte diferencia vertical refleja un predominio de la corriente de descarga sobre la mezcla mareal pero, la amplia sección, la profundidad y el viento, impiden la existencia de "cuña salina", dominando una variante intermedia con la mezcla parcial (Francois, 1982; Nagy, 1983; Nagy et al., 1987).

d) el agua marina de fondo sufre moderada dilución a profundidades mayores de 12 m, tanto en el centro de la zona exterior como en el Canal Oriental. Aparentemente, la presencia (residencia) de este cuerpo de agua es de un lapso que permite su "envejecimiento", (si no sufre mezcla vertical por el viento), lo que se manifiesta en la variación de los tenores de oxígeno y también de algunos nutrientes.

e) la morfología influye en la distribución de la salinidad, marcadamente contra el fondo. Las medias salinas de las diferentes estaciones sistemáticamente relevadas (con excepción de 3, mínima y máxima profundidad) denotan una clara linealidad entre las profundidades entre 7 y 17 m y la salinidad media. Esto es

importante pues refleja no solo un aumento en sentido longitudinal, sino lateral, en razón de las diferencias batimétricas de ambas costas.

f) Debido a la conjunción de la morfología, amplitud mareal, predominio de vientos del Sur, canalización de las descargas fluviales y la acción rotacional terrestre (fuerza de Coriolis), el patrón de distribución en superficie y fondo, así como el ingreso marino y la descarga neta, determinan una dinámica de transporte mucho más activa en la costa uruguaya y sector central exterior, al Norte del Banco Rouen. En caso de aumento de las descargas, esto se refleja en una menor salinidad en toda la costa uruguaya y su sector adyacente de plataforma, con las consecuencias ecológicas y de transporte de materiales que esto acarrea. No obstante, el patrón dominante con descargas normales marca una mayor salinidad media en la costa uruguaya, pues en la costa sur la corriente fluvial se ve frenada (retardada) por la combinación de los factores ya mencionados, en especial la profundidad y la fuerza de Coriolis, que determina una amplitud mareal con capacidad de mezcla de la columna de agua, disminuyendo la intensidad de la circulación no mareal, o residual.

2.2.- Temperatura.

2.2.1.- Río de la Plata Medio o Intermedio (Superficie).

En el Río de la Plata Medio o Intermedio la temperatura de superficie varía de 10.0 a 29.0° C, y está marcadamente influenciada por los factores ambientales. No obstante, existe un gradiente bien definido de la temperatura media, ya que desciende desde 18° C en el límite superior del Río de la Plata Medio o Intermedio (con aportes fluviales de tributarios provenientes de zonas subtropicales), a 16° C en el límite inferior del mismo sector.

En la Fig. III.12 se han trazado las isolíneas principales, correspondientes a los valores medios de todo el período analizado (1981-1987).

La Fig. III.13 muestra la temperatura media acotada con sus valores máximos y mínimos en los meses analizados.

Los meses de invierno (junio, julio y agosto) con temperaturas más bajas, presentan menor variación espacial, al contrario de lo que ocurre en primavera y a fines del verano.

Si se grafican las temperaturas medias correspondientes a cada estación del año se puede observar una situación estable en superficie durante el verano correspondiente a la época de vientos suaves o nulos.

En otoño pueden delimitarse dos zonas ubicadas en los límites superior e inferior con temperaturas de 17-19° C y de 15.0-15.5° C, con una zona central de mezcla provocada por la influencia de vientos suaves característicos de esa época.

En invierno se visualizan dos zonas bien diferenciadas. La de mayor temperatura cubre el área comprendida entre la línea Buenos Aires-Colonia, y la que une la Plata con la Estación 570. La región ubicada hacia el Este de la anterior registra una menor temperatura, lo que coincide con un incremento de la salinidad en superficie.

En primavera debido a los fuertes vientos se hace notar el avance del agua fría casi hasta la zona central del Río de la Plata Medio o Intermedio.

Es de destacar que las más altas temperaturas en superficie (observadas en el crucero del 9/3/82) corresponden a una época en que se registraron temperaturas anómalas del aire (38-40° C), durante varios días.

2.2.2.- Río de la Plata Exterior o Inferior.

De la temperatura se pueden destacar dos patrones básicos y superpuestos:

1) en superficie y hasta la termoclina (coincidente con la haloclina), la temperatura se asocia claramente con los factores ambientales y

2) por debajo de la termoclina, la temperatura se asocia marcadamente con la salinidad, variando su signo de correlación en función de la temperatura superficial y el agua ingresada por el fondo, la que puede tener más componentes subtropical o subantárticas, según la época del año. De esta forma podemos encontrar, tanto un aumento de la temperatura hacia el fondo (Fig III.14), cuando la superficie es fría y hay ingreso con fuerte componente calórica ($> 16^{\circ} \text{C}$), o una disminución cuando ingresan aguas frías (Fig. III.15). Los valores medios en el fondo se indican en la Fig. III.16.

Este comportamiento tiene la característica de poder reforzar la estratificación salina o disminuirla, permitiendo la existencia de perfiles salinos ligeramente decrecientes, sostenidos por el gradiente térmico.

23.- Oxígeno disuelto, pH y Alcalinidad total.

Los comportamientos del oxígeno disuelto y el pH pueden ser analizados en conjunto. Teniendo en cuenta que la solubilidad del oxígeno es función de la salinidad, se utiliza el porcentaje de saturación como norma para la interpretación de los valores hallados. En términos generales, la saturación de oxígeno es cercana al 100%, con algunas variantes que se esquematizarán, considerando hechos dominantes, aunque no excluyentes de otros comportamientos.

23.1.- Río de la Plata Medio o Intermedio (superficie).

La concentración de oxígeno disuelto varía entre 3.29 y 8.82 cm^3/dm^3 . La Fig. III.17 muestra que por debajo de salinidades oligohalinas ($< 0.2\text{‰}$), la concentración del oxígeno disuelto presenta gran variabilidad, estrechándose este rango en salinidades próximas a 1‰.

La Fig. III.18 permite observar que si bien existe gran dispersión de los datos del seguimiento temporal, los valores medios tienen una distribución inversa a los de temperatura tratados de la misma forma. (Fig. III.13), lo cual es explicado por la variación de la solubilidad del oxígeno en función de la temperatura. Se observa que en el mes de octubre existe una concentración menor que la esperada, tal vez debido a la mineralización de la materia orgánica producida en la floración de fitoplancton de primavera.

Los mínimos de oxígeno disuelto corresponden invariablemente a los puntos de muestreo más cercanos a las descargas de efluentes (cloacales y/o industriales) de los grandes centros urbanos de la región, sobre ambas márgenes, debido a la oxidación de la materia orgánica.

El porcentaje de saturación (Fig. III.19), muestra que en general la media de superficie no sobrepasa el valor del 90%, con valores típicos de 85% para casi todo el Río de la Plata Medio o Intermedio, salvo cerca de la costa norte donde aparecen valores de 87-90%, y en una amplia zona central con valores menores de 85%.

En cuanto al pH y alcalinidad en el Río de la Plata Medio o Intermedio, se aprecia que están íntimamente asociados a la salinidad, observándose una gran dispersión en el aporte fluvial, con valores típicos de los tributarios (Figs. III.20 y 21).

2.3.2.- Río de la Plata Exterior o Inferior.(Figs. III.22 a 25)

a) a salinidades oligohalinas (0.2 a 5‰), en áreas someras (< 7 m) y con moderada estratificación salina salvo en períodos productivos, el oxígeno oscila entre un 80 y 95% de saturación. Quizás esta moderada saturación se debe a la muerte celular y consecuente liberación de materia orgánica que demanda oxígeno para su oxidación.

b) a salinidades mesohalinas (12-18‰), y también polihalinas (18-30‰), en períodos productivos, la saturación superficial y subsuperficial puede alcanzar altos valores. Si bien esto puede suceder en cualquier parte de la región exterior según la época del año, la saturación neta es dominante en la parte central de la región, al NNW-NW del Banco Rouen, en Samborombón y, a veces, en la costa uruguaya.

c) en muchos casos se verifican bajos tenores de oxígeno por debajo de la haloclina. Se ha podido comprobar una clara vinculación entre la magnitud de la haloclina y su antigüedad, con los tenores de oxígeno. A medida que se profundiza, el oxígeno disminuye. No se ha cuantificado la tasa de consumo en el tiempo, pero en ningún caso se registraron saturaciones menores que 10%, considerándose que la ruptura de la estratificación por el viento impide que se llegue al consumo total de oxígeno.

En general el pH se comporta cualitativamente como la saturación de oxígeno, a raíz de los fenómenos de óxido-reducción biológica a los que responden. Por otro lado, la componente físico-química (disociación del H_2CO_3 por fuerza iónica), incide notoriamente cuando la actividad biológica (redox) y los procesos físicos de mezcla vertical son mínimos; entonces se aprecia una curva creciente en el rango 0-15‰.

Los valores promedio (por punto de muestreo) de superficie y fondo, muestran que casi sistemáticamente los tenores son mayores en superficie. Esto se corresponde con la diferencia redox vertical : balance fotosíntesis-respiración positivo en superficie y negativo en el fondo, asociado a la oxidación de la materia orgánica y la remineralización de nitrógeno y fósforo.

Los máximos superficiales de ambos parámetros se ubican en las estaciones 23, 13 y 11, coincidiendo con concentraciones de nitrato, fosfato y silicato algo menores a las esperables, lo que denotaría la influencia del consumo algal en los cruceros efectuados en períodos productivos.

Es también muy resaltable el hecho de que la disminución de pH y oxígeno hacia el fondo no se corresponde exclusivamente con la existencia de sedimentos reductores, antes bien, con la estructura física de la columna de agua. Las estratificaciones marcadas dificultan o impiden la oxigenación del fondo, sucediendo esto a cualquier profundidad por debajo de la piconclina.

2.4.- Nutrientes.

2.4.1.- Nutrientes del Nitrógeno.

2.4.1.1.- Río de la Plata Medio o Intermedio.

El nitrato varía entre 1.28 y 59 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$. La Fig. III.26 con las isólinas de los valores medios, define dos zonas de máxima concentración de nitrato (mayores que 20 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$), ubicadas sobre ambas márgenes, pero de distintas características. La correspondiente a la margen Norte, comienza luego de la ciudad de Colonia y se extiende hasta Punta Tigre, mientras que la de la margen Sur comienza entre La Plata y Magdalena y se extiende hasta Punta Piedras.

Esta diferencia podría explicarse como debida a la mayor velocidad de circulación sobre la margen Sur motivando que la oxidación completa de la materia nitrogenada se produzca lejos de la zona de vertimientos (centros urbanos del Gran Buenos Aires y La Plata).

Puede observarse una gran variabilidad en la zona de alta influencia de aportes de tributarios, haciéndose las concentraciones de este nutriente más constantes a partir de salinidades próximas a 1‰ en un rango entre 10 y 17 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$.

En el Río de la Plata Medio o Intermedio se midieron concentraciones de Amonio (para el período 1981-1982) entre 0.62 y 30.1 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ indicando que hay una amplia dispersión en esta zona. Los valores máximos permiten definir una cierta zonificación como se indica en la Fig. III.27, pudiéndose realizar las siguientes observaciones :

a) las grandes descargas de materia orgánica (cloacales, industriales, etc.) definen la zona A, ubicada en el área de influencia de los grandes centros urbanos.

b) el origen de las grandes concentraciones de amonio en la zona B puede atribuirse a la remoción de sedimentos arcillosos por la influencia de corrientes generadas por mareas, liberando las sales de amonio adsorbidas al sedimento.

Las concentraciones de nitritos varían entre 0.01 y 4.26 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ indicando una amplia dispersión en la zona. Del histograma de la Fig. III.28 se pueden extraer las siguientes observaciones: el 96.5% de las muestras de agua de superficie presentan valores menores de 0.4 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$. Sólo el 3.8% presentan valores de concentración superiores a 1.0 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$.

Las concentraciones relativamente bajas de nitritos en aguas superficiales están acorde con los valores de porcentajes de saturación de oxígeno hallados. Como es lógico, los valores más altos de concentración se encuentran cerca de ambos márgenes.

2.4.1.2.- Río de la Plata Exterior o Inferior.

Los valores promedio (por estación) de nitrato en el período 1981-1985 (Figs. III.26 y III.34) permiten observar un comportamiento conservativo tanto en superficie (Fig. III.29, $r = -0.72$) como para el conjunto de los datos (Fig. III.30, $r = -0.88$). La disminución de la linealidad cuando se trabaja con todos los datos (superficie y fondo) puede deberse a los procesos de óxido-reducción ocurridos bajo la haloclina.

En superficie la linealidad predice el corte en las abscisas a $S < 30$ (Fig. III.29), lo que indicaría que el nitrato sería consumido dentro del sistema. Si en vez de graficar medias de estaciones, se lo hace con medias por rangos salinos, se aprecia una curva de remoción (consumo) (Fig. III.31). Esto no ocurre cuando se trabaja con datos de superficie y fondo, donde a 30‰ la recta teórica predice una concentración de 2.91 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ (Fig. III.30).

Si se estudian los residuos a una recta invernal, para meses presumiblemente productivos (septiembre), es posible corroborar que dentro del área, la costa uruguaya y las inmediaciones de las estaciones 23 y 21, constituyen los sectores de mayor asimilación de este nutriente (Figs. III.32 y III.33) (Perdomo, 1987).



2.4.2.- Fósforo de Fosfatos

2.4.2.1.- Río de la Plata Medio o Intermedio.

La concentración de fosfatos varía entre 0.01 y 4.52 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$, aunque debe destacarse la aparición de valores atípicos en estaciones próximas a las grandes descargas correspondientes a las ciudades de Montevideo, Buenos Aires y La Plata. Tal el caso de valores de 9.7 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ (estación 600).

En la Figura III.35, se observa gran variabilidad en la región de aporte de tributarios, disminuyendo la dispersión a partir de salinidades de 1‰.

Si se observa la distribución horizontal de los valores promedio de este nutriente (Figura. III.36), puede verse que las concentraciones más altas corresponden a la costa Sur, desde Berazategui hasta Punta Piedras, extendiéndose hasta el centro del río. Los mínimos se encuentran en la margen Norte entre Colonia y la estación 580. La zona de máximas concentraciones puede explicarse por el aporte antropogénico a través de los colectores urbanos así como por la desorción de los sedimentos finos debido al ingreso de aguas salobres.

No pudo constatarse relación alguna entre este parámetro y el oxígeno.

En síntesis : la concentración de los fosfatos varía a lo largo del Río de la Plata Medio o Intermedio, con valores próximos a 1.0 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ a la altura de Playa Honda aumentando hasta 1.5 aproximadamente en la zona en que se mezclan los aportes urbanos, combinado con la zona del límite móvil de intrusión salina, donde coexisten fenómenos de aporte antropogénico, interacción agua-material en suspensión y zonas de depósito de arcillas.

2.4.2.2.- Río de la Plata Exterior o Inferior.

Los fosfatos, considerando los valores promedio en superficie, presentan asociación con la salinidad (Figura III.37), no así en el fondo.

El comportamiento de los fosfatos puede presentar tres patrones diferentes :

- 1) linealidad negativa con la salinidad sobre la haloclina (Figura III.37)
- 2) gran dispersión de valores con media próxima a 1 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ (Nagy, 1983; Nagy y Perdomo, 1983) (Figura III.38).

Este comportamiento fue descrito por algunos autores para sistemas similares al Río de la Plata, atribuyéndolo a la regulación por el sedimento en suspensión, lo que también explicaría el aumento de las concentraciones de fósforo en salinidades más altas, donde las concentraciones de material en suspensión son menores (desorción y/o defloculación).

Es también importante considerar que este entorno de valores podría explicarse por la dilución durante la mezcla agua dulce-agua salada, dado que la concentración media para el límite de intrusión salina (salinidades próximas a 0‰) es $1.6 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ (Nagy y Blanco, 1987), valor coincidente con el corte en las ordenadas ($1.59 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$) calculado para la recta teórica a partir de valores promedio para cada estación de muestreo.

Las relaciones medias de N/P (Figura III.40), Si/P (Figura III.41) y Si/N varían del agua con salinidad inferior a 5‰, al agua polihalina (20‰), con claro detrimento de los tenores de nitrógeno (Figura III.42) y en parte de P-PO₄. La relación N/P disminuye de valores mayores que 20 en el Río de la Plata Interior o Superior (Pizarro y Orlando, 1984) a 6-10 en la mayoría del Río de la Plata Exterior o Inferior (Francois y Riso, 1982), siendo en promedio menor que 5 en la boca, con valores de 2-3 en las áreas más productivas del río (Nagy y Blanco, 1987).

Se observa a veces un aumento de la concentración de fósforo hacia el fondo (Figura III.39), tal vez debido a los procesos de remineralización. En casos de estratificación marcada los fosfatos pueden relacionarse con el oxígeno (Francois y Riso, 1982; Nagy, 1983).

2.4.3.- Silicio de Silicatos.

La distribución de los silicatos (Figs. III.43 y 44), está gobernada por la relación de mezcla del agua dulce y salada. Es decir, presenta un comportamiento conservativo.

No es posible definir un valor representativo para el agua dulce (concentración de Si/SiO₃ = a salinidad cero) debido a la gran variación del aporte fluvial, tanto en lo que respecta al caudal (macro-escala) como a las variaciones dentro de un mismo ciclo mareal (micro-escala).

Este rango de variación en la concentración disminuye al aumentar la salinidad, y es posible extrapolar un valor de concentración de $\text{SiO}_3 =$ para salinidad cero que es coherente con los valores hallados en los muestreos del Río de la Plata Superior o Interior, con predominio de valores medios entre 120 y 180 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$.

Con máximas descargas predomina el rango de 150-220 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$, mientras que durante el estiaje es de 30-180, cifras comparables con las de muchos ríos en cuyas cuencas no hay excesivo lavado de tierras silíceas.

En ciertas épocas, como enero de 1985, en que se registró una alta productividad y consumo algal, pudo verificarse la disminución en la concentración de silicatos.

En el Río de la Plata Exterior o Interior, el comportamiento de este nutriente, como variable conservativa, está afectado por el hecho de tratarse de un cuerpo de agua que puede tener hasta dos semanas de ingreso en la región y de un muestreo que se extiende por más de cuarenta horas.

En términos generales, de abril a agosto (y en primavera cuando el consumo no es excesivo) el río aporta una importante masa de silicatos en solución que fertilizan la plataforma, cubriendo el déficit del agua subtropical.

En la franja comprendida entre la línea de las estaciones 400 (SIHN) y las 30 (SOHMA), a pesar de existir un aumento de salinidad se observa también un incremento en la concentración de silicatos. Esto podría deberse a procesos de intercambio entre el material en suspensión y el agua, a cambios en la fuerza iónica en una zona donde prevalece la fracción de arcilla, y al aporte originado en la osmólisis de las células del fitoplancton de agua dulce.

En general existe una buena correlación entre salinidad y concentración de silicatos, en el Río de la Plata Exterior o Interior (Figura III.45). No ocurre lo mismo en el Río de la Plata Medio, donde existe una amplia dispersión, como muestra la Fig. III.46.

Puede estimarse en 170 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ el valor correspondiente a salinidad cero, en especial para agua de superficie.

Para agua de fondo la relación con la salinidad es absolutamente conservativa, siendo el valor estimado para salinidad cero de 157 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$, con un valor de 11

$\mu\text{mol/dm}^3$ a salinidad 33‰. Este comportamiento refleja el efecto de la mezcla de agua dulce (rica en silicatos) con agua marina.

Considerando perfiles longitudinales (costa uruguaya, argentina, y zona central media) el comportamiento es similar con una linealidad ligeramente mayor en la costa uruguaya.

2.5.- Material en suspensión y turbiedad.

El aporte, distribución y comportamiento del material en suspensión interesa en este informe, por dos motivos básicos :

1) capacidad de la fracción fina arcillosa de atrapar, transportar y liberar contaminantes y nutrientes, mediante mecanismos de adsorción-desorción.

2) su papel regulador de la transparencia (por tanto de la capa fótica) y sus efectos en la productividad y asimilación de nutrientes.

Urien (1972) reporta un ingreso de material en suspensión al Río de la Plata variable entre 100 y 300 mg/l. Este valor aumenta hacia la región intermedia, quizás por efecto de la oposición mareal a la descarga (Ottman y Urien, 1966). A partir de esta región se produce el contacto con electrolitos marinos, iniciándose la floculación de gran parte del material en suspensión (Ottman y Urien, 1966; Nagy et al., 1987).

A partir de la zona intermedia, las acumulaciones sedimentarias (crema de barro y tapón fangoso, "Fluid Mud y Turbidity Maxima") así como los sedimentos superficiales, cuya composición se desplaza hacia los elementos más finos (campos limo-arcillosos, arcillo-limosos y arcillosos), pueden constituir un reservorio de contaminantes. De acuerdo con los antecedentes geológicos (Parker et al., 1985; Ayup, 1986 y López Laborde, 1987) existirían tres zonas críticas a considerar y que se han muestreado con mayor intensidad : Franja Costera Sur, Zona costera uruguaya y Barra del Indio.

La cercanía a Montevideo de un área de máxima deposición del material en suspensión, Punta Espinillo a Punta Brava (Nagy et al., 1987), es por tanto un factor de prioritaria consideración. Por las características físico-químicas de ésta región,

podría crearse un ambiente adecuado para la liberación de las especies metálicas, fundamentalmente en verano, época en que las condiciones salinas de pH y temperatura resultan favorables para el proceso de desorción, tanto dentro de esta área como un poco más al Este.

Respecto de la caracterización ambiental del sistema, (Nagy, 1983; Nagy et al., 1987; Perdomo, 1987 y Nagy y Blanco, 1987) la transparencia es importante no sólo como discriminador de ambientes, sino por su posible influencia sobre la actividad biológica del sistema. Existe una correspondencia geográfica entre el aumento de la transparencia, de la profundidad y en parte de la estabilidad vertical, sobre el arco de arenas relictas.

Las Figs. III.47 y III.48 muestran la distribución superficial del material en suspensión (mg/l), y su relación con la salinidad en la zona media del río. De forma similar, las Figs. III.49 y III.50 presentan las isolíneas superficiales de turbiedad (UNT) y su relación con la salinidad, en la zona exterior o inferior del Río de la Plata.

TABLA III.3 (Primera Parte)

PARAMETROS QUIMICOS DE SUPERFICIE (1981-1987)

		Río de la Plata Medio					
EST.		SAL.	TEMP.	%SAT.O ₂	pH	Alk	NH ₄ ⁺
700	X	0.30	17.3	85.2	7.24	0.76	5.20
	MAX	1.15	25.8	103.8	7.30	0.89	16.59
	MIN	0.08	10.0	63.3	6.94	0.53	2.06
710	X	0.31	17.2	84.7	7.26	0.77	7.27
	MAX	1.15	25.8	99.6	7.60	1.10	22.37
	MIN	0.07	10.1	59.5	7.02	0.41	2.89
720	X	0.23	17.4	89.7	7.23	0.63	5.81
	MAX	1.27	25.8	103.0	7.60	0.79	26.25
	MIN	0.01	11.0	69.4	7.05	0.36	0.89
730	X	0.29	16.9	86.8	7.14	0.67	4.79
	MAX	1.88	25.2	100.0	7.40	0.84	14.37
	MIN	0.01	11.0	58.6	6.80	0.52	1.44
740	X	0.14	19.0	79.4	7.20	0.57	3.21
	MAX	0.63	24.5	98.5	7.50	0.68	4.88
	MIN	0.05	12.0	63.6	7.00	0.43	1.89
750	X	0.17	16.9	85.1	7.03	0.61	2.33
	MAX	0.62	24.0	111.3	7.40	0.91	2.50
	MIN	0.06	10.5	67.6	6.66	0.41	2.16
600	X	0.26	17.0	88.1	7.29	0.71	2.86
	MAX	1.65	26.0	105.9	7.70	0.97	4.55
	MIN	0.04	10.0	73.2	6.90	0.52	1.55
610	X	0.27	17.9	81.4	7.17	0.65	2.69
	MAX	1.31	26.5	98.0	7.30	0.86	4.84
	MIN	0.02	11.0	63.6	7.00	0.32	0.62
620	X	0.19	17.9	86.8	7.20	0.57	4.89
	MAX	1.29	25.0	103.6	7.60	0.78	19.26
	MIN	0.03	12.0	48.3	7.00	0.04	0.89

TABLA III.3 (Primera Parte - continuación)

PARAMETROS QUIMICOS DE SUPERFICIE (1981-1987)

Río de la Plata Medio							
EST.		SAL.	TEMP.	%SAT.O ₂	pH	Alk	NH ₄ ⁺
630	X	0.27	17.0	86.8	7.20	0.64	5.32
	MAX	2.46	25.0	102.3	7.40	1.10	11.38
	MIN	0.00	10.5	58.0	7.00	0.40	1.67
540	X	0.29	15.5	88.7	7.22	0.62	7.09
	MAX	2.18	24.2	103.7	7.50	0.88	30.14
	MIN	0.06	10.0	63.7	6.90	0.46	1.17
530	X	0.29	17.2	90.4	7.20	0.64	3.97
	MAX	1.54	25.1	104.7	7.60	0.80	17.37
	MIN	0.02	10.0	62.8	7.00	0.44	1.17
560	X	0.34	17.0	82.9	7.40	0.59	3.24
	MAX	3.46	23.0	104.7	7.60	0.86	5.00
	MIN	0.03	10.0	58.9	6.70	0.38	1.50
550	X	0.29	17.1	81.7	7.10	0.61	4.37
	MAX	1.09	26.0	95.4	7.40	0.85	7.94
	MIN	0.06	10.0	64.8	6.90	0.29	1.61
570	X	0.53	18.3	84.9	7.30	0.55	2.69
	MAX	3.35	24.0	100.3	7.70	0.78	3.72
	MIN	0.02	12.0	73.6	7.00	0.41	1.61
580	X	0.34	16.6	87.2	7.19	0.55	1.78
	MAX	2.23	24.5	96.9	7.50	0.87	2.05
	MIN	0.06	10.5	77.4	7.00	0.28	1.50
520	X	0.53	17.0	82.8	7.30	0.63	4.36
	MAX	2.86	24.1	97.9	7.40	0.86	9.88
	MIN	0.06	10.0	56.0	7.10	0.42	2.39
510	X	0.34	17.1	88.5	7.30	0.62	2.17
	MAX	1.74	24.3	98.9	7.40	0.76	2.87
	MIN	0.01	10.0	69.1	7.10	0.31	1.22

TABLA III.3 (Primera Parte - continuación)

PARAMETROS QUIMICOS DE SUPERFICIE (1981-1987)

		Río de la Plata Medio					
EST.		SAL.	TEMP.	%SAT.O ₂	pH	Alk	NH ₄ ⁺
505	X	0.42	15.8	87.1	7.30	0.69	2.62
	MAX	2.26	24.3	97.1	7.70	0.87	4.50
	MIN	0.06	10.0	78.4	7.00	0.36	1.33
500	X	0.31	16.1	85.2	7.46	0.83	5.13
	MAX	1.52	24.2	99.4	7.90	1.02	23.09
	MIN	0.01	10.0	56.6	7.20	0.41	0.62
480	X	0.40	16.5	85.5	7.28	0.69	4.49
	MAX	2.40	25.0	98.1	7.70	0.92	16.82
	MIN	0.02	10.0	73.5	7.00	0.52	1.55
460	X	0.34	17.9	82.9	7.20	0.59	2.06
	MAX	2.10	23.5	97.7	7.40	0.72	2.39
	MIN	0.01	12.0	71.0	7.00	0.42	1.50
450	X	0.33	16.5	89.7	7.09	0.56	3.36
	MAX	2.76	22.0	101.7	7.60	0.84	8.88
	MIN	0.01	11.0	73.2	6.70	0.32	1.33
400	X	0.46	16.0	84.4	7.38	0.77	4.91
	MAX	2.20	28.0	99.5	7.70	2.20	14.87
	MIN	0.07	10.0	59.1	7.20	0.54	1.22
410	X	0.41	16.2	84.3	7.27	0.69	4.21
	MAX	1.77	26.2	99.9	7.60	0.93	12.60
	MIN	0.06	11.0	64.3	6.47	0.51	1.39
420	X	0.23	16.4	87.6	7.16	0.62	3.24
	MAX	0.76	29.0	114.4	7.30	0.82	5.49
	MIN	0.05	10.5	67.3	7.00	0.30	1.55
430	X	0.43	16.2	88.3	7.20	0.64	3.15
	MAX	2.64	28.2	103.5	7.50	0.95	4.94
	MIN	0.05	10.1	73.1	6.89	0.35	1.89

TABLA III.3(Segunda Parte)

PARAMETROS QUIMICOS DE SUPERFICIE (1981-1987)

		Río de la Plata Medio				
EST		NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁼	SiO ₃ ⁼	M.S
700	X	0.47	13.47	1.17	162	96
	MAX	1.85	21.45	2.66	219	148
	MIN	0.20	7.28	0.26	56	35
710	X	0.38	14.56	1.04	152	78
	MAX	3.62	27.92	2.19	198	175
	MIN	0.06	8.00	0.25	59	30
720	X	0.37	13.96	1.04	160	75
	MAX	0.78	22.46	1.69	236	128
	MIN	0.06	7.77	0.33	37	29
730	X	0.42	18.09	1.01	171	75
	MAX	0.74	29.03	2.09	252	177
	MIN	0.11	9.01	0.29	62	19
740	X	0.42	15.87	1.23	153	80
	MAX	0.78	33.98	2.09	234	152
	MIN	0.10	7.30	0.60	60	22
750	X	0.45	23.47	0.93	147	79
	MAX	1.12	42.77	1.90	200	216
	MIN	0.22	10.78	0.31	62	22
600	X	0.66	16.90	1.69	153	99
	MAX	4.26	44.07	9.72	21.6	171
	MIN	0.04	1.60	0.26	68	24
610	X	0.33	14.52	0.98	156	91
	MAX	0.86	22.82	1.86	212	124
	MIN	0.08	8.52	0.31	96	41
620	X	0.39	19.44	1.16	160	84
	MAX	0.83	37.12	2.10	222	163
	MIN	0.09	11.12	0.31	50	21

Tabla III.3 (Segunda Parte - continuación)

PARAMETROS QUIMICOS DE SUPERFICIE (1981-1987)

		Río de la Plata Medio				
EST		NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁼	SiO ₃ ⁼	M.S
630	X	0.42	26.06	0.91	180	74
	MAX	0.97	41.24	3.81	236	20
	MIN	0.06	12.61	0.26	55	22
540	X	0.31	23.30	1.24	164	101
	MAX	0.96	59.05	2.99	226	311
	MIN	0.02	4.97	0.40	63	24
530	X	0.28	14.82	1.14	166	132
	MAX	0.99	28.55	2.40	216	248
	MIN	0.01	1.42	0.31	84	49
560	X	0.71	15.90	1.38	154	95
	MAX	3.08	27.00	3.36	211	226
	MIN	0.06	8.15	0.13	55	43
550	X	0.26	12.41	1.12	166	95
	MAX	0.40	14.95	3.46	198	190
	MIN	0.09	9.15	0.01	95	49
570	X	0.37	24.04	1.43	152	121
	MAX	0.66	41.90	2.40	218	189
	MIN	0.06	10.55	0.79	79	44
580	X	0.33	20.68	0.75	145	80
	MAX	0.80	34.11	2.48	207	242
	MIN	0.01	9.65	0.28	41	27
520	X	0.21	17.79	1.32	111	123
	MAX	0.66	32.30	2.67	210	195
	MIN	0.08	4.87	0.25	41	57
510	X	0.21	16.61	1.86	145	102
	MAX	0.43	24.25	4.52	198	233
	MIN	0.02	1.28	0.23	62	46

TABLA III.3(Segunda Parte - continuación)

PARAMETROS QUIMICOS DE SUPERFICIE (1981-1987)

		Río de la Plata Medio				
EST		NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁼	SiO ₃ ⁼	M.S
505	X	0.30	15.69	1.57	158	122
	MAX	0.59	32.08	3.14	226	313
	MIN	0.08	9.37	0.80	86	38
500	X	0.37	26.95	1.59	161	131
	MAX	1.67	42.94	2.67	208	271
	MIN	0.06	9.40	0.52	78	33
480	X	0.25	14.49	1.40	145	126
	MAX	0.68	18.69	2.20	188	250
	MIN	0.02	7.52	0.59	57	50
460	X	0.16	12.56	1.52	140	136
	MAX	0.25	26.60	3.19	216	260
	MIN	0.08	1.40	0.75	54	45
450	X	0.61	24.48	1.33	172	84
	MAX	4.04	47.72	2.67	216	150
	MIN	0.01	7.51	0.33	80	44
400	X	0.28	20.85	1.51	147	169
	MAX	0.50	37.53	3.33	191	519
	MIN	0.08	6.34	0.84	61	50
410	X	0.22	14.33	1.34	140	136
	MAX	0.41	21.83	3.41	200	346
	MIN	0.01	6.26	0.19	35	43
420	X	0.24	16.58	1.47	153	120
	MAX	0.49	26.73	3.15	202	252
	MIN	0.06	9.65	0.19	43	46
430	X	0.45	15.35	1.23	155	106
	MAX	3.60	32.20	3.04	203	348
	MIN	0.02	2.26	0.13	32	21

TABLA III.4(Primera Parte)

PARAMETROS QUIMICOS DE SUPERFICIE (1981-1985)

Río de la Plata Exterior

EST.		SAL.	TEMP.	%SAT.O ₂	pH
10	X	18.00	16.87	94.3	7.85
	MAX	33.60	23.60	134.0	8.48
	MIN	4.80	7.50	27.7	7.00
11	X	17.71	15.65	105.2	8.05
	MAX	32.60	24.40	136.0	8.40
	MIN	3.90	9.24	80.0	7.00
12	X	19.62	14.82	92.1	8.09
	MAX	31.10	23.90	122.0	8.70
	MIN	3.00	9.00	24.0	7.20
13	X	19.45	15.45	103.9	8.16
	MAX	30.70	23.90	118.0	8.60
	MIN	7.50	9.60	84.2	7.20
14	X	25.01	14.04	90.7	7.98
	MAX	32.73	23.00	118.0	8.49
	MIN	10.43	9.50	37.4	7.30
15	X	22.25	15.33	88.3	8.05
	MAX	32.80	21.90	116.0	8.44
	MIN	13.11	10.70	46.3	7.20
20	X	12.33	15.53	87.6	7.95
	MAX	16.80	23.50	100.0	8.48
	MIN	6.40	9.00	54.0	7.10
21	X	14.70	15.46	98.9	7.94
	MAX	29.90	23.80	152.0	8.86
	MIN	1.40	8.80	57.1	7.10
22	X	13.20	15.04	90.6	8.08
	MAX	27.00	23.40	114.0	8.63
	MIN	4.80	9.34	61.0	7.30

TABLA III.4(Primera Parte - continuación)

PARAMETROS QUIMICOS DE SUPERFICIE (1981-1985)

Río de la Plata Exterior

EST.		SAL.	TEMP.	%SAT.O ₂	pH
23	X	15.32	15.31	102.7	8.15
	MAX	28.30	23.90	130.2	8.80
	MIN	2.70	9.72	87.6	7.20
24	X	9.93	15.39	91.2	7.85
	MAX	21.60	24.20	128.0	8.60
	MIN	0.90	9.50	39.0	6.80
25	X	7.27	14.49	90.1	7.83
	MAX	23.40	23.40	109.0	8.60
	MIN	0.40	9.48	55.0	7.00
26	X	12.66	14.35	99.4	7.97
	MAX	33.10	23.00	136.0	8.50
	MIN	3.70	9.58	58.0	7.30
27	X	19.10	13.50	95.8	8.01
	MAX	32.30	22.20	118.0	8.50
	MIN	5.04	9.58	55.1	7.50
30	X	2.40	15.20	90.7	7.54
	MAX	8.24	23.80	105.5	8.30
	MIN	0.20	9.84	62.6	6.80
31	X	2.88	16.25	94.6	7.67
	MAX	6.80	23.80	115.3	8.40
	MIN	0.17	9.40	81.0	6.80
32	X	2.96	15.79	87.5	7.77
	MAX	9.60	22.80	112.0	8.30
	MIN	0.17	9.40	58.6	6.90

TABLA III.4(Segunda Parte)

PARAMETROS QUIMICOS DE SUPERFICIE (1981-1985)

Río de la Plata Exterior							
EST.		NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁼	SiO ₃ ⁼	UNT	N/P	Si/P
10	X	4.77	0.73	75.8	7	6.5	104
	MAX	16.80	2.10	154.0	20		
	MIN	0.03	0.48	5.2	1		
11	X	4.47	0.79	66.8	5	5.6	85
	MAX	13.20	1.75	116.1	20		
	MIN	0.03	0.03	18.0	1		
12	X	2.34	0.63	58.3	3	3.7	93
	MAX	18.80	2.00	128.2	6		
	MIN	0.03	0.03	18.0	1		
13	X	1.04	0.63	58.7	3	1.6	93
	MAX	5.60	1.95	105.2	10		
	MIN	0.03	0.03	17.3	1		
14	X	2.20	0.55	39.5	3	4.1	75
	MAX	13.25	1.35	104.3	5		
	MIN	0.03	0.03	1.7	1		
15	X	3.30	0.78	59.6	5	4.2	76
	MAX	3.30	2.50	135.5	10		
	MIN	0.03	0.03	19.0	1		
20	X	7.78	1.02	85.6	10	7.6	84
	MAX	15.90	5.80	103.0	30		
	MIN	0.03	0.40	44.0	1		
21	X	4.24	0.91	85.6	6	4.6	99
	MAX	11.10	1.80	165.0	11		
	MIN	0.03	0.20	32.2	2		
22	X	6.89	1.27	97.5	9	5.4	72
	MAX	22.50	2.95	156.4	40		
	MIN	1.40	0.03	16.0	2		

TABLA III.4(Segunda Parte - continuación)

PARAMETROS QUIMICOS DE SUPERFICIE (1981-1985)

Río de la Plata Exterior							
EST.		NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁼	SiO ₃ ⁼	UNT	N/P	Si/P
23	X	1.58	0.80	63.3	5	2.1	79
	MAX	7.10	1.70	110.4	20		
	MIN	0.03	0.03	15.7	2		
	—						
24	X	5.23	0.85	115.1	13	6.1	135
	MAX	11.00	2.60	216.4	90		
	MIN	1.10	0.03	57.0	1		
	—						
25	X	9.03	0.74	123.6	25	12.2	167
	MAX	20.00	1.36	244.5	150		
	MIN	0.20	0.03	41.0	4		
	—						
26	X	9.17	0.86	92.2	14	10.7	107
	MAX	22.50	1.94	162.0	50		
	MIN	0.90	0.03	12.0	3		
	—						
27	X	3.20	0.86	76.3	6	3.7	89
	MAX	18.00	1.99	148.0	15		
	MIN	0.03	0.42	6.7	1		
	—						
30	X	10.04	1.58	153.9	55	6.3	86
	MAX	14.40	4.49	232.6	95		
	MIN	5.99	0.52	102.1	13		
	—						
31	X	14.64	1.31	166.4	78	11.2	127
	MAX	28.00	2.30	284.5	200		
	MIN	1.80	0.50	68.7	10		
	—						
32	X	13.34	2.12	156.8	65	6.3	74
	MAX	27.40	4.98	278.0	200		
	MIN	2.30	0.45	98.8	8		

TABLA III.5 (Primera Parte)

PARAMETROS QUIMICOS DEL FONDO (1981-1985)

Río de la Plata Exterior					
EST.		SAL.	TEMP.	%SAT.O ₂	pH
10	X	27.40	13.39	65.1	7.68
	MAX	33.50	21.77	86.7	8.27
	MIN	8.58	24.25	24.3	6.80
11	X	30.06	13.36	88.8	7.75
	MAX	33.40	21.98	95.8	8.30
	MIN	24.15	9.90	65.3	6.30
12	X	26.58	13.71	88.9	7.98
	MAX	31.90	22.97	103.6	8.70
	MIN	17.08	8.56	23.0	7.30
13	X	29.54	14.72	80.4	7.86
	MAX	32.50	23.42	98.8	8.25
	MIN	24.93	8.64	31.4	7.10
14	X	29.84	14.96	78.1	7.89
	MAX	33.00	22.77	108.6	8.25
	MIN	25.90	10.70	37.1	7.10
15	X	30.71	14.66	72.6	7.98
	MAX	33.40	21.00	100.9	8.30
	MIN	24.10	8.80	25.6	7.60
20	X	15.26	14.98	86.1	7.96
	MAX	24.13	23.35	121.6	8.20
	MIN	6.42	9.22	58.3	7.50
21	X	21.89	13.67	66.9	7.79
	MAX	30.10	23.58	132.4	8.47
	MIN	20.44	8.45	30.8	7.00
22	X	19.39	14.21	72.4	7.97
	MAX	29.70	22.52	114.9	8.52
	MIN	12.80	8.50	42.5	7.68

TABLA III.5 (Primera Parte - continuación)

PARAMETROS QUIMICOS DEL FONDO (1981-1985)

Río de la Plata Exterior

EST.		SAL.	TEMP.	%SAT.O ₂	pH
23	X	23.69	13.70	57.9	7.84
	MAX	30.70	22.28	82.4	8.39
	MIN	13.33	8.54	22.8	7.15
24	X	18.15	14.90	59.0	7.84
	MAX	29.40	23.08	95.1	8.23
	MIN	6.41	8.46	25.2	7.00
25	X	14.59	14.59	81.3	7.90
	MAX	31.00	22.95	99.5	8.30
	MIN	5.56	9.37	34.0	7.40
26	X	21.01	13.70	68.4	7.90
	MAX	32.50	22.95	98.7	8.40
	MIN	4.16	8.96	35.6	7.55
27	X	29.57	13.00	72.7	7.89
	MAX	32.80	21.78	105.8	8.20
	MIN	19.69	8.70	20.9	7.50
30	X	5.69	15.00	71.5	7.67
	MAX	8.24	22.85	97.7	8.75
	MIN	0.20	8.84	33.7	6.19
31	X	9.04	15.00	66.9	7.64
	MAX	24.20	22.77	101.6	8.10
	MIN	0.26	9.46	37.6	7.05
32	X	10.75	15.30	69.2	7.71
	MAX	25.80	22.70	95.9	8.35
	MIN	0.10	9.46	22.9	7.08

TABLA III.5(Segunda Parte)

PARAMETROS QUIMICOS DEL FONDO (1981-1985)

		Río de la Plata Exterior					
EST.		NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁼	SiO ₃ ⁼	UNT	N/P	Si/P
10	X	2.40	0.95	33.3	8	2.5	35
	MAX	7.36	1.81	191.0	30		
	MIN	0.03	0.03	0.8	3		
11	X	3.29	1.09	23.0	4	3.0	21
	MAX	9.61	2.43	152.2	10		
	MIN	0.03	0.23	3.9	1		
12	X	1.97	1.08	40.2	4	1.8	37
	MAX	9.82	1.97	85.8	10		
	MIN	0.03	0.18	13.6	2		
13	X	3.01	0.63	27.5	4	4.8	44
	MAX	16.55	1.28	78.0	10		
	MIN	0.03	0.03	0.5	1		
14	X	1.81	0.80	27.4	3	2.3	34
	MAX	3.39	1.47	84.2	5		
	MIN	0.11	0.25	1.7	1		
15	X	4.56	0.97	22.8	6	4.7	24
	MAX	17.55	1.75	63.2	20		
	MIN	0.27	0.19	5.8	2		
20	X	11.25	1.21	91.1	18	9.3	75
	MAX	23.70	2.32	180.8	65		
	MIN	0.03	0.48	48.0	3		
21	X	4.53	1.34	69.8	24	3.4	53
	MAX	10.22	3.03	136.9	65		
	MIN	0.03	0.03	24.1	4		
22	X	4.78	1.11	65.9	22	4.3	50
	MAX	10.39	1.81	106.9	52		
	MIN	0.21	0.03	20.0	3		

TABLA III.5(Segunda Parte - continuación)

PARAMETROS QUIMICOS DEL FONDO (1981-1985)

Río de la Plata Exterior

EST.	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁼	SiO ₃ ⁼	UNT	N/P	Si/P	
23	X	3.34	1.08	51.5	8	3.1	48
	MAX	11.21	2.77	110.8	20		
	MIN	0.04	0.08	12.8	3		
	—						
24	X	4.17	0.94	69.2	37	4.4	74
	MAX	7.28	1.79	109.0	215		
	MIN	0.16	0.14	30.8	2		
	—						
25	X	6.82	1.03	93.8	33	6.6	95
	MAX	17.34	2.52	147.8	150		
	MIN	0.29	0.31	16.4	4		
	—						
26	X	3.09	0.64	65.2	24	4.8	99
	MAX	11.94	1.16	129.0	125		
	MIN	0.03	0.03	13.6	4		
	—						
27	X	3.21	0.86	29.0	22	3.4	34
	MAX	9.92	1.59	73.8	75		
	MIN	0.03	0.28	5.1	3		
	—						
30	X	8.61	1.75	133.7	62	4.5	65
	MAX	14.70	3.60	184.5	110		
	MIN	0.62	0.62	83.5	15		
	—						
31	X	8.90	1.31	123.0	107	6.8	94
	MAX	17.03	3.18	196.3	200		
	MIN	0.03	0.03	50.2	35		
	—						
32	X	11.00	1.38	102.4	94	7.9	74
	MAX	25.00	2.93	218.9	200		
	MIN	1.14	0.46	16.4	25		

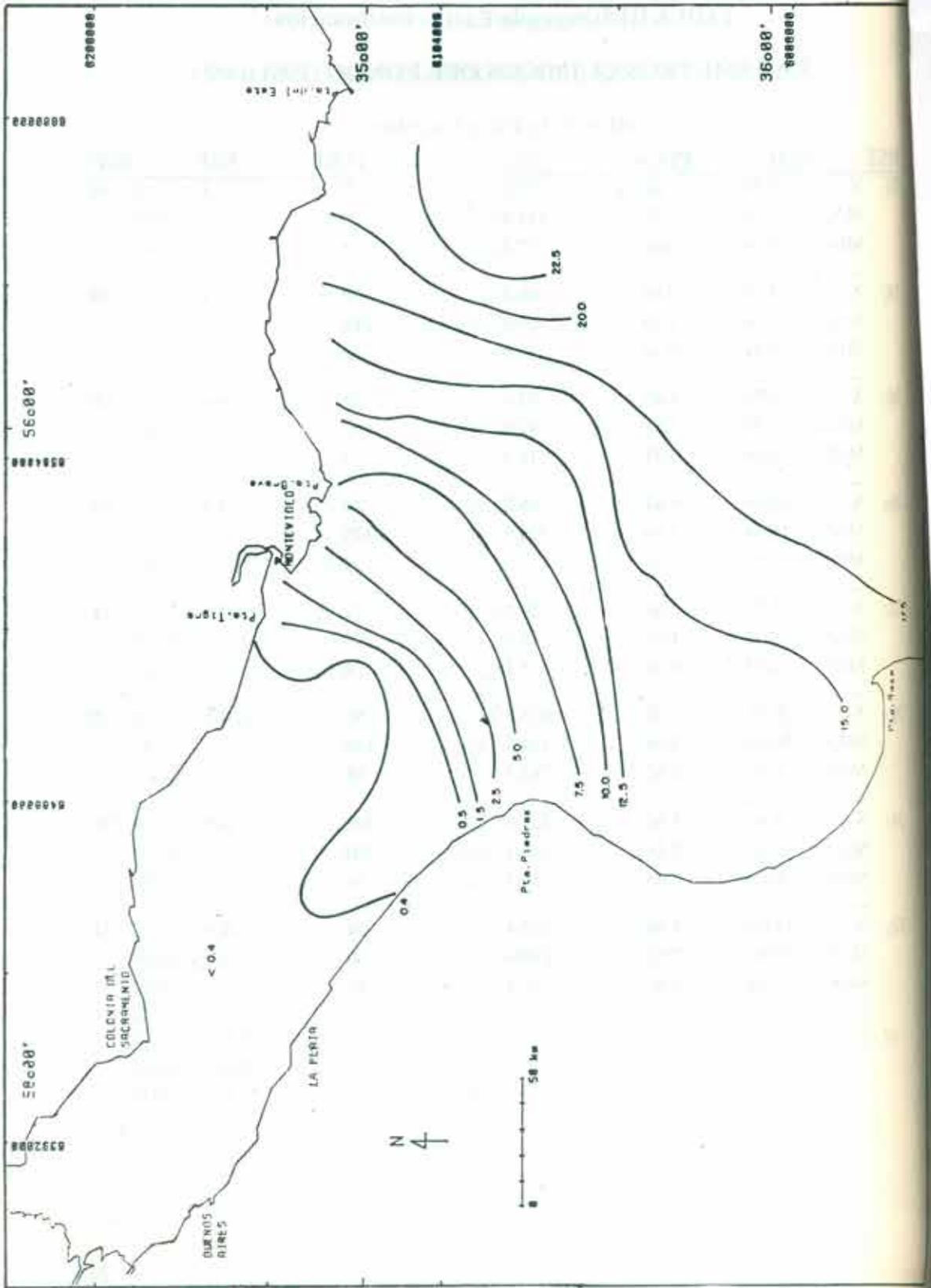


Figura III.2 - Isolíneas de Salinidad Media de Superficie

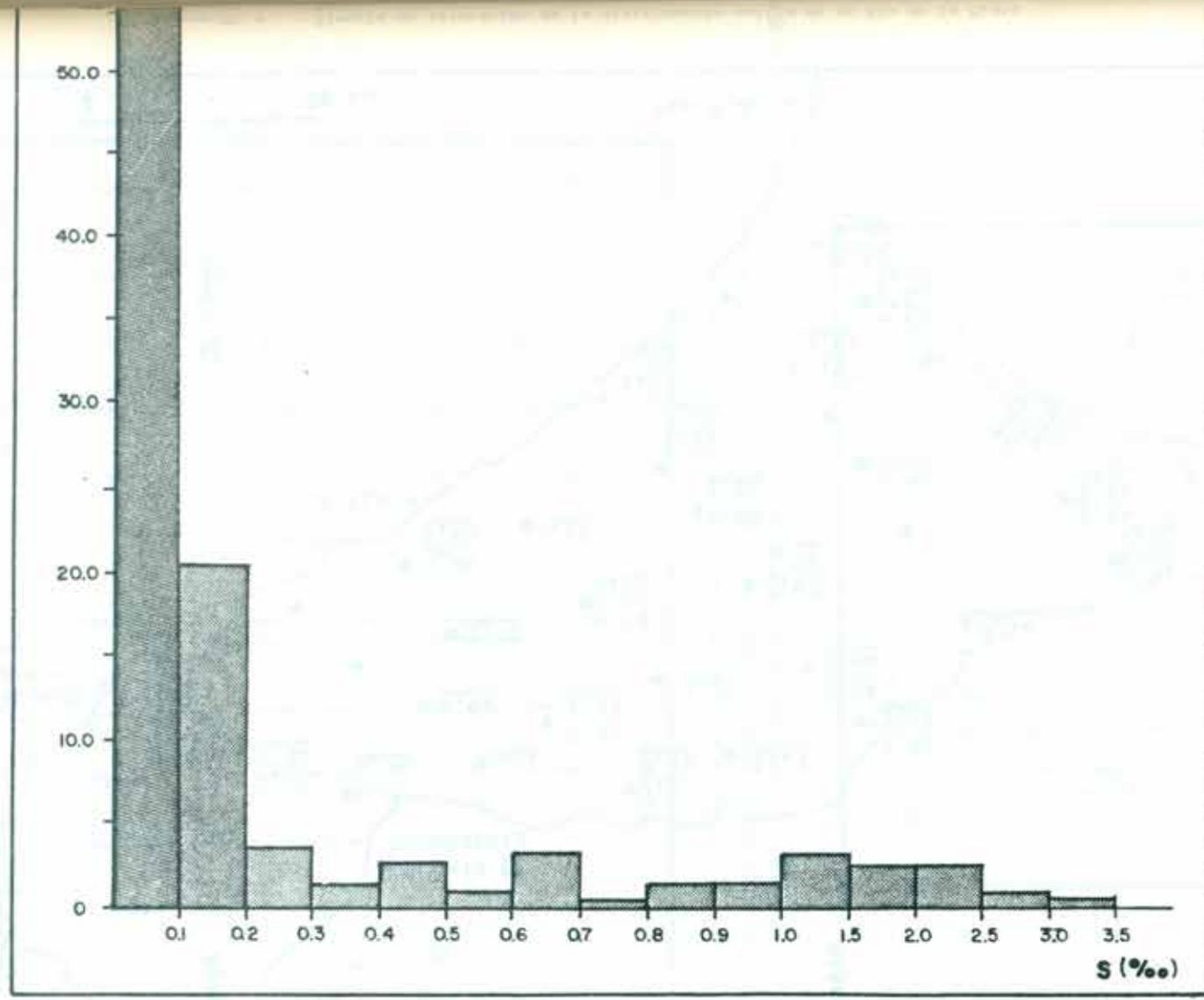


Figura III.3 - Histograma de frecuencias de Salinidad en el Río de la Plata Medio

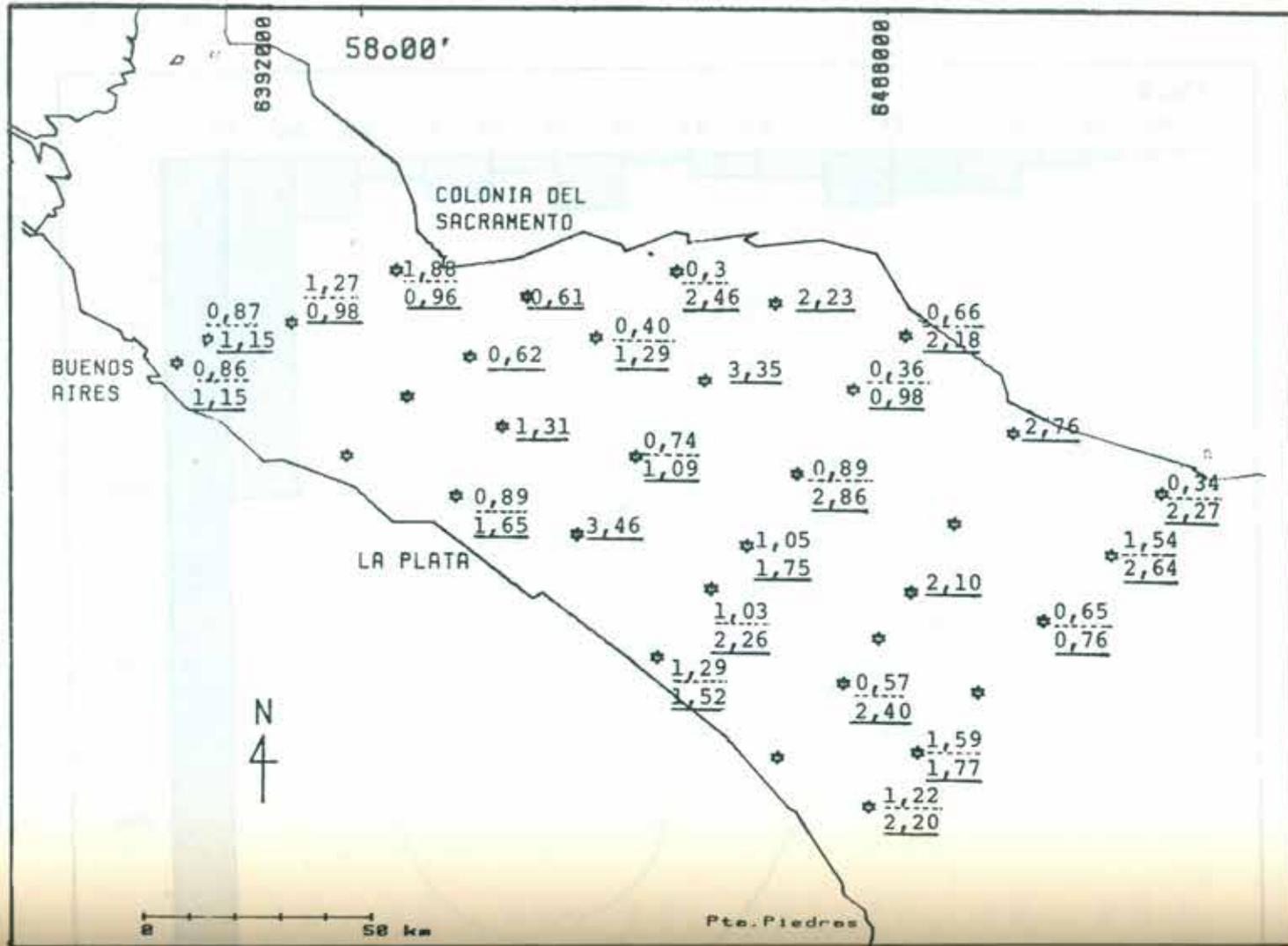
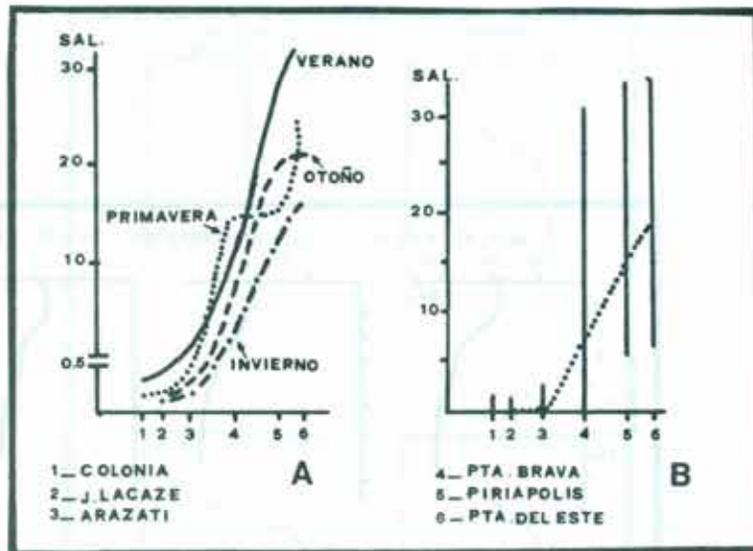
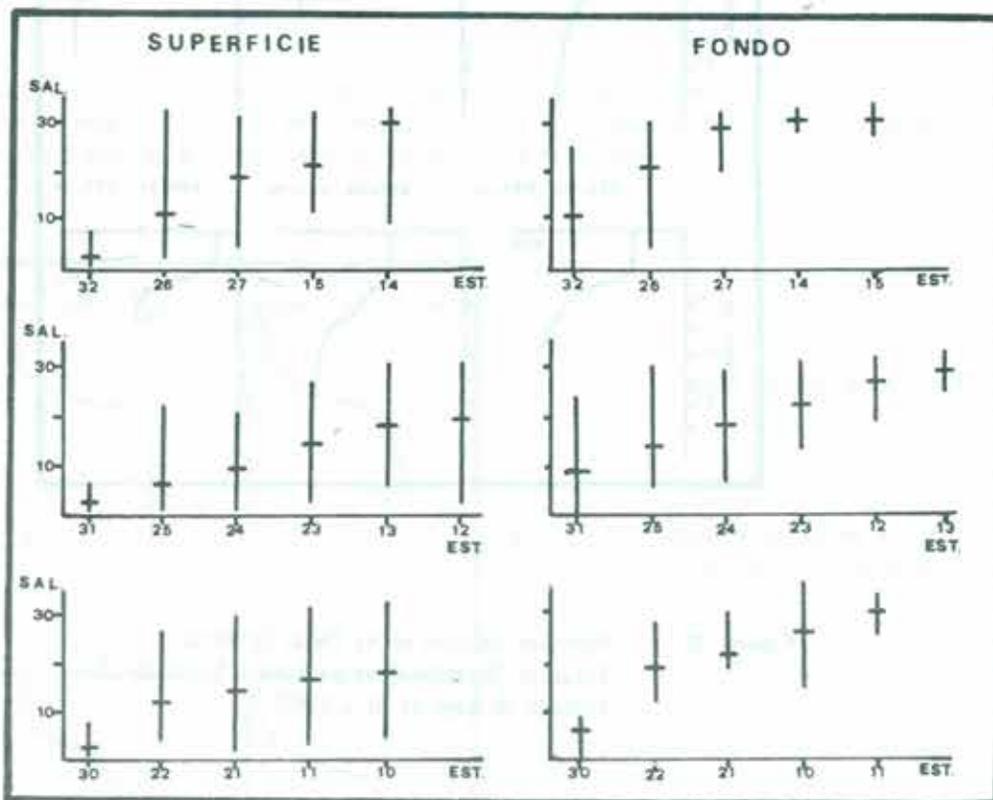


Figura No. 4 - Ejemplo de distribución de la distribución actual de la Pto. de La Plata



III.5 - El rango salino 0 - 33‰ se manifiesta desde Punta Brava hasta casi Piriápolis, con aumento de la salinidad media y disminución de la variabilidad en función lineal de la distancia. Temporalmente, los máximos salinos son en verano y los mínimos en invierno.



Figuro III.6 - Medias y dispersión salina en perfiles longitudinales. (Tomado de Nagy et al., 1987)

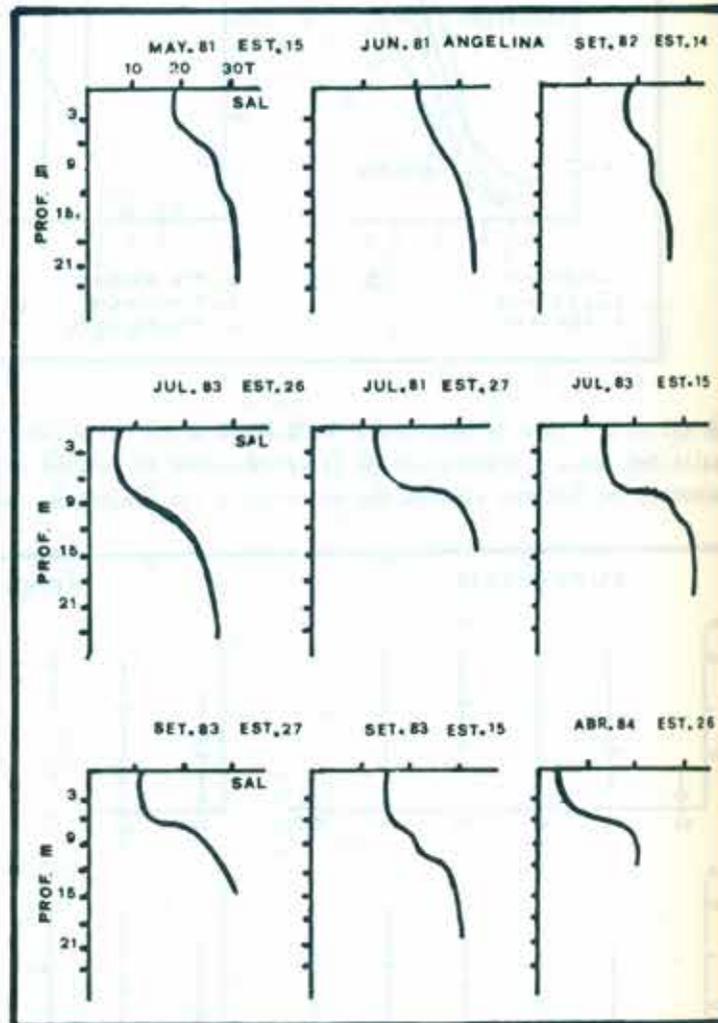
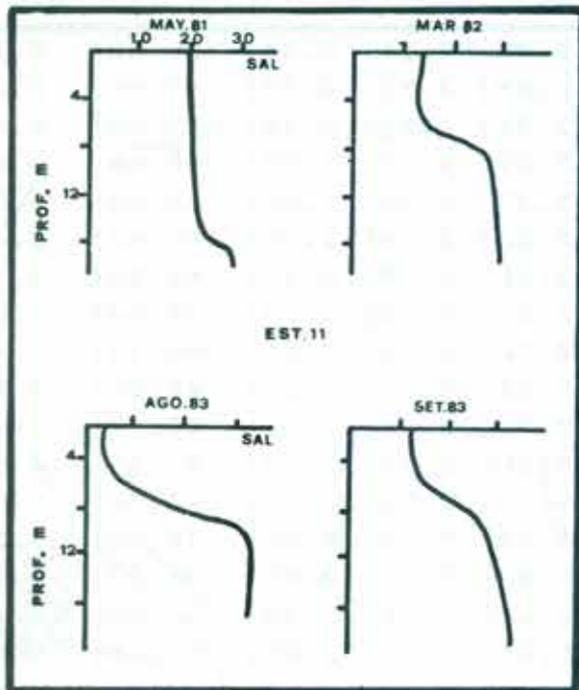
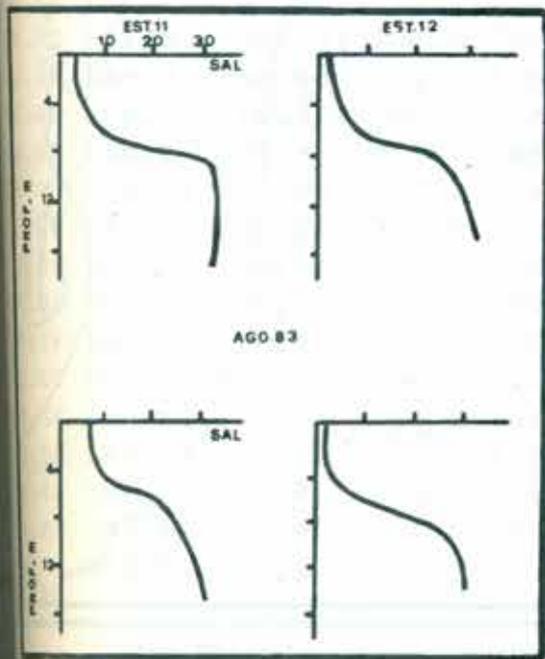


Figura III.7 - Perfiles salinos en el Canal Oriental.
 Estación "Angelina" es próxima a Estación 15.
 (Tomado de Nagy et al., 1987)



8 - En la costa Sur, la esasa profundidad y particular dinámica dificultan la intrusión neta la que se registra a partir de la estación 11, de 17 m; generandose una circulación en doble capa similar a la del Canal Oriental y zona medio externa.



(Tomado de Nagy et al., 1987)

Figuro III.9 - Ejemplos de máxima estratificación con alta descarga.

Est.	Prof.	N	Md.	DEst.	EEst.	C.V.	Mín.	Máx.	Fdo.
32	6.5	11	2.40	3.11	0.94	129.58	0.17	9.60	8.3
30	5.5	11	2.88	2.53	0.73	87.85	0.20	8.24	9.3
31	6.0	11	2.96	2.24	0.68	75.68	0.65	6.80	8.7
25	8.0	14	7.27	4.79	1.28	65.89	0.40	23.40	8.5
24	11.0	15	9.93	6.21	1.60	62.54	0.90	21.60	8.2
20	8.0	10	12.33	3.32	1.05	26.93	6.40	16.80	2.8
26	11.0	14	12.66	8.48	2.27	66.98	3.70	33.10	7.5
22	11.0	10	13.20	6.54	2.07	49.54	4.81	27.00	6.1
21	12.0	14	14.70	8.28	2.21	56.33	1.40	29.90	7.2
23	13.0	11	15.32	7.02	2.12	45.82	2.70	28.30	8.1
11	17.0	13	17.71	8.46	2.35	47.77	3.90	32.60	12.7
10	14.0	14	18.10	8.57	2.29	47.35	4.80	33.60	9.1
27	15.0	12	19.10	8.70	2.51	45.54	5.04	32.30	10.2
13	17.0	12	19.45	7.13	2.06	36.66	7.50	30.70	10.7
12	15.0	14	19.62	7.12	2.01	38.33	3.00	31.10	6.8
15	25.0	14	22.25	7.12	1.90	32.00	13.11	32.80	8.8
14	21.0	13	25.01	5.94	1.65	23.75	10.43	32.73	2.9

Figuro III. 10 - Salinidad de superficie (Estadísticos para el período 1981-1985)
(Tomado de Nagy et al., 1987)

Est.	Prof.	N	Md	DEst.	EEst.	C.V.	Min.	Máx.
30	5.5	12	5.69	6.13	1.77	107.73	0.20	8.24
31	6.0	11	9.04	9.44	2.85	104.42	0.20	24.20
32	6.5	11	10.75	10.96	3.30	101.95	0.10	25.80
25	8.0	13	14.59	8.81	2.44	60.38	5.56	31.00
20	8.0	10	15.26	4.51	1.46	30.21	6.42	24.13
24	11.0	15	18.15	6.58	1.70	36.25	6.41	29.40
22	11.0	10	19.39	5.53	1.75	28.52	12.80	29.70
26	11.0	15	21.01	9.16	2.36	43.60	4.16	32.50
21	12.0	14	21.89	5.43	1.46	24.80	20.44	30.10
23	13.0	11	23.69	5.29	1.59	22.33	13.33	30.70
12	15.0	12	26.58	4.51	1.20	16.97	17.08	31.90
10	14.0	14	27.40	5.07	1.36	18.50	14.10	33.50
13	17.0	12	29.54	2.56	0.74	8.67	24.93	32.50
27	15.0	12	29.57	4.12	1.19	13.93	19.69	32.80
14	21.0	15	29.84	2.43	0.62	8.14	25.90	33.00
11	17.0	13	30.06	2.75	0.76	9.15	24.15	33.40
15	25.0	14	30.71	2.99	0.80	9.74	24.10	33.40

Figuro III. 11 - Salinidad de fondo (Estadísticos para el período 1981-1985)
(Tomado de Nagy et al., 1987)

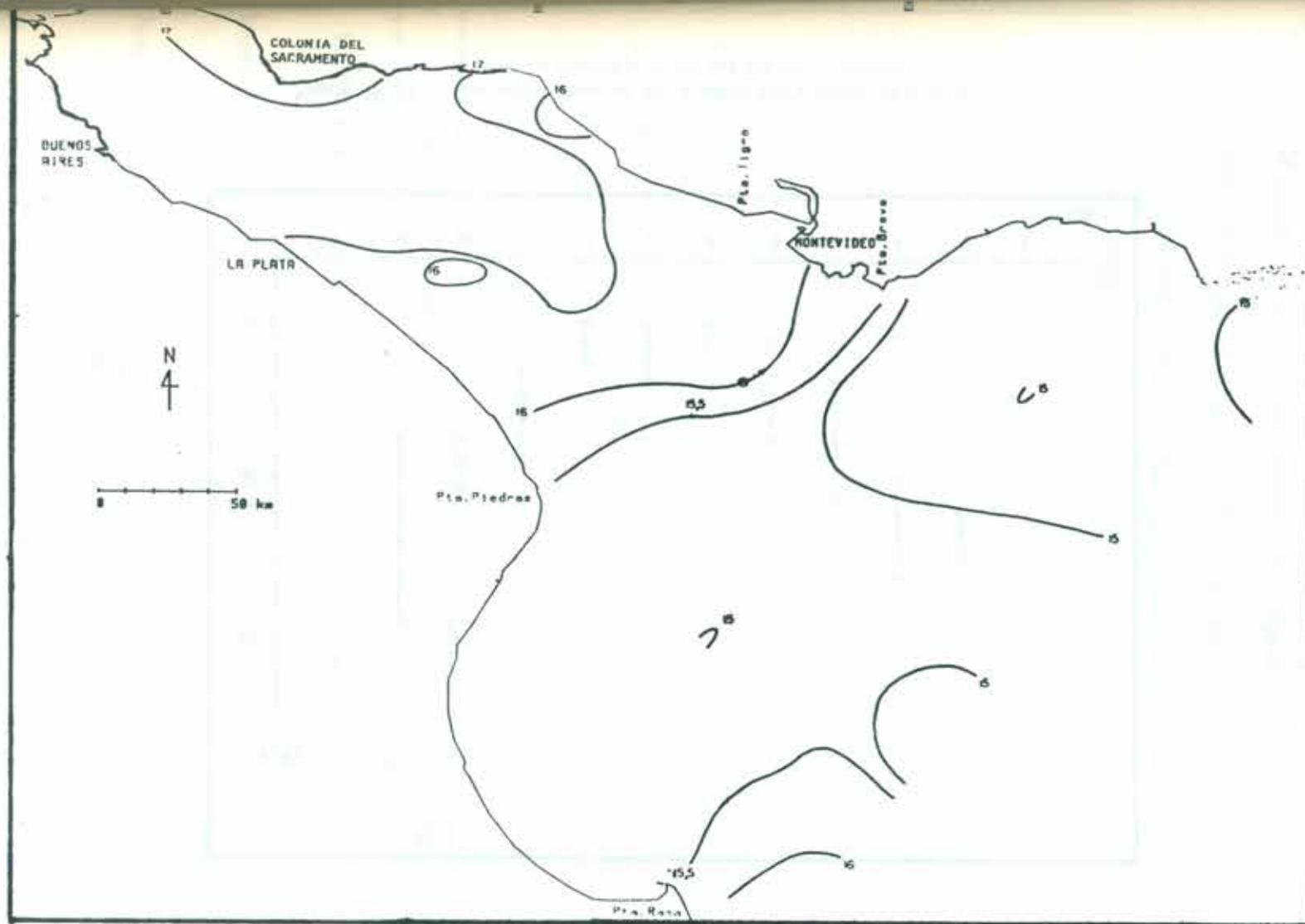


Figura III. 12 - Isofneas de Temperatura superficial.

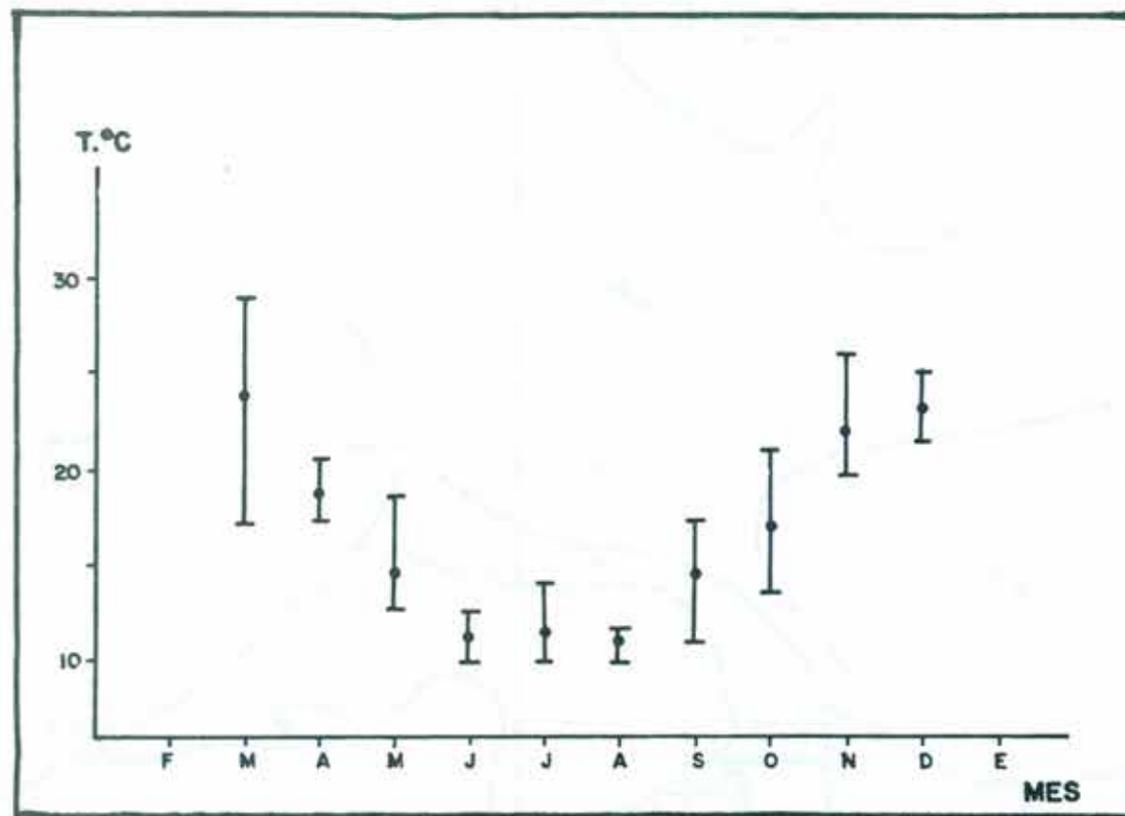
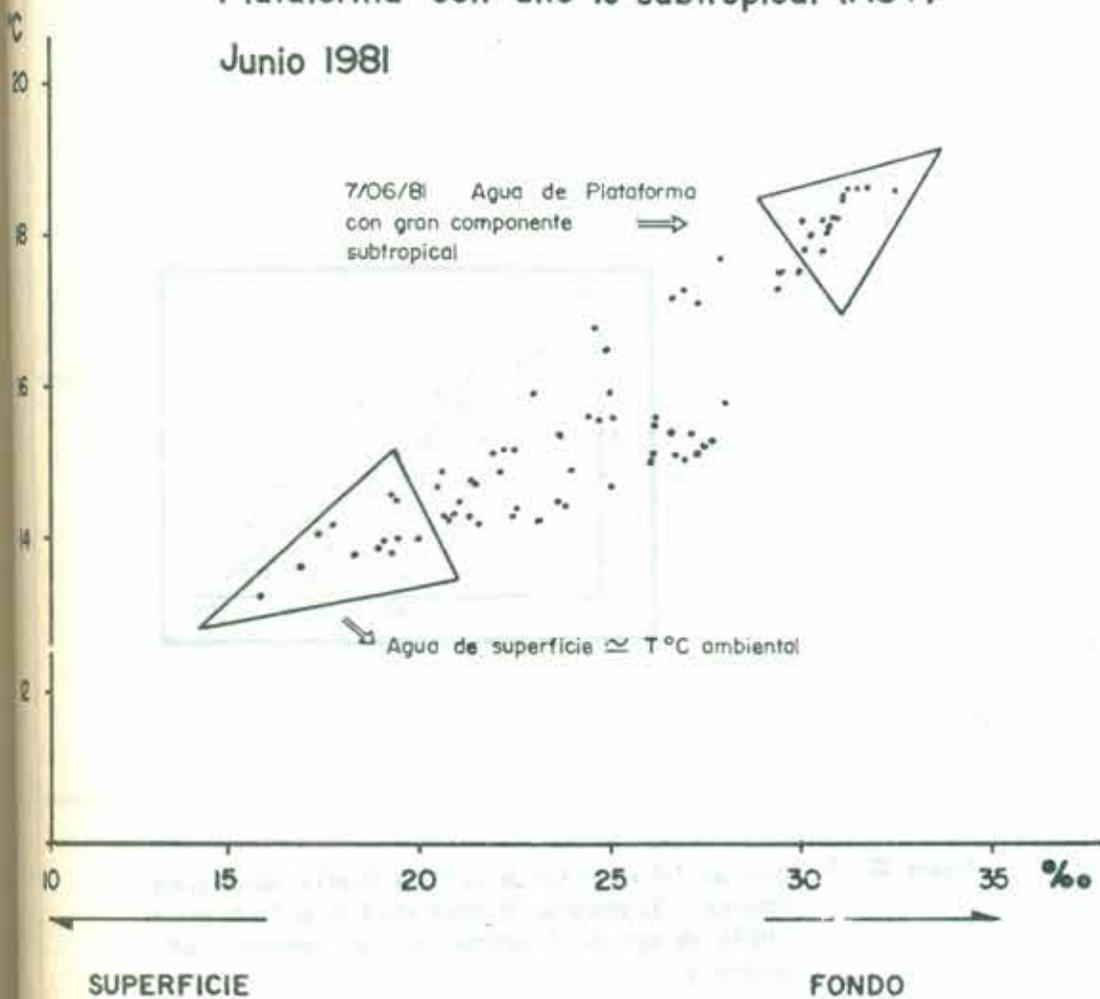


Figura III.13 - Variación temporal de la temperatura superficial en el Río de la Plata Medio con sus máximos y mínimos.

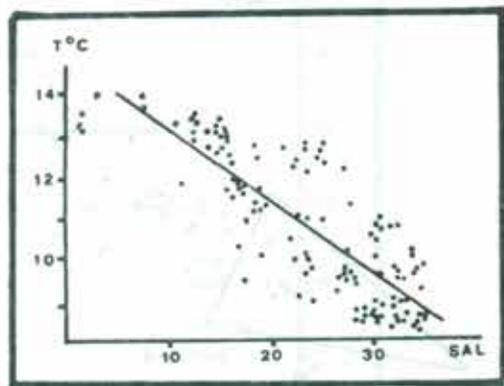
Mezcla casi conservativa del agua
del Río de la Plata (ARP) y de
Plataforma con alto % subtropical (AST)
Junio 1981



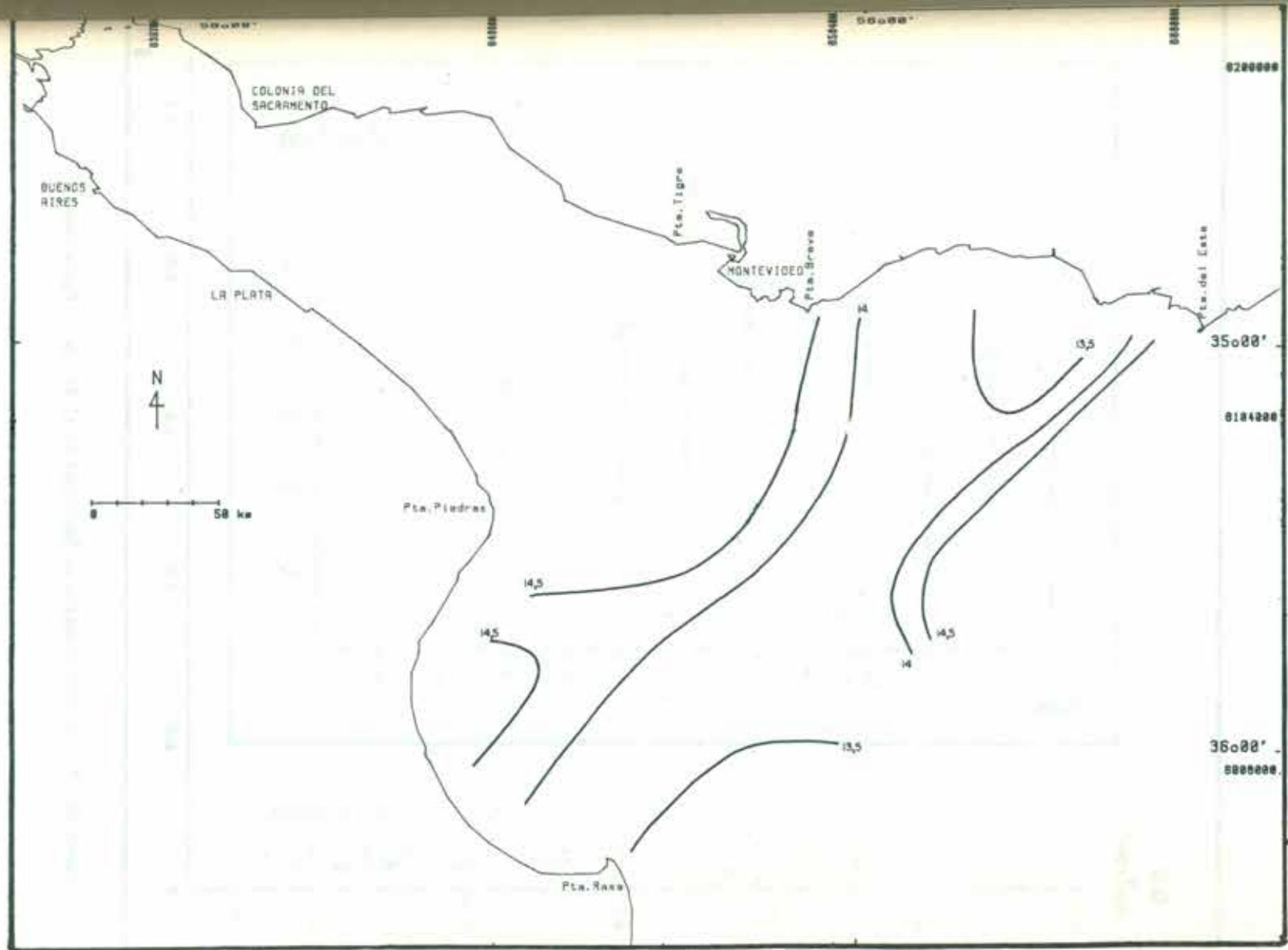
Temperatura ambiente 12.5 a 15 °C

Figura III.14 - Diagrama T-S en el Río de la Plata Exterior donde puede observarse el aumento de temperatura en el fondo por el ingreso de agua de plataforma con gran componente subtropical.

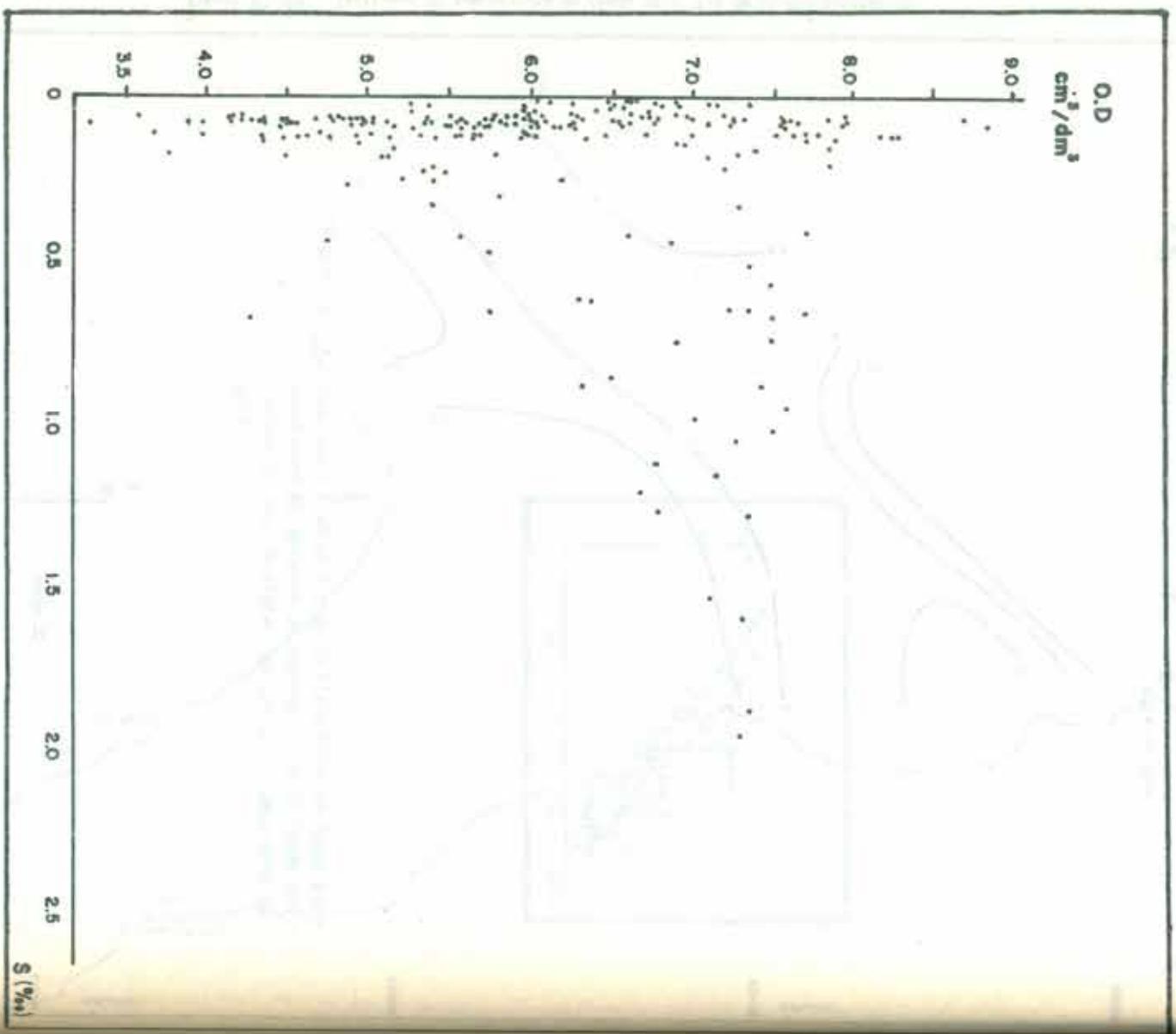
Figura III.15 - Diagrama T-S en el Río de la Plata Exterior donde puede observarse el descenso de temperatura en el fondo por el ingreso de agua de plataforma con gran componente sub-antártica.



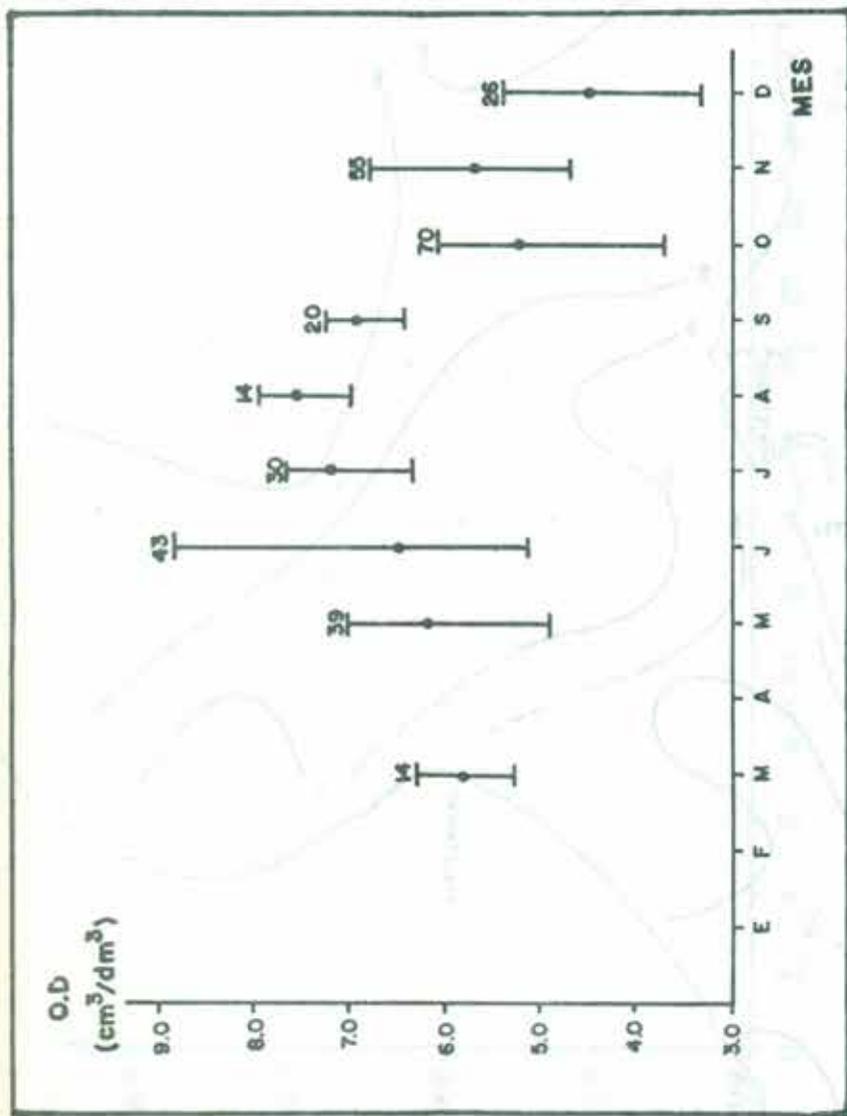
Figuro III.15 - Diagrama T-S en el Río de la Plata Exterior donde puede observarse el descenso de temperatura en el fondo por el ingreso de agua de plataforma con gran componente sub-antártica.



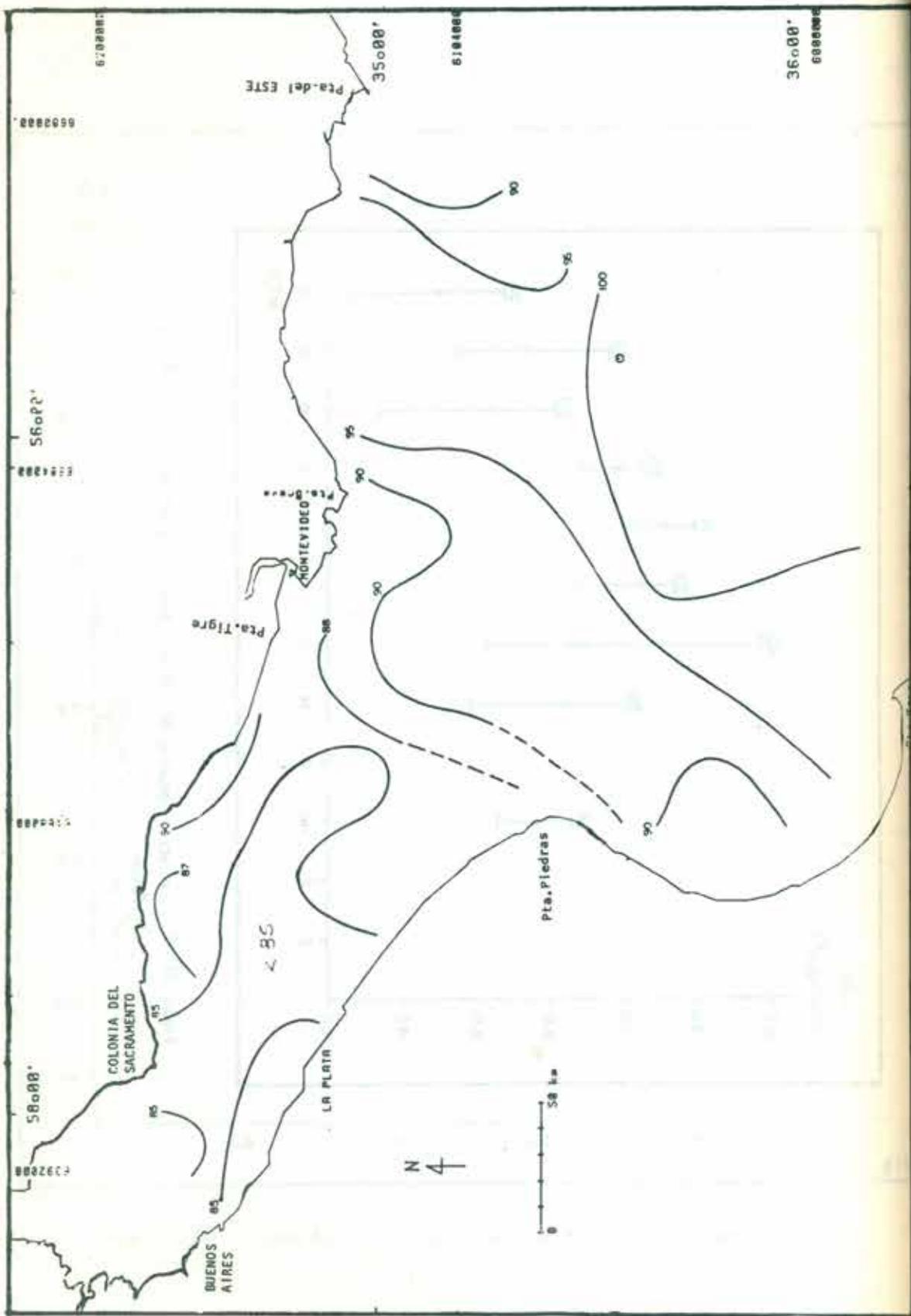
Figuro III . 16 - Isolinias de temperatura de fondo en el Rio de la Plata Exterior.



Figuro III. 17 - Oxígeno Disuelto vs Salinidad en el Río de la Plata Medio.



Figuro III. 18 - Variación temporal del Oxígeno superficial en el Río de la Plata
Medio.



Programa 2002 - 1000 ...

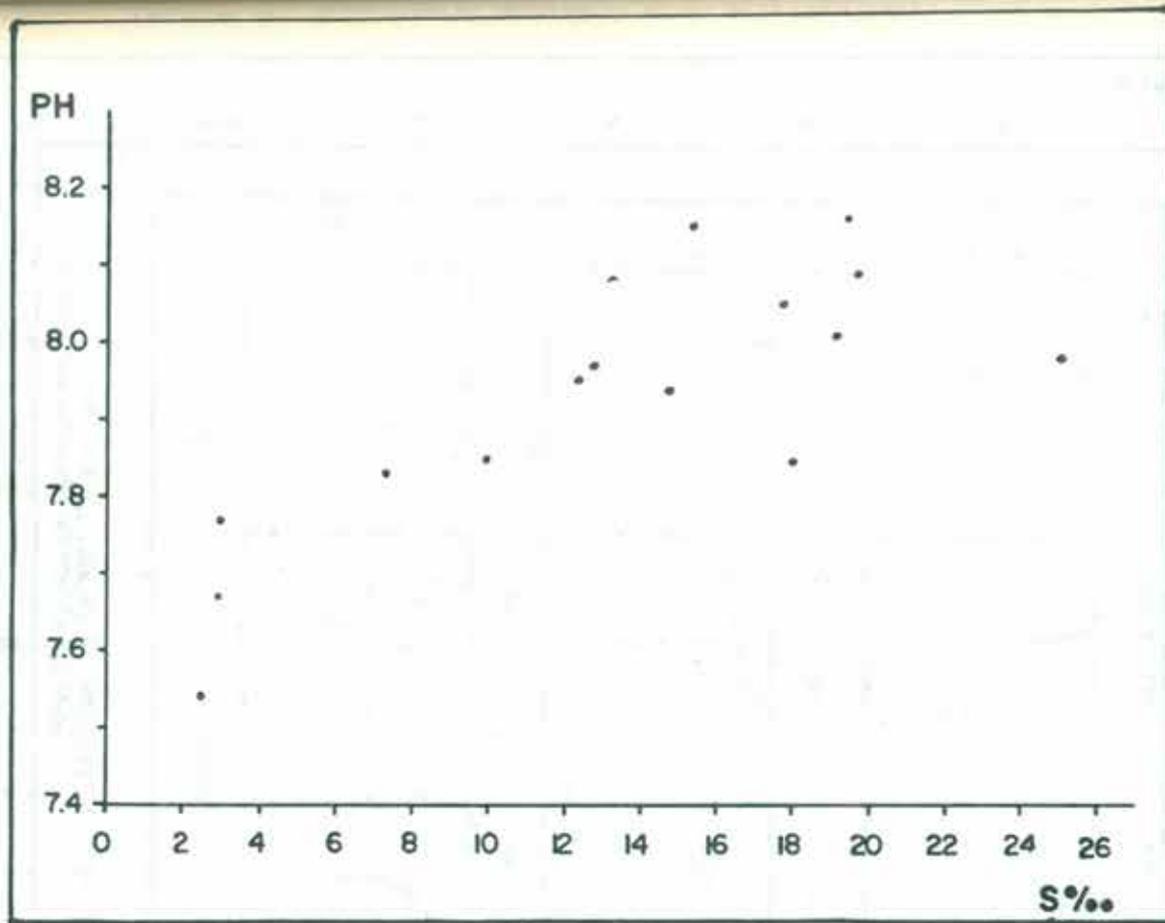


Figura III. 20 - pH vs Salinidad de superficie en el Río de la Plata Exterior.

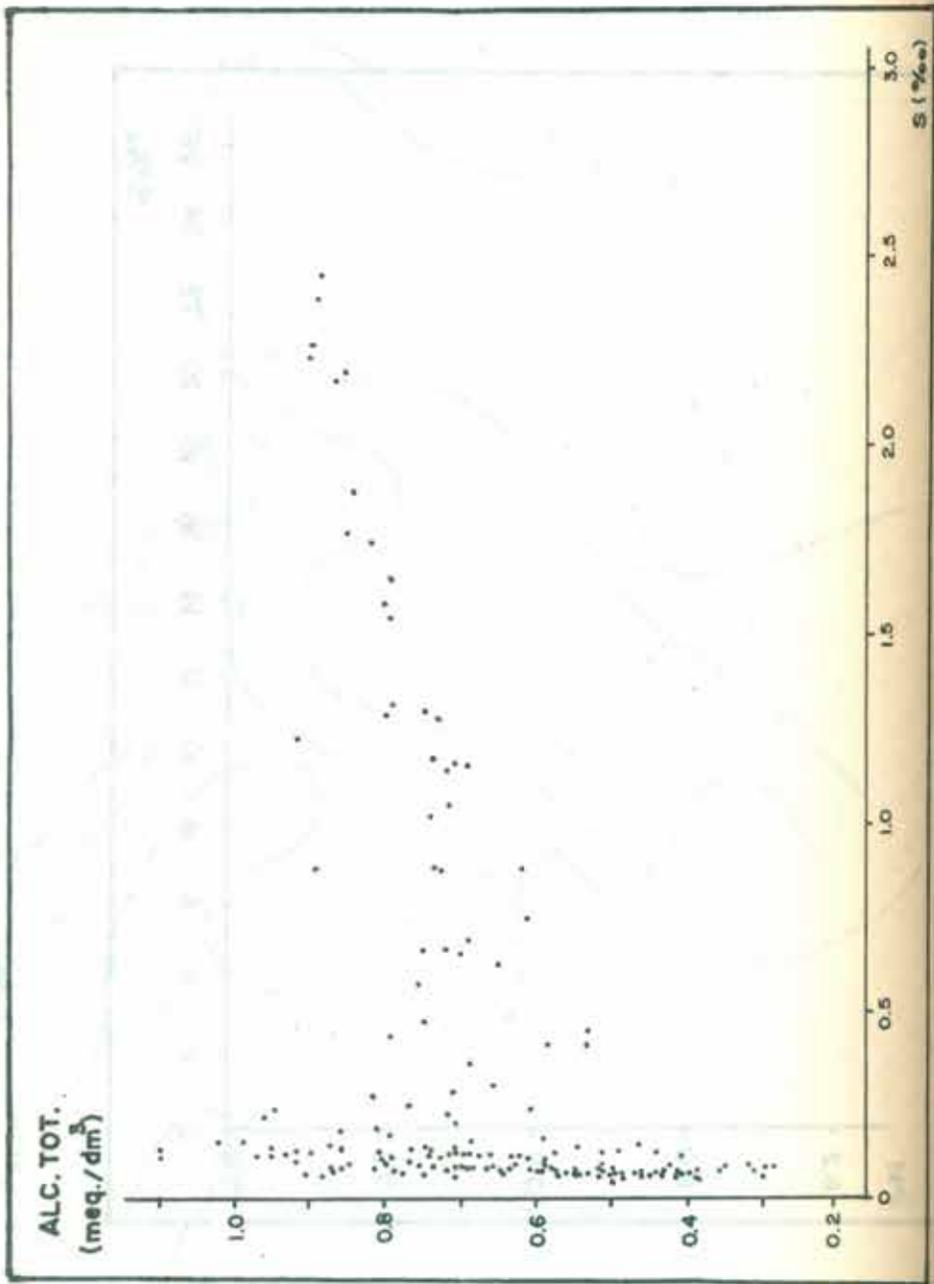
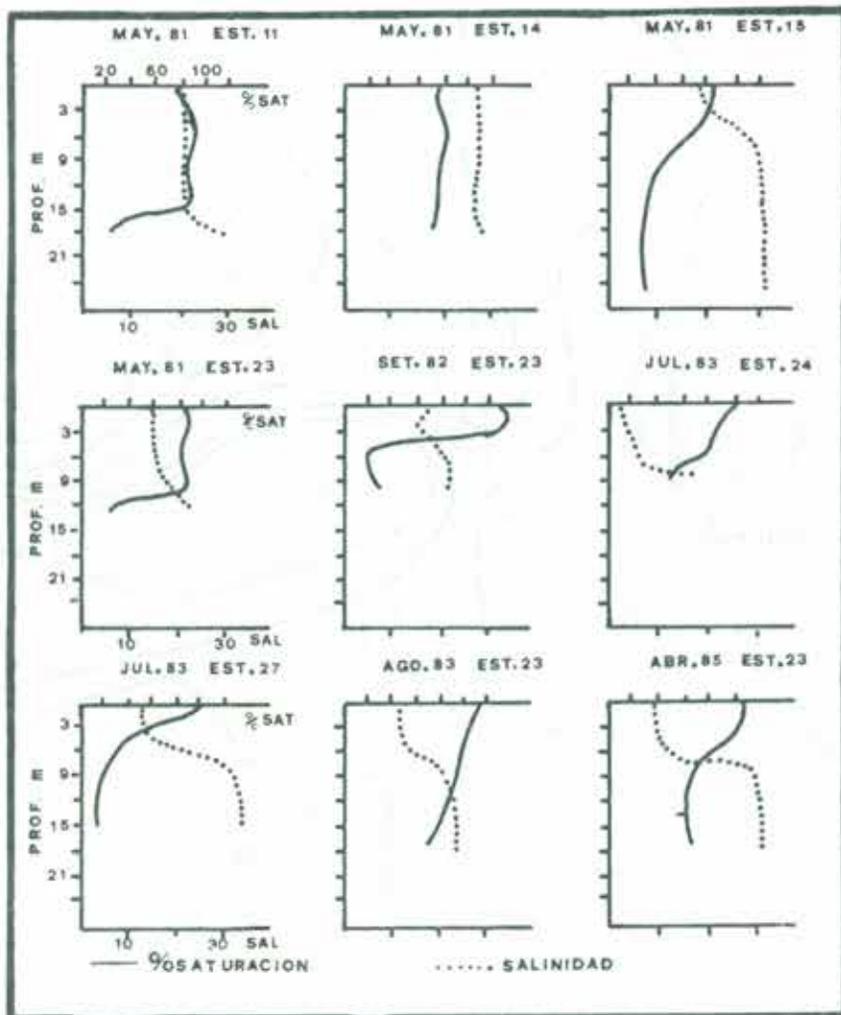
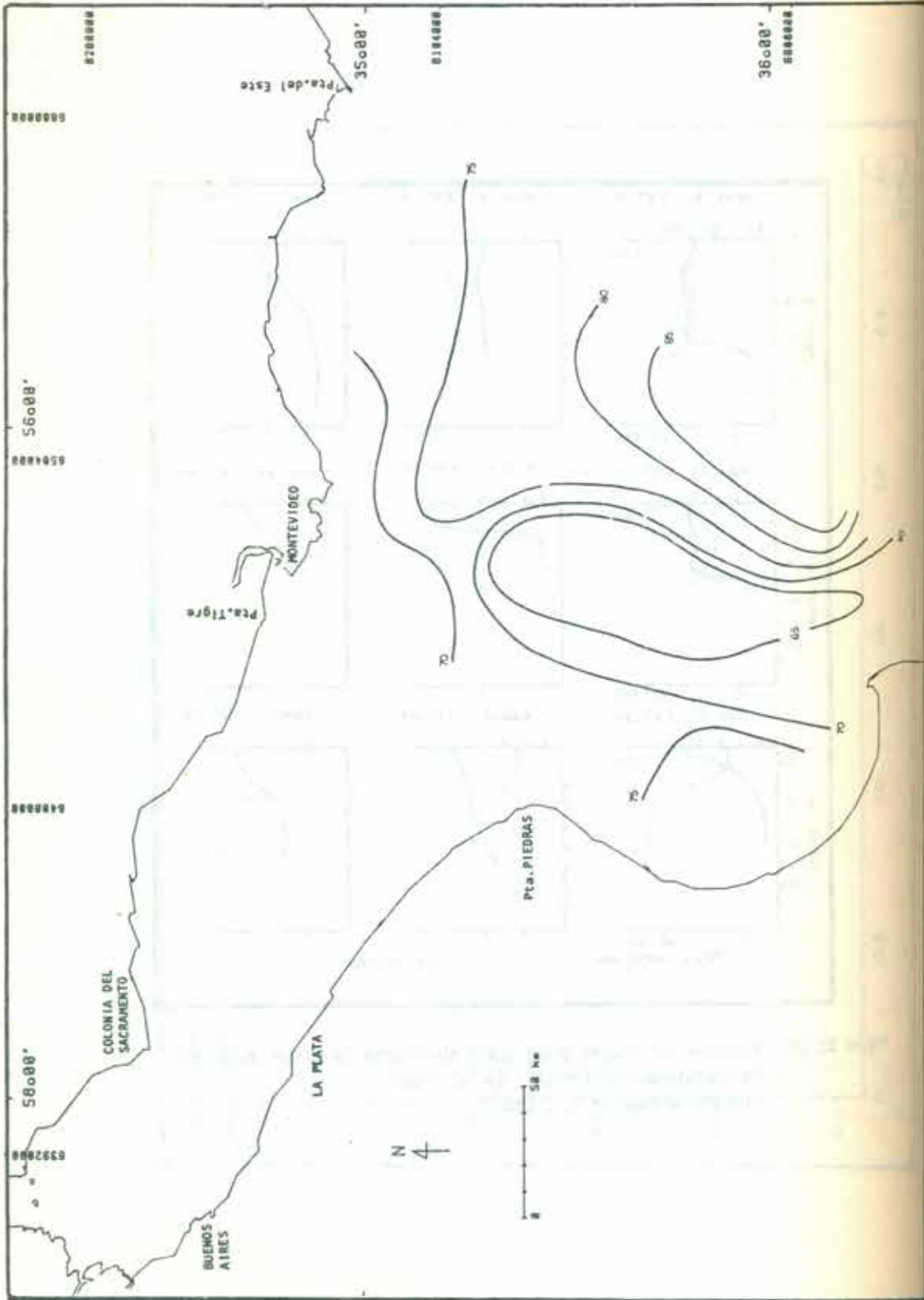


Figure 20 - Relationship of Sulfate and Total Alkalinity.

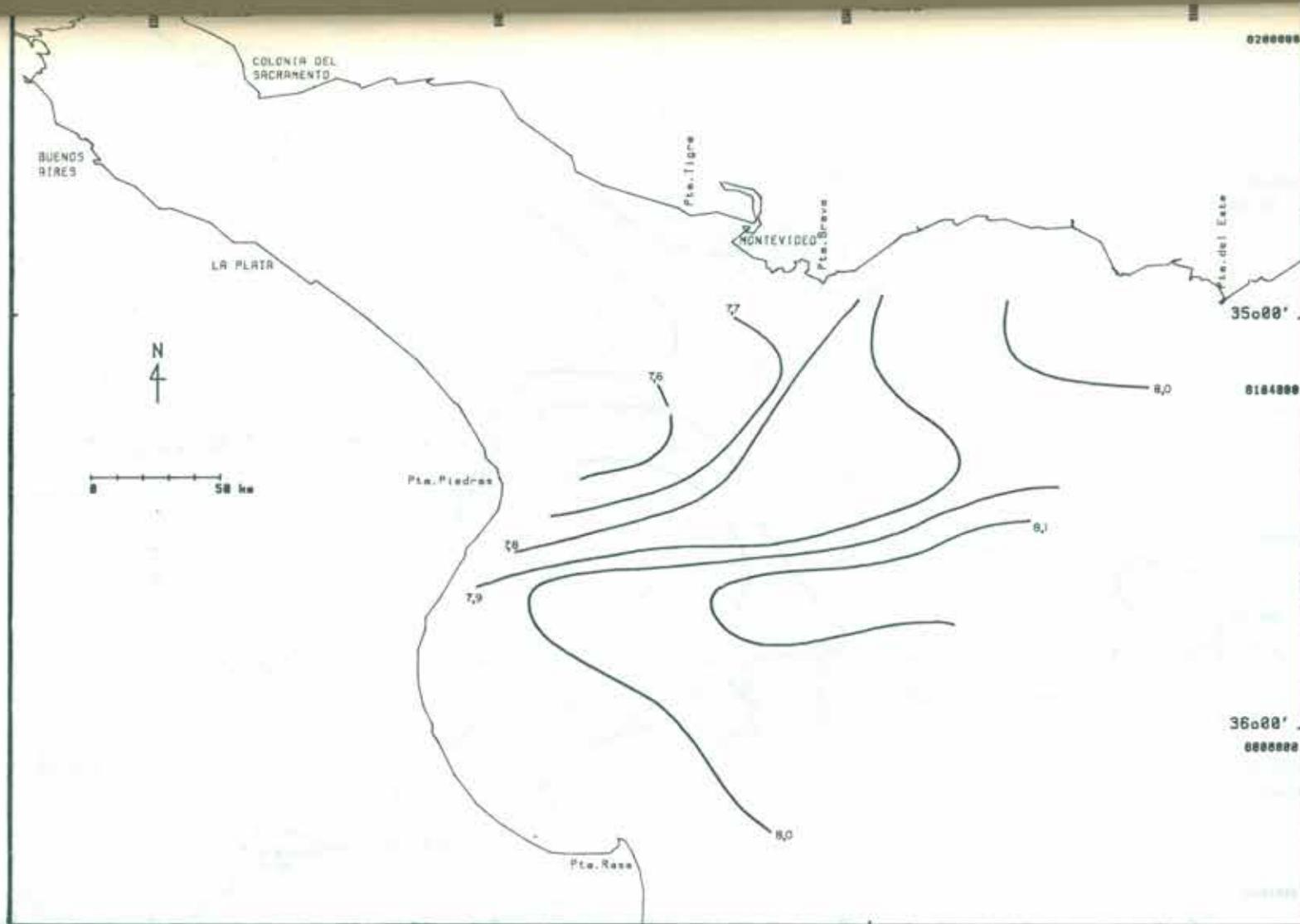


Figuro III. 22 - Perfiles verticales donde puede observarse la co-variación del Porcentaje de Saturación y la Salinidad.
 (Tomado de Nagy et al., 1987)

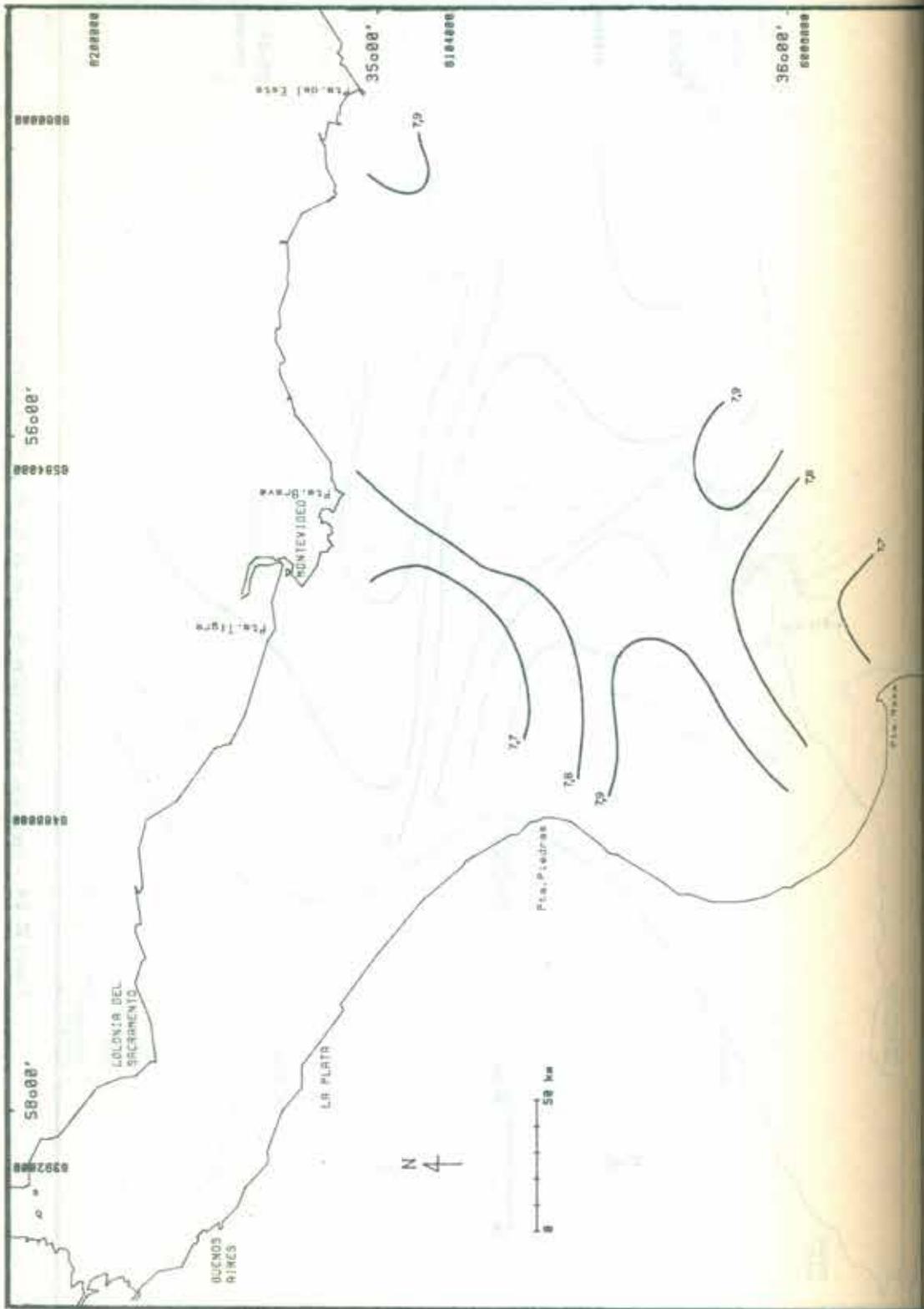


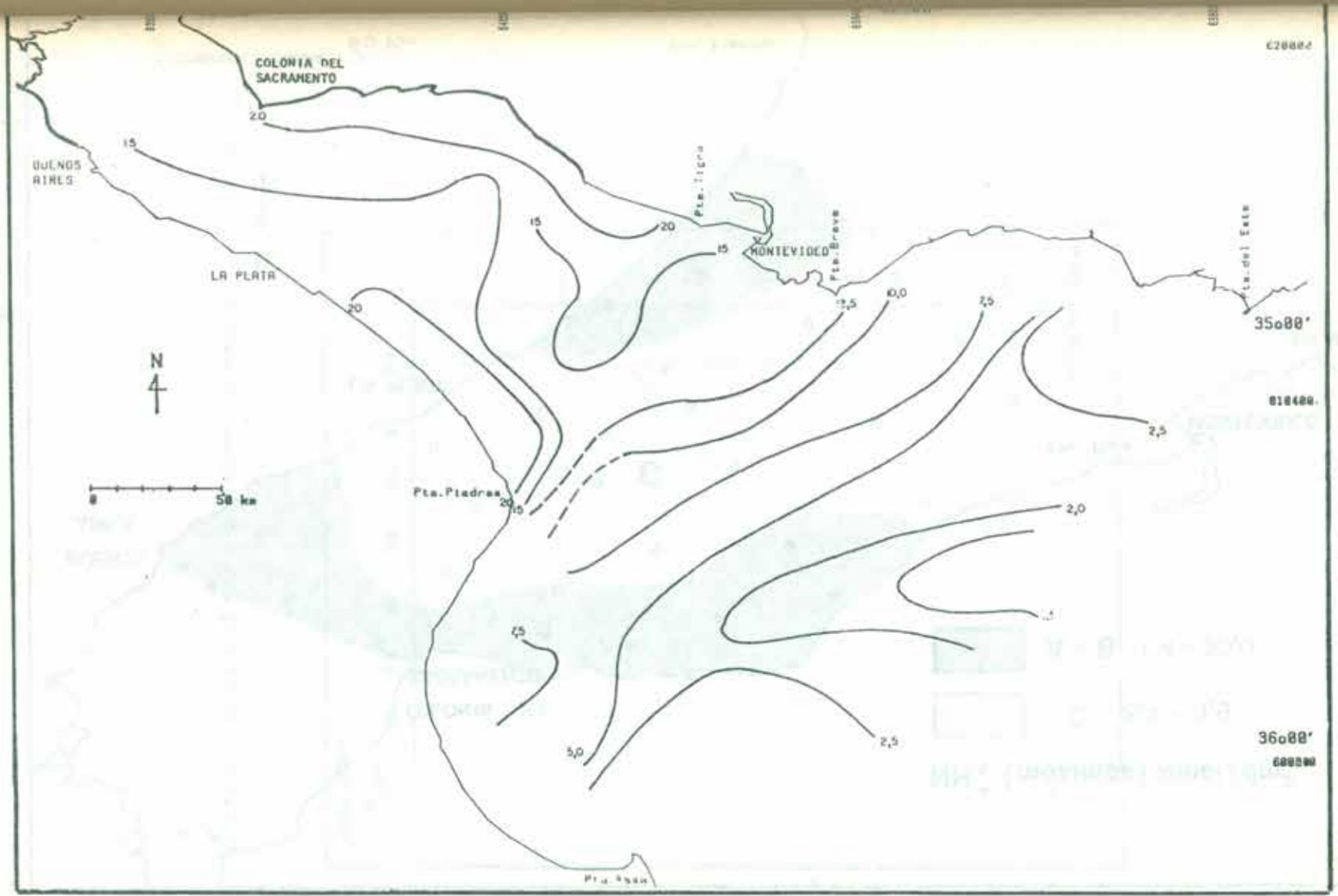
This map is a reproduction of the original map of the area shown, and is not to be used for any other purpose.

50,000'

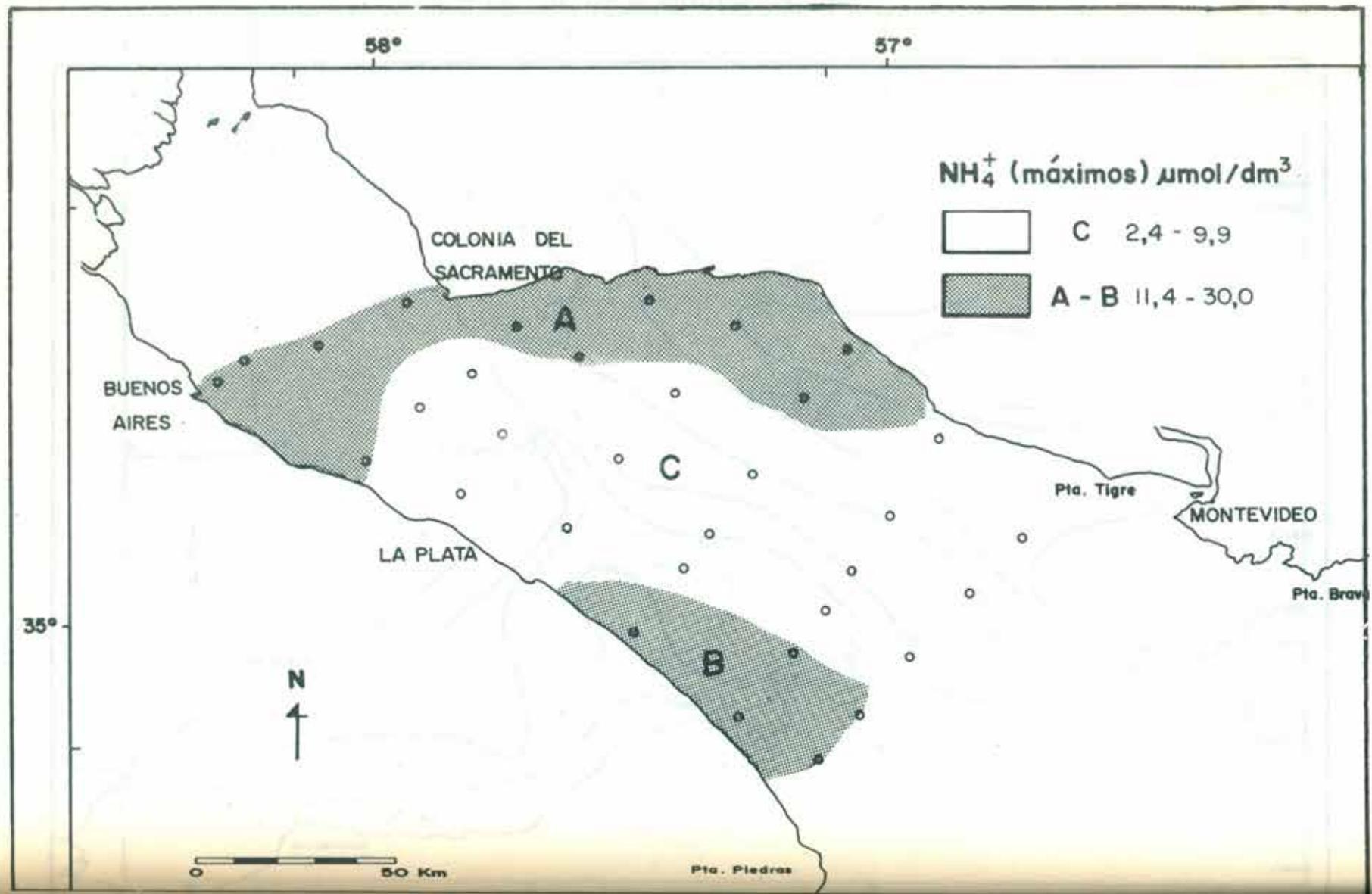


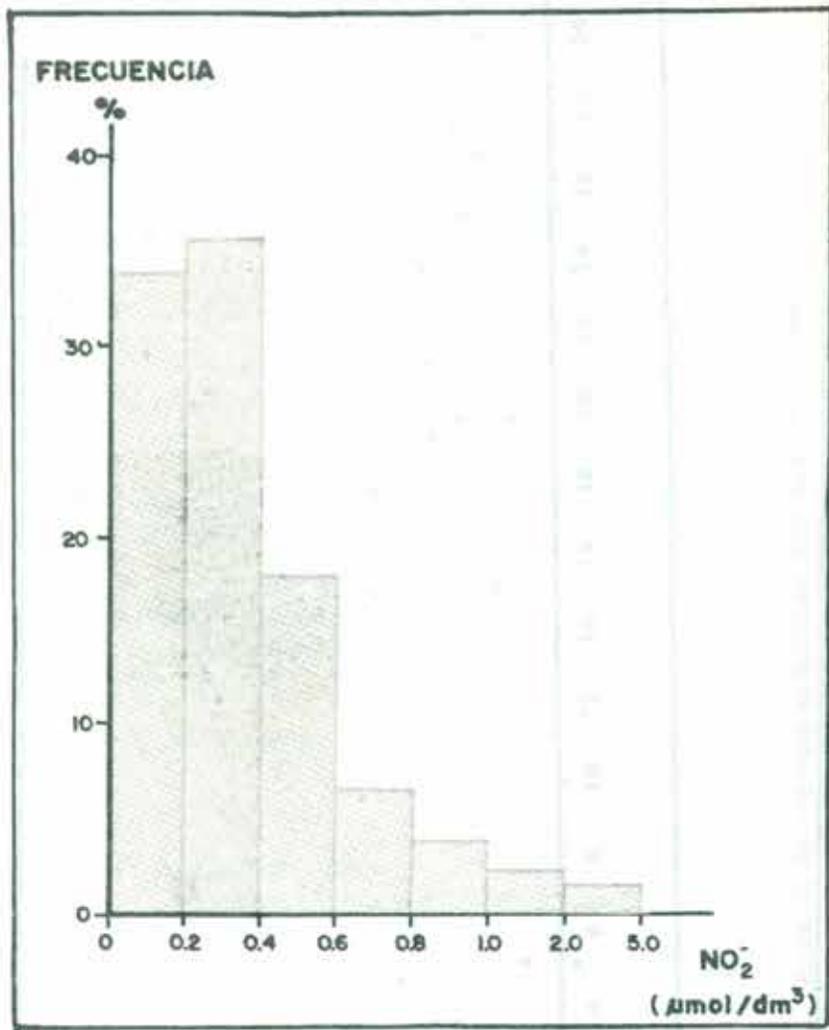
Figuro III.24 - Iso líneas superficiales de pH en el Río de la Plata Exterior.





Figuro III. 26 - Isolíneas de Nitratos en superficie.





Figuro III.28 - Histograma de frecuencias de Nitrito en el Río de la Plata Medio.

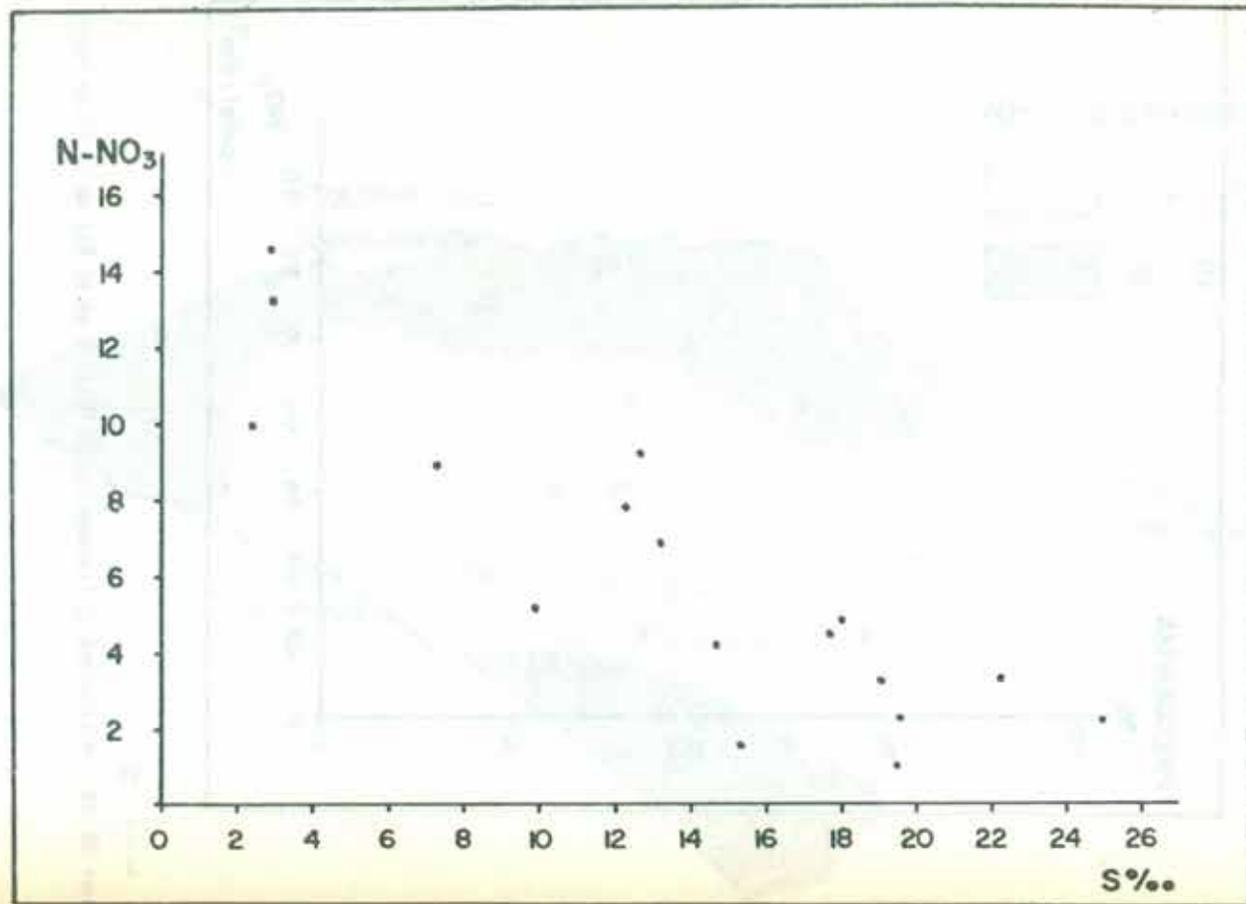


Figura III. 29 - Nitrato vs Salinidad en superficie en el Río de la Plata Exterior.

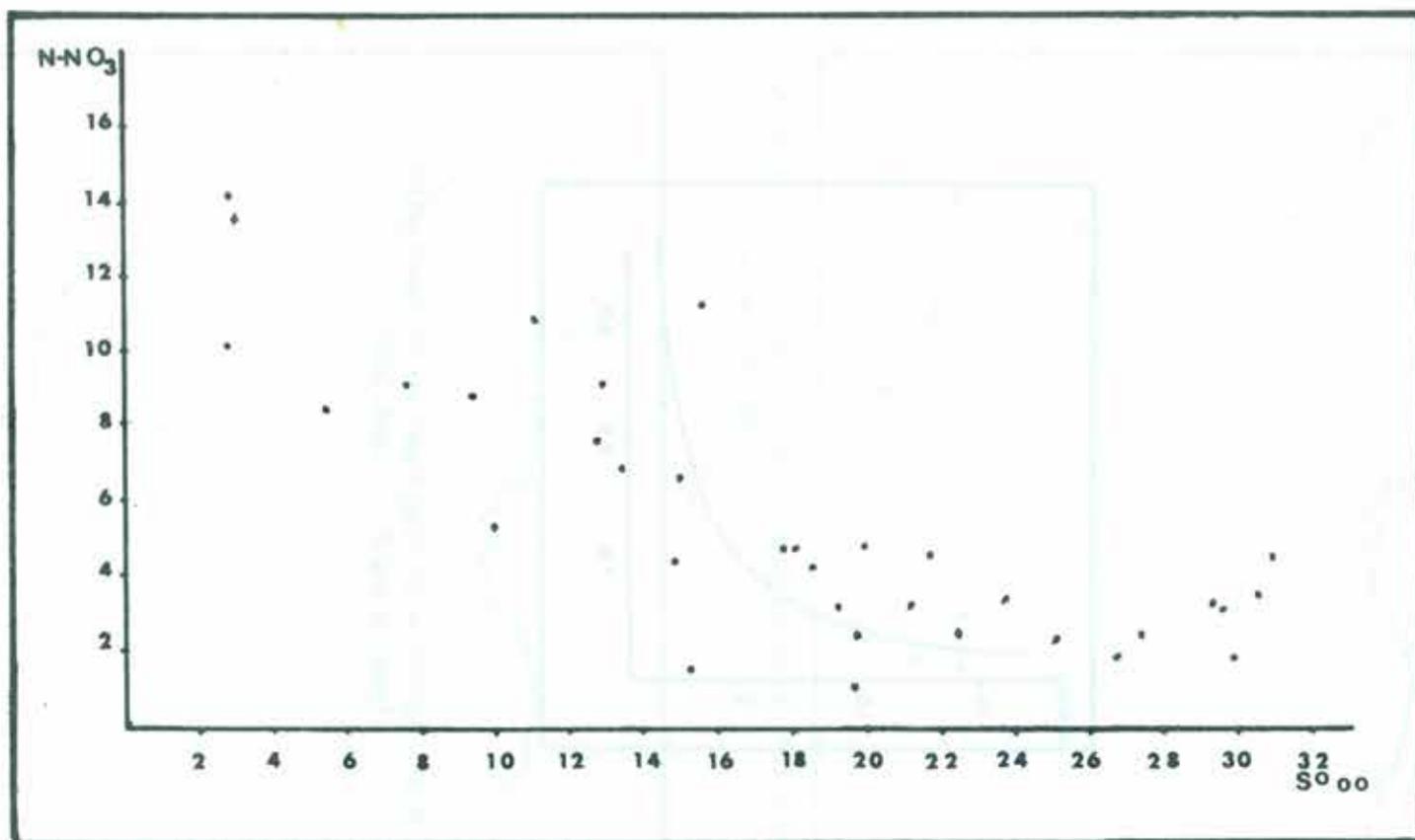
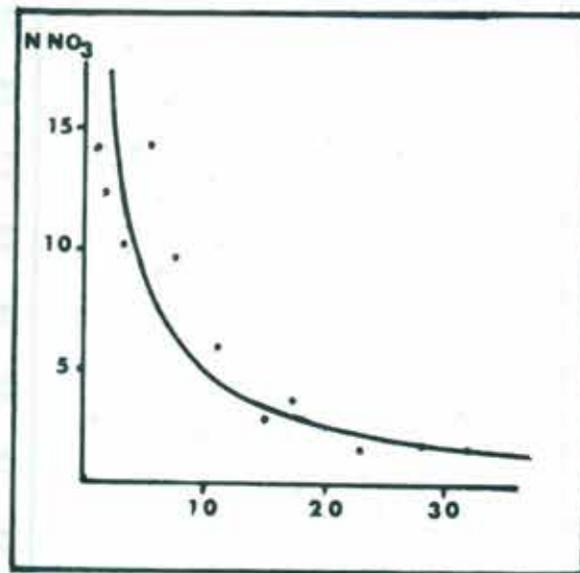
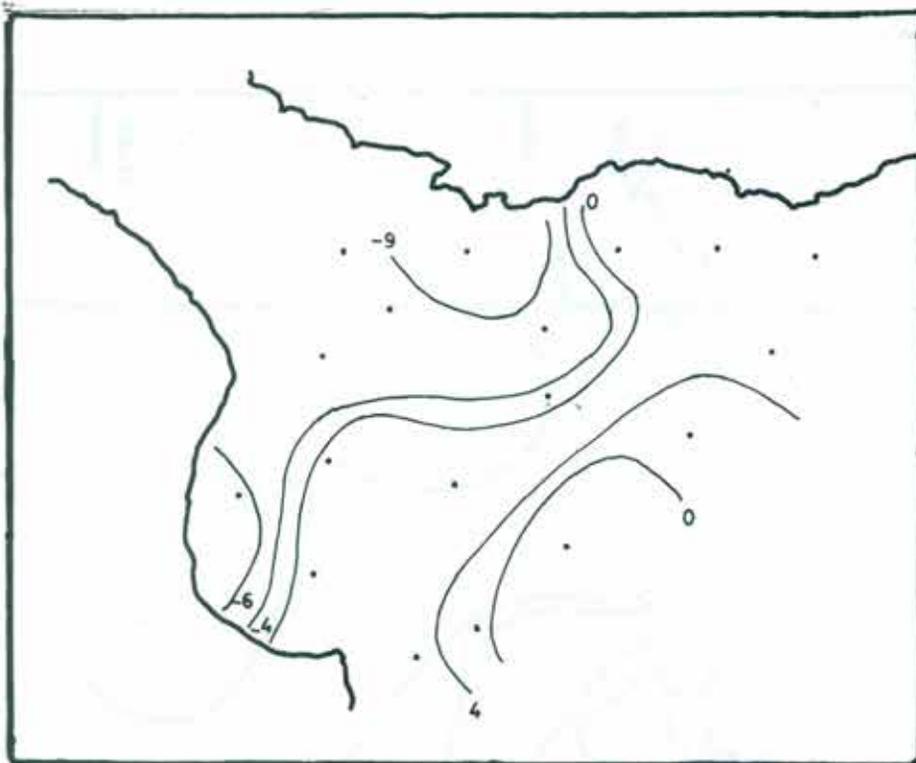


Figura III.30 - Nitrato vs Salinidad para superficie y fondo en el Río de la Plata Exterior.



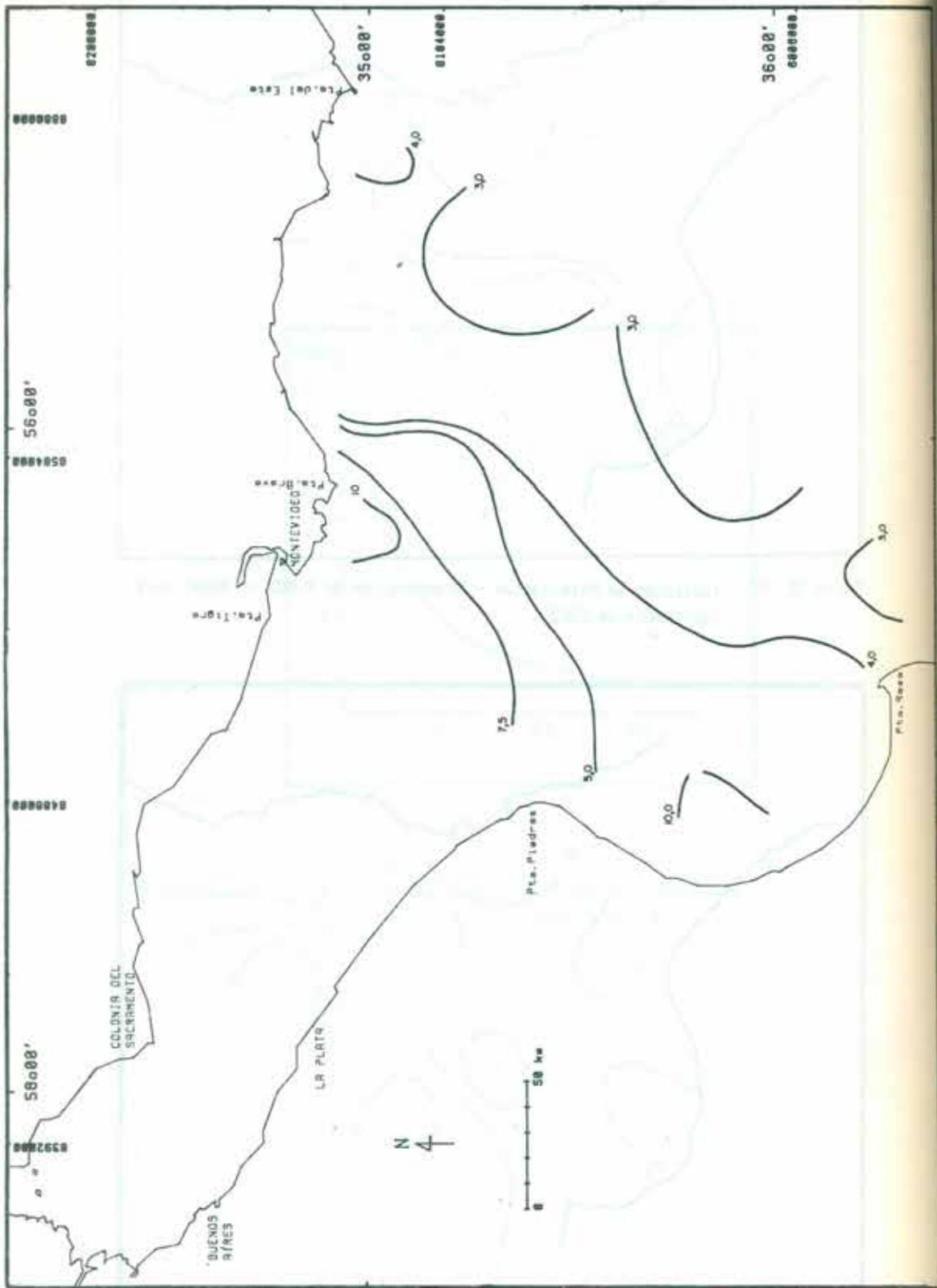
Figuro III. 31 - Nitrato vs Salinidad promediado por rangos salinos.
(Tomado de Nagy, G y J. Lopez, 1986)



Figuro III. 32 - Isolineas de Asimilacion - Regeneracion de N-NO3 en Superficie (Setiembre de 1982).

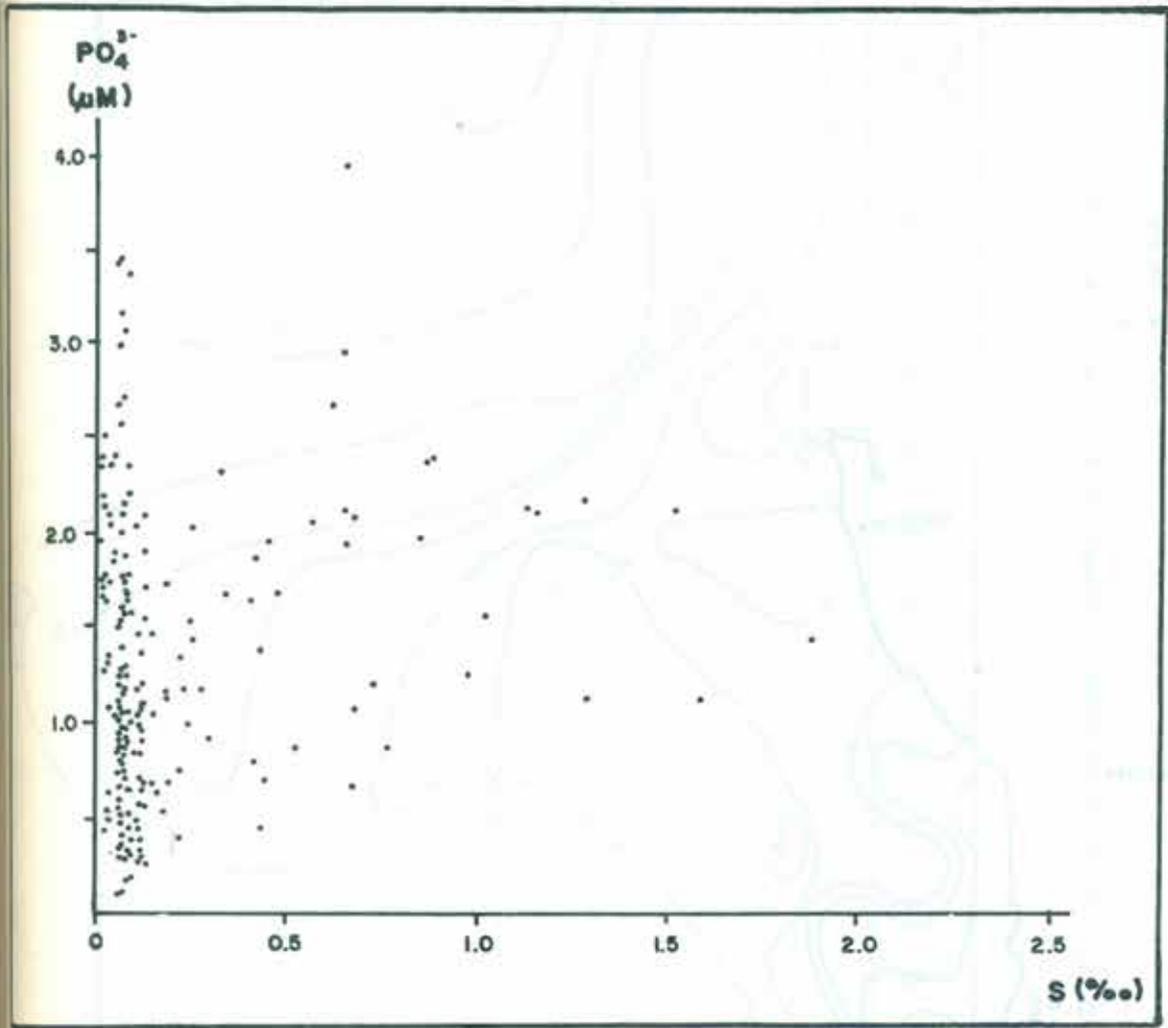


Figuro III. 33 - Isolineas de Asimilacion - Regeneracion de N-NO3 en Superficie (Julio 1982)

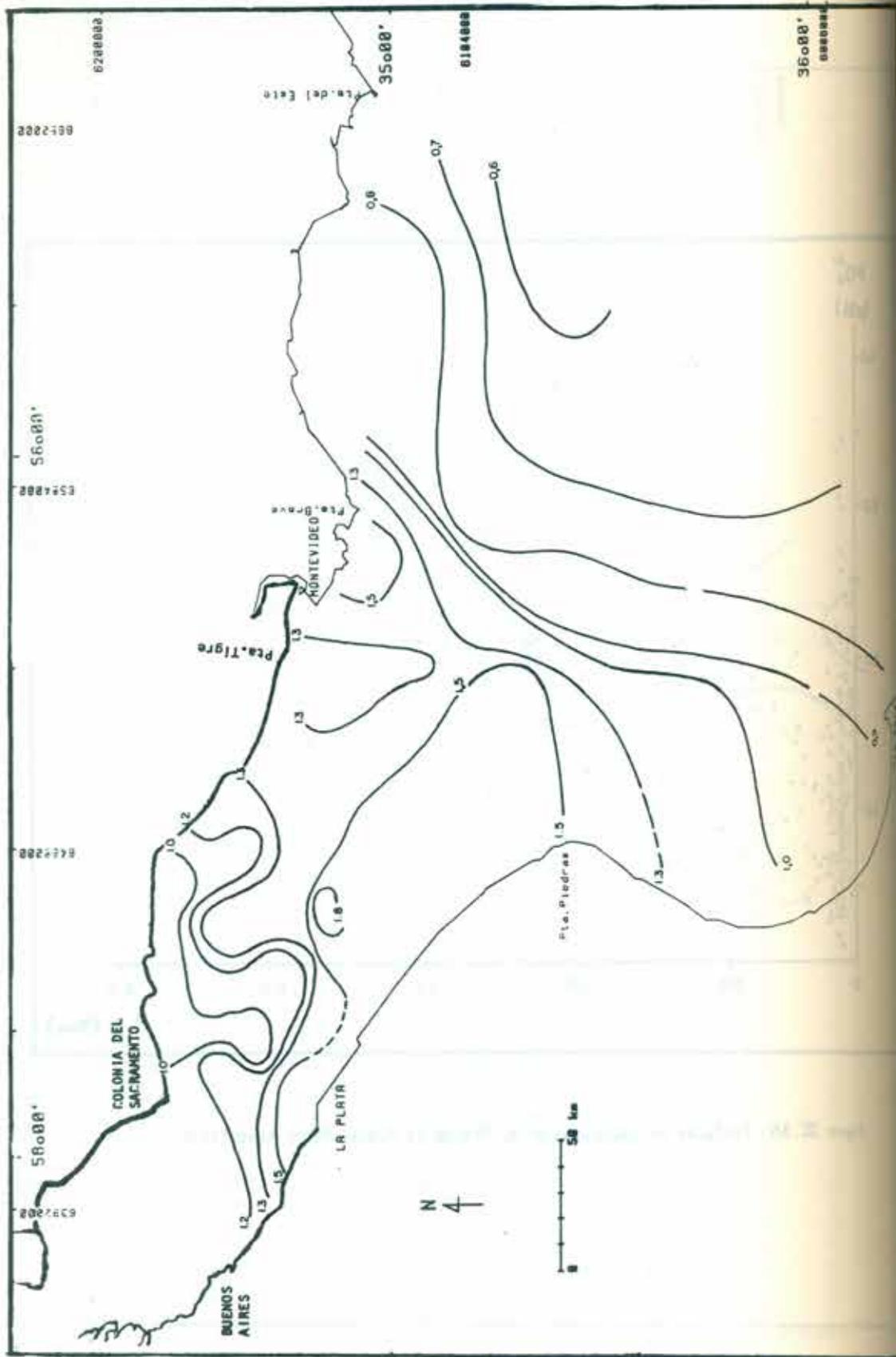


Proyecto 802-10-48 - Estudio de factibilidad de construcción de Ferrocarril en el R.L.C. del S.E. Uruguay.

Figuro III. 34 - Isolíneas de Nitratos de fondo en el Río de la Plata Exterior.



Figuro III.35 - Fosfatos vs Salinidad en el Río de la Plata Medio superficie.



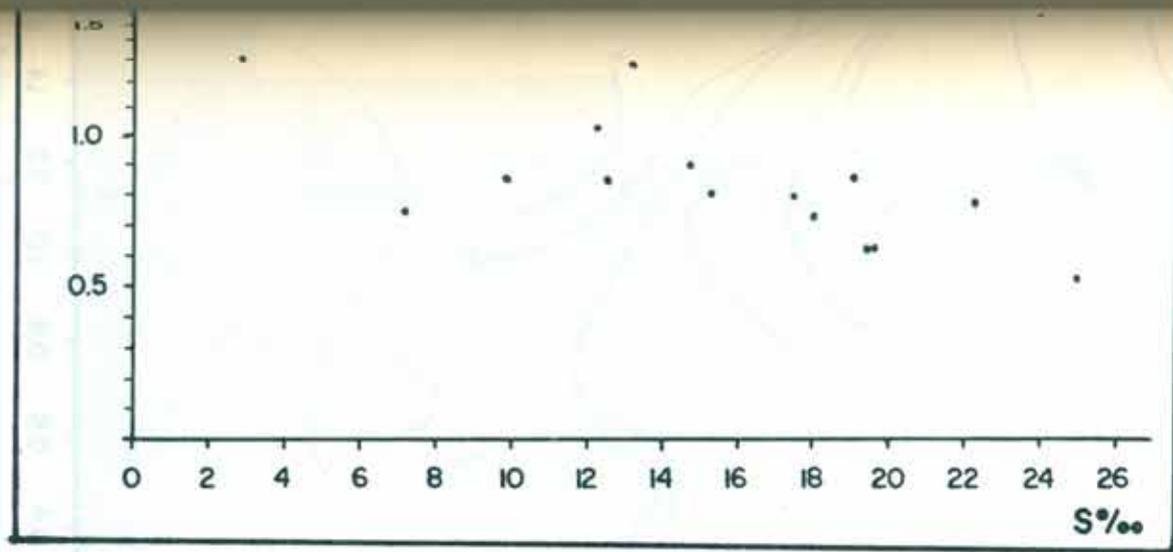
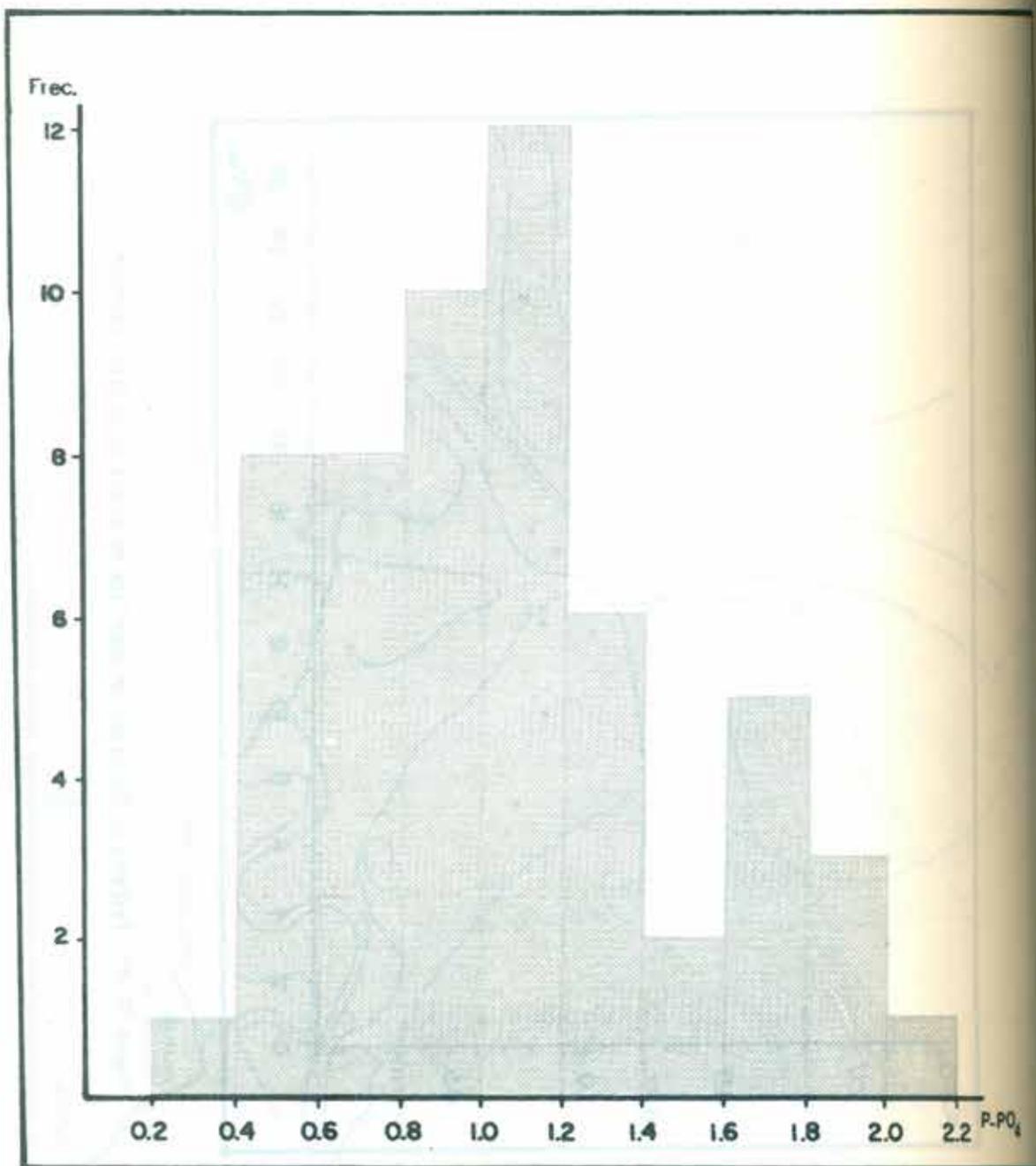
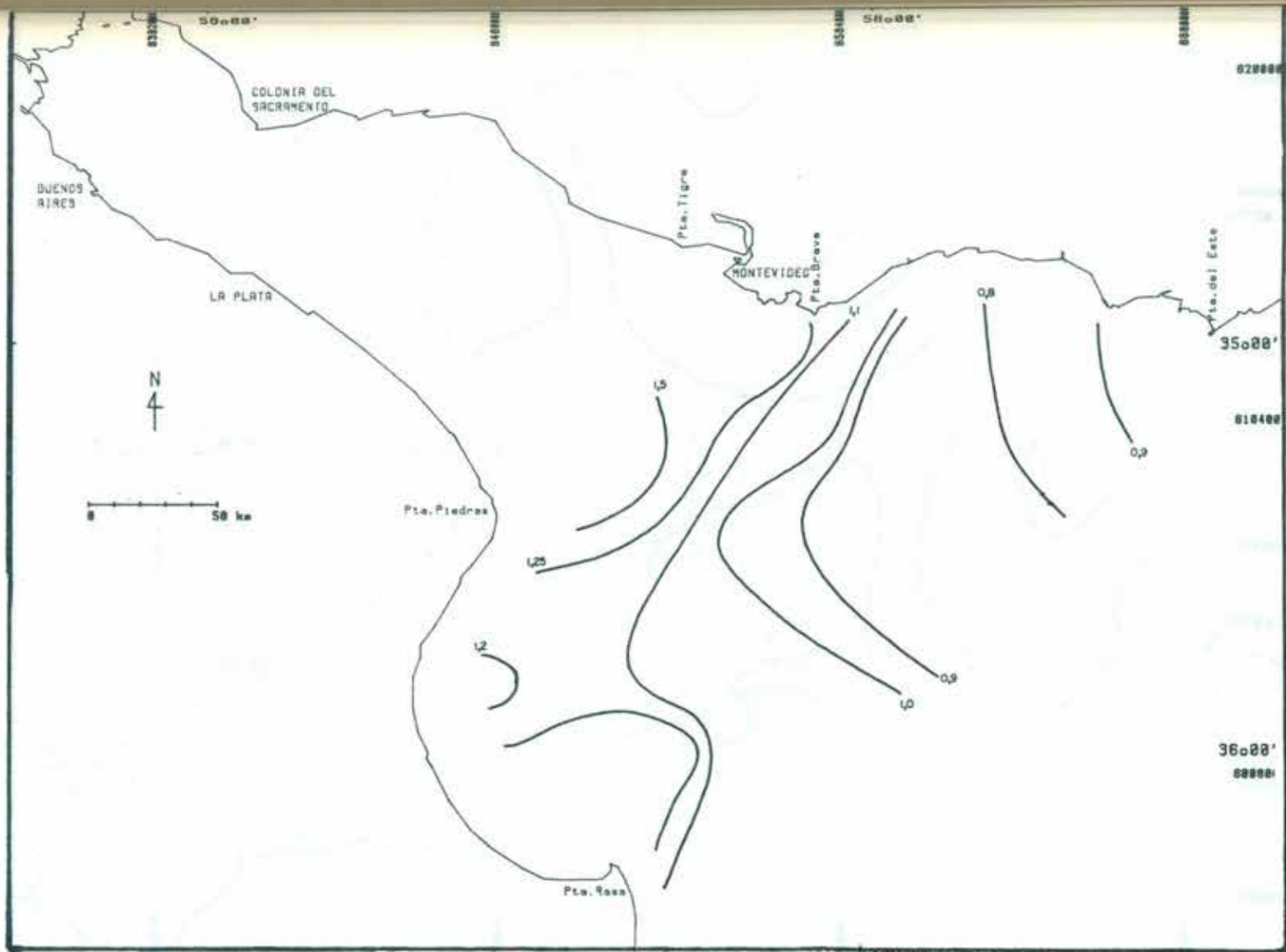


Figura III.37 - Fosfatos vs Salinidad en superficie en el Río de la Plata Exterior.



Figuro III. 38 - Histograma de concentraciones de Fosfato en el Río de la Plata Exterior.



Figuro III. 39 - Isolíneas de Fosfato en fondo para el Río de la Plata Exterior.

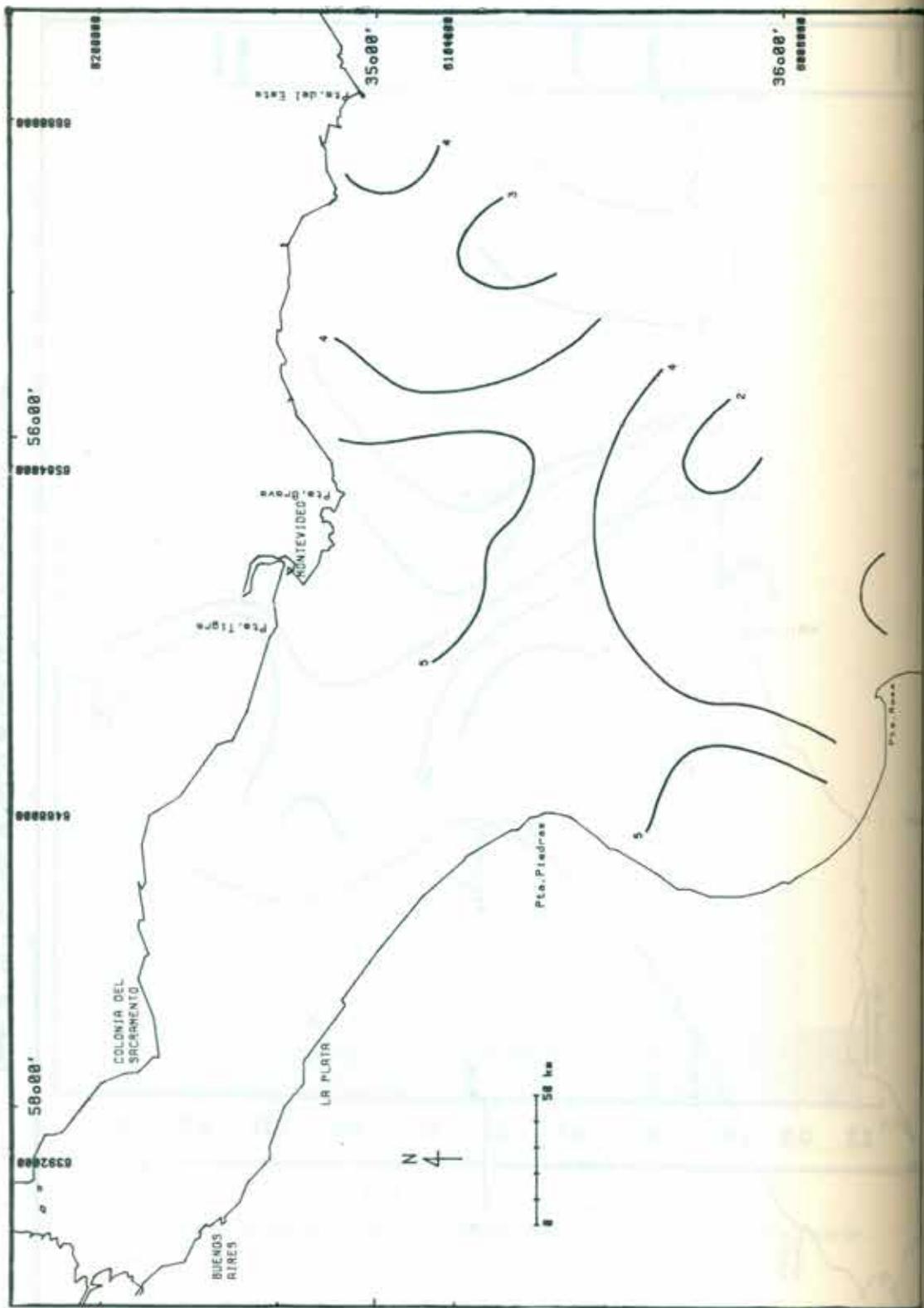


Figura III. 40 - Isolíneas de relación N/P en superficie para el Río de la Plata Exterior.

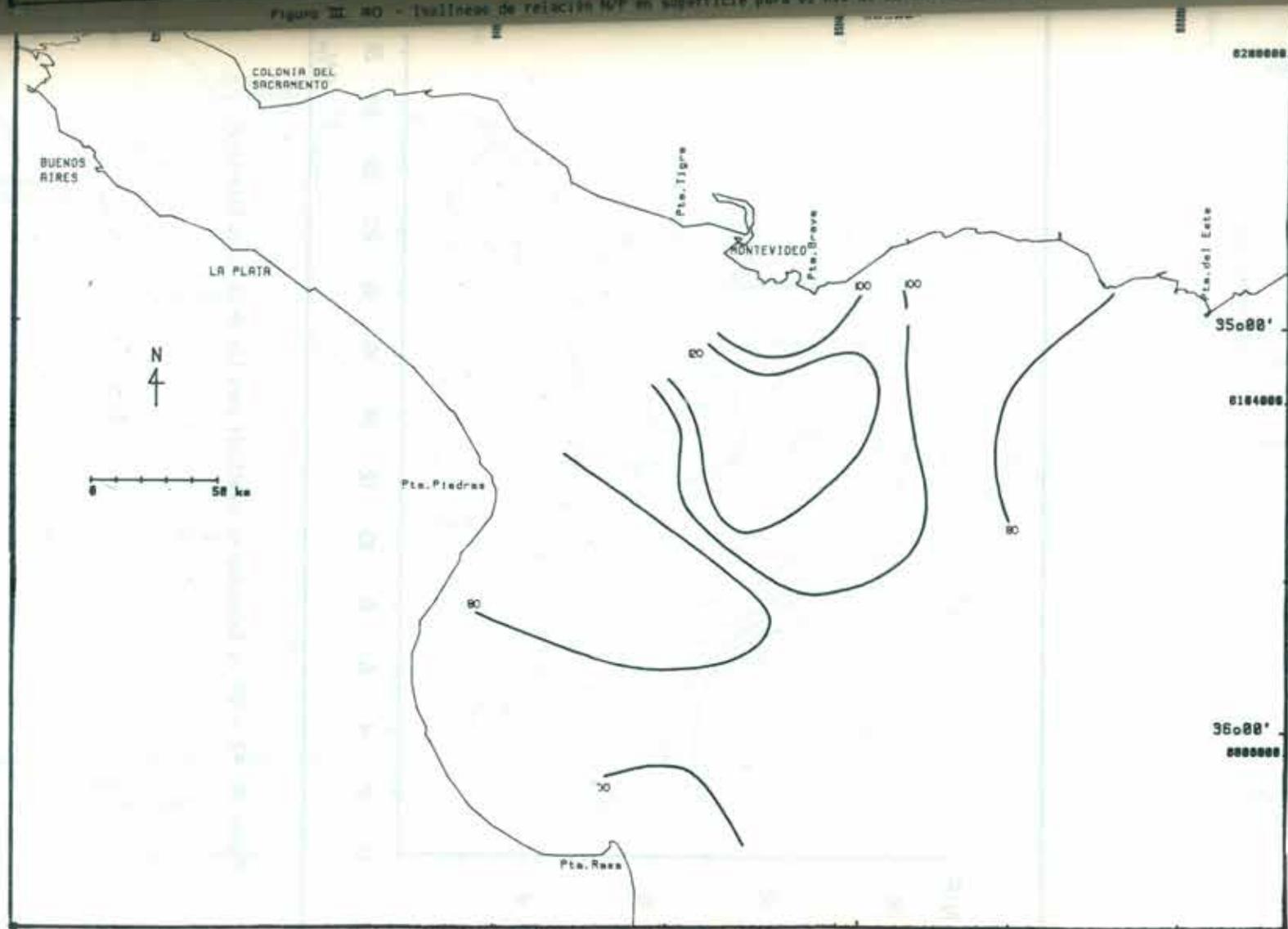
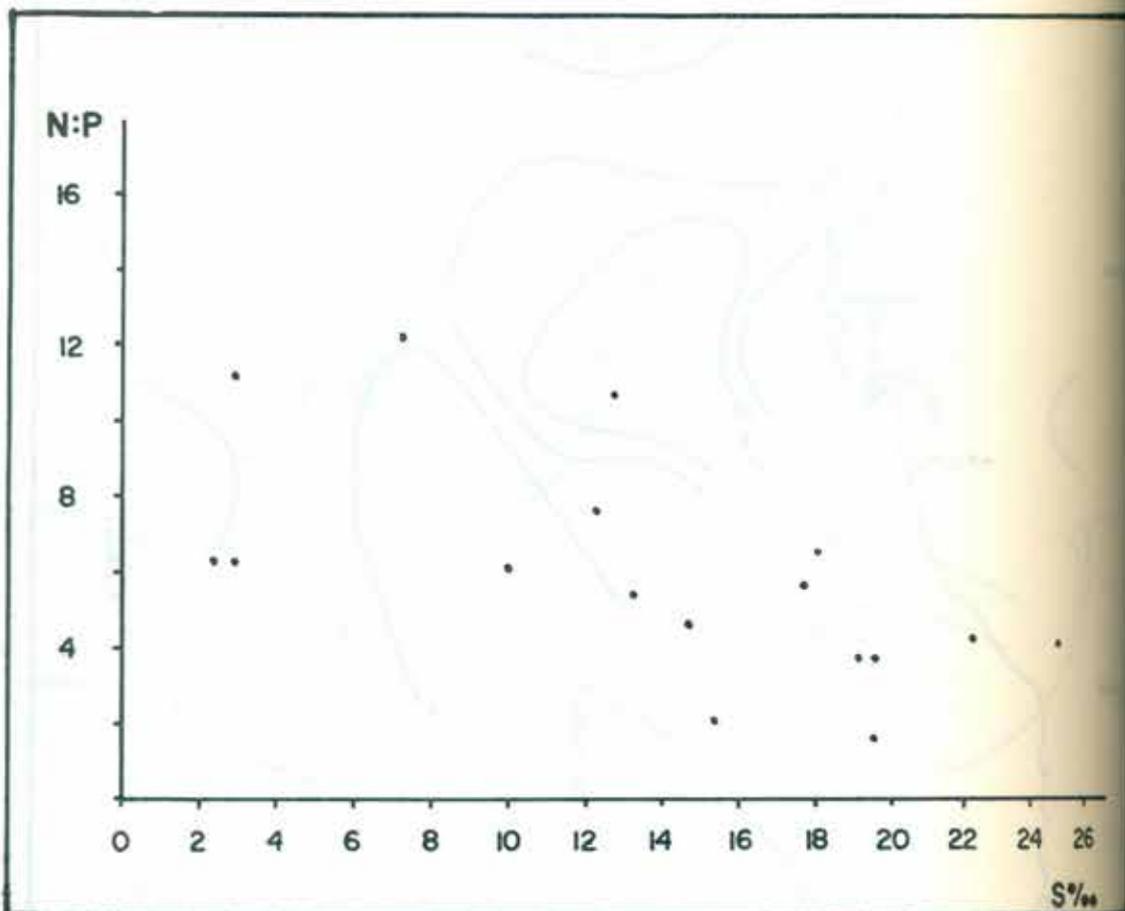


Figura III. 41 - Isolíneas de relación Si/P en superficie para Río de la Plata Exterior.



Figuro III.42 - N/P vs Salinidad en superficie para Río de la Plata Exterior.

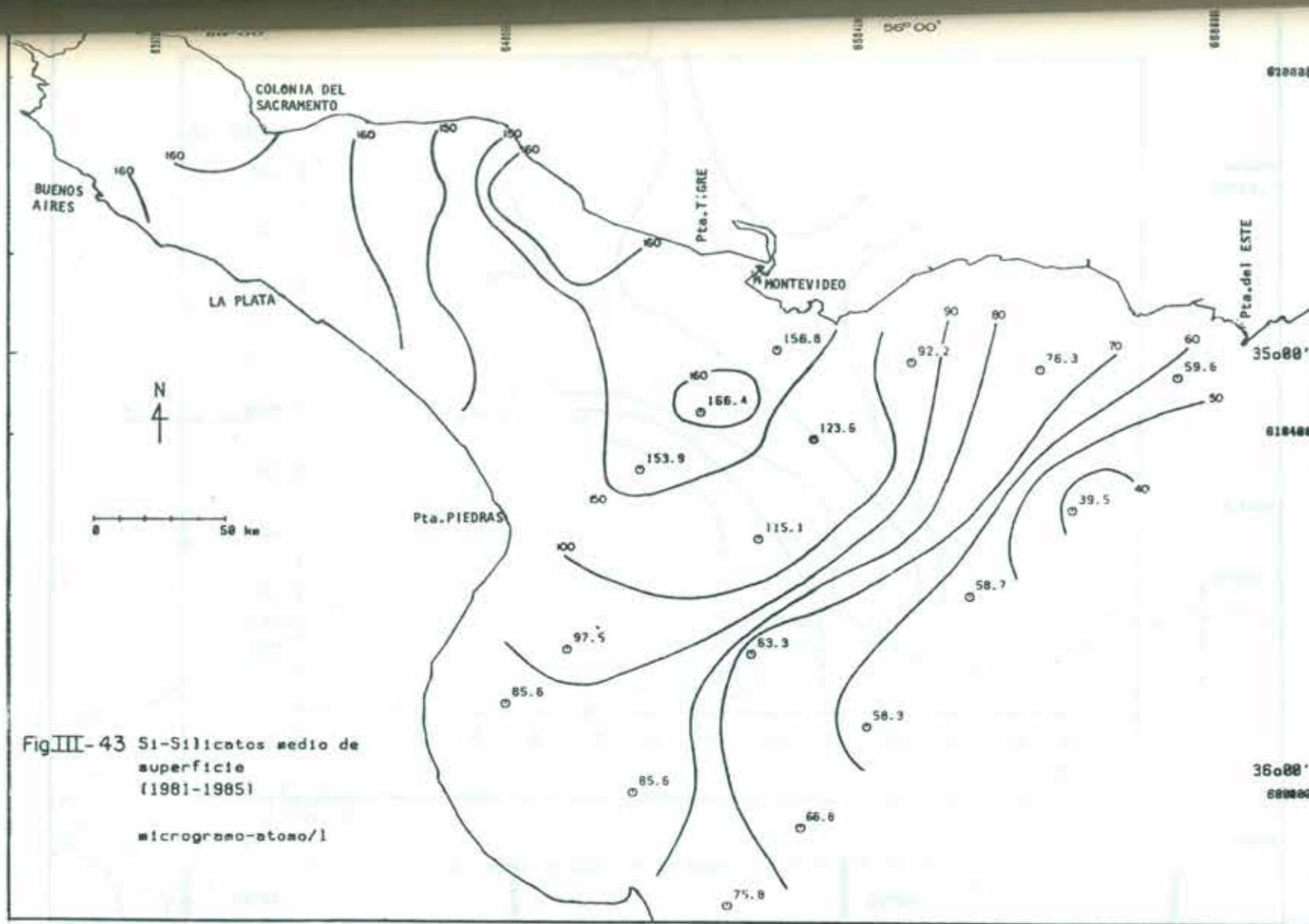
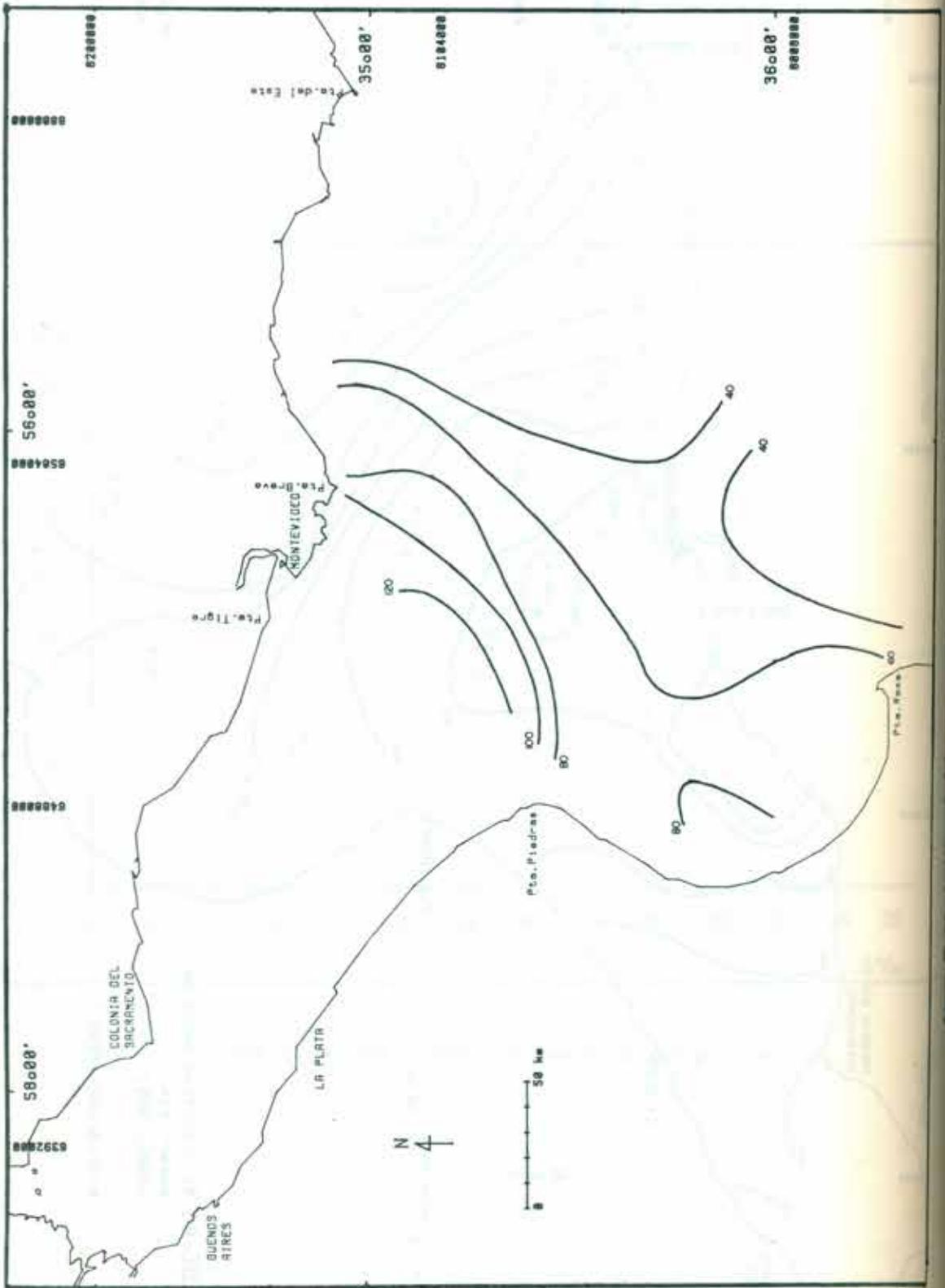
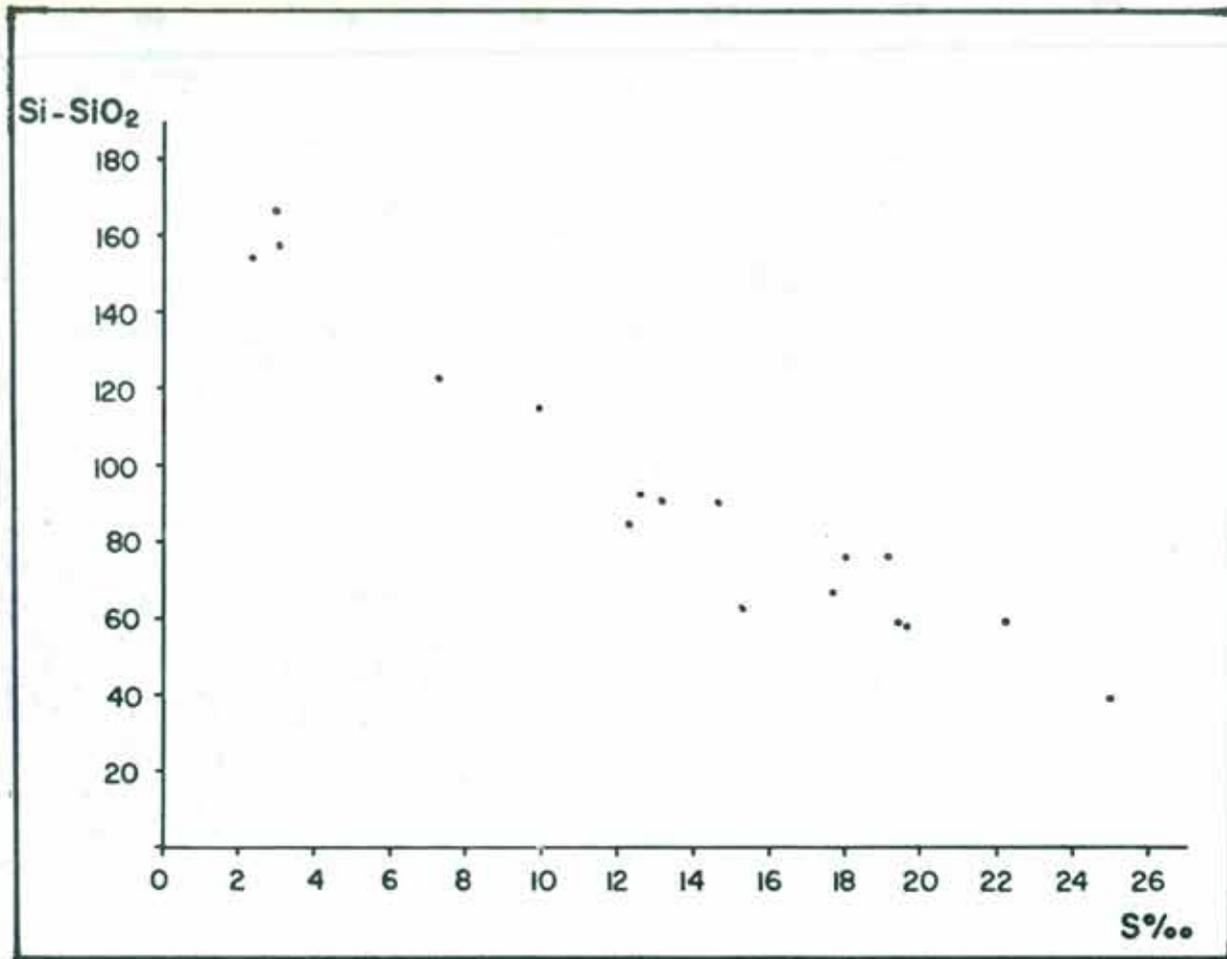


Fig. III-43 Si-Silicatos medio de superficie (1981-1985)
microgramo-atomo/l

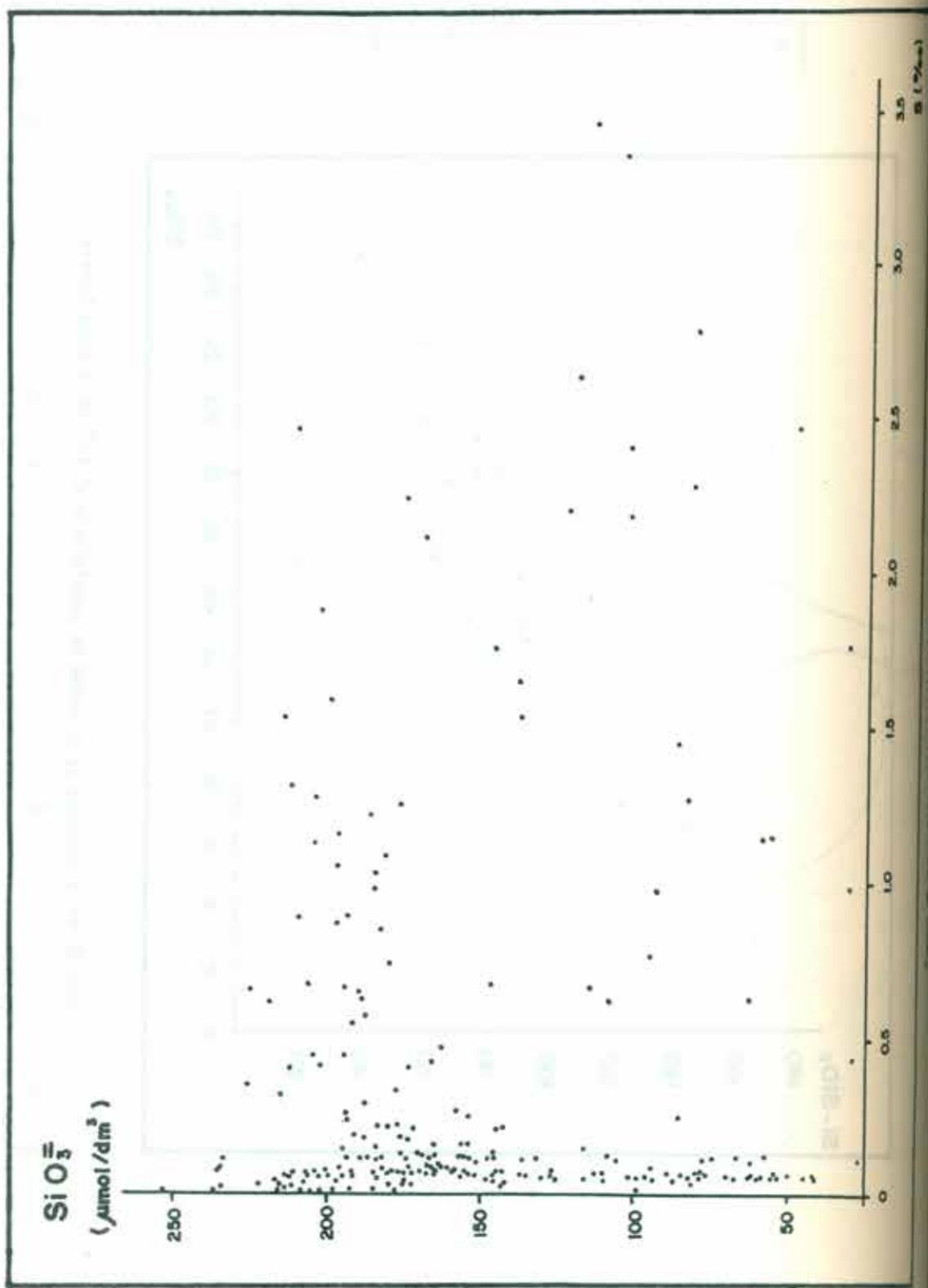


Mapa topográfico de Buenos Aires para el año 1940. Escala 1:50,000.

Figuro III.44 Isolineas de Silicatos para fondo en el Río de la Plata Exterior.



Figuro III.45 - Silicatos vs Salinidad en superficie en el Río de la Plata Exterior.



Figuro III.46 - Silicatos vs Salinidad en el Río de la Plata Medio.

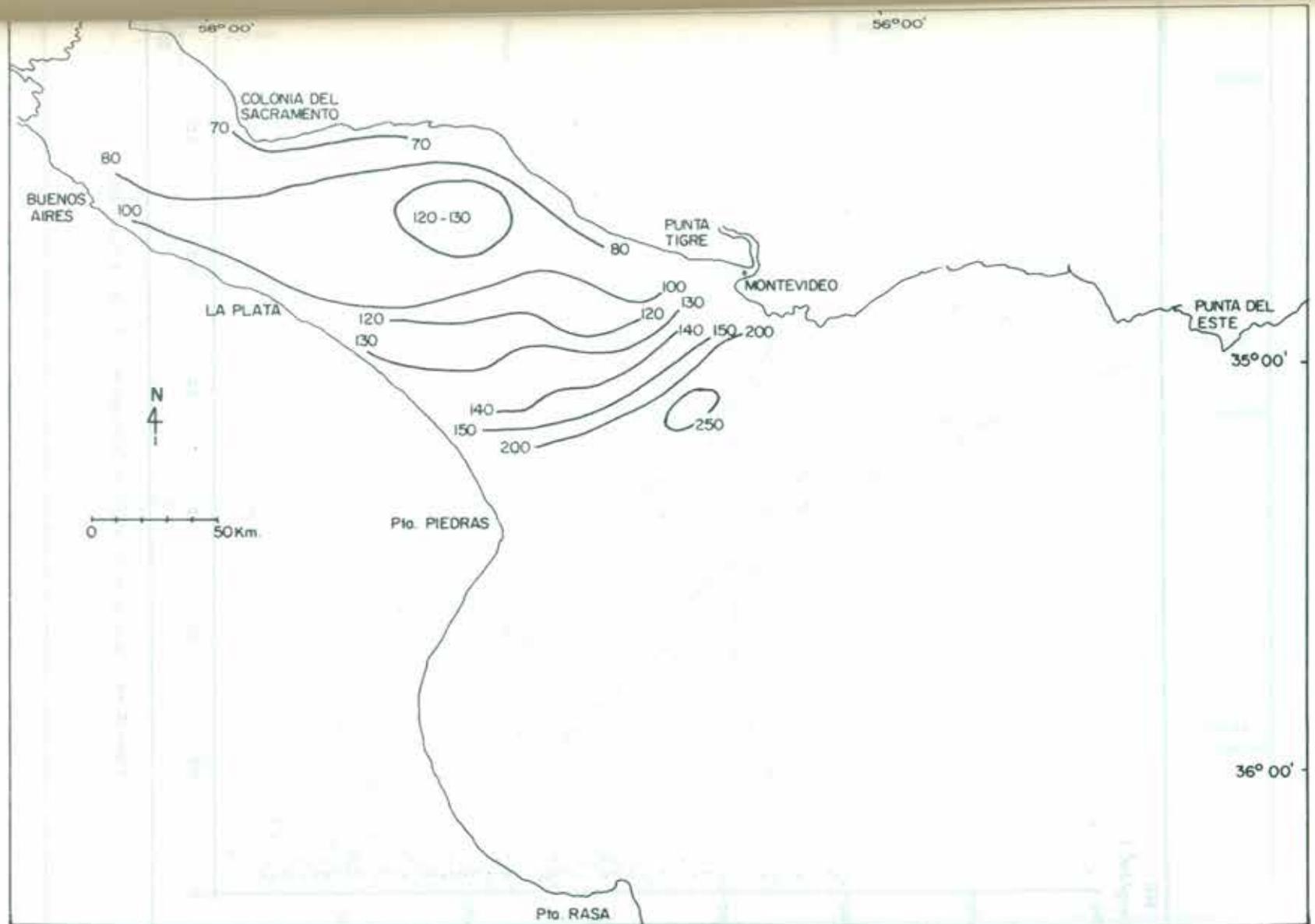
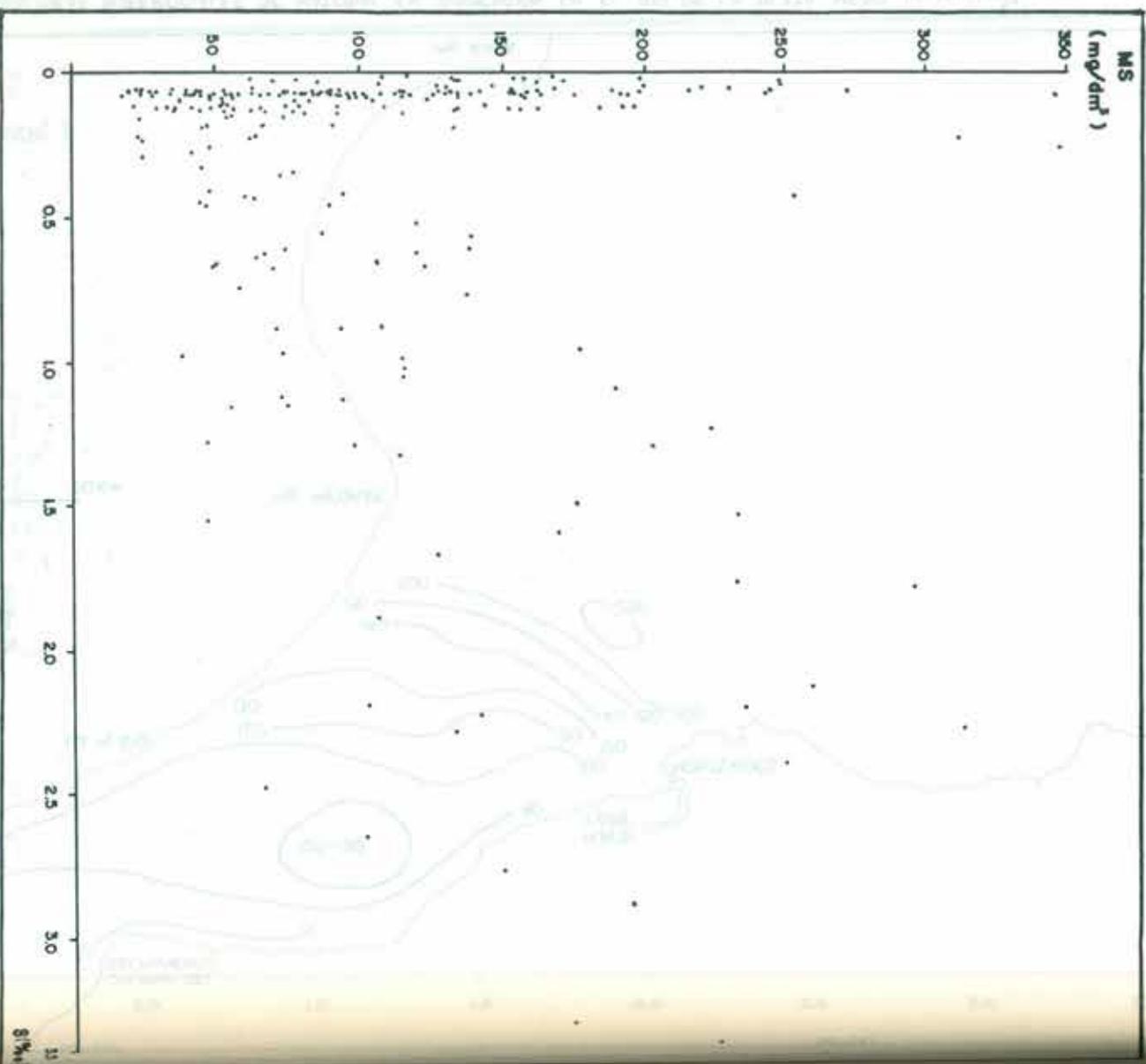
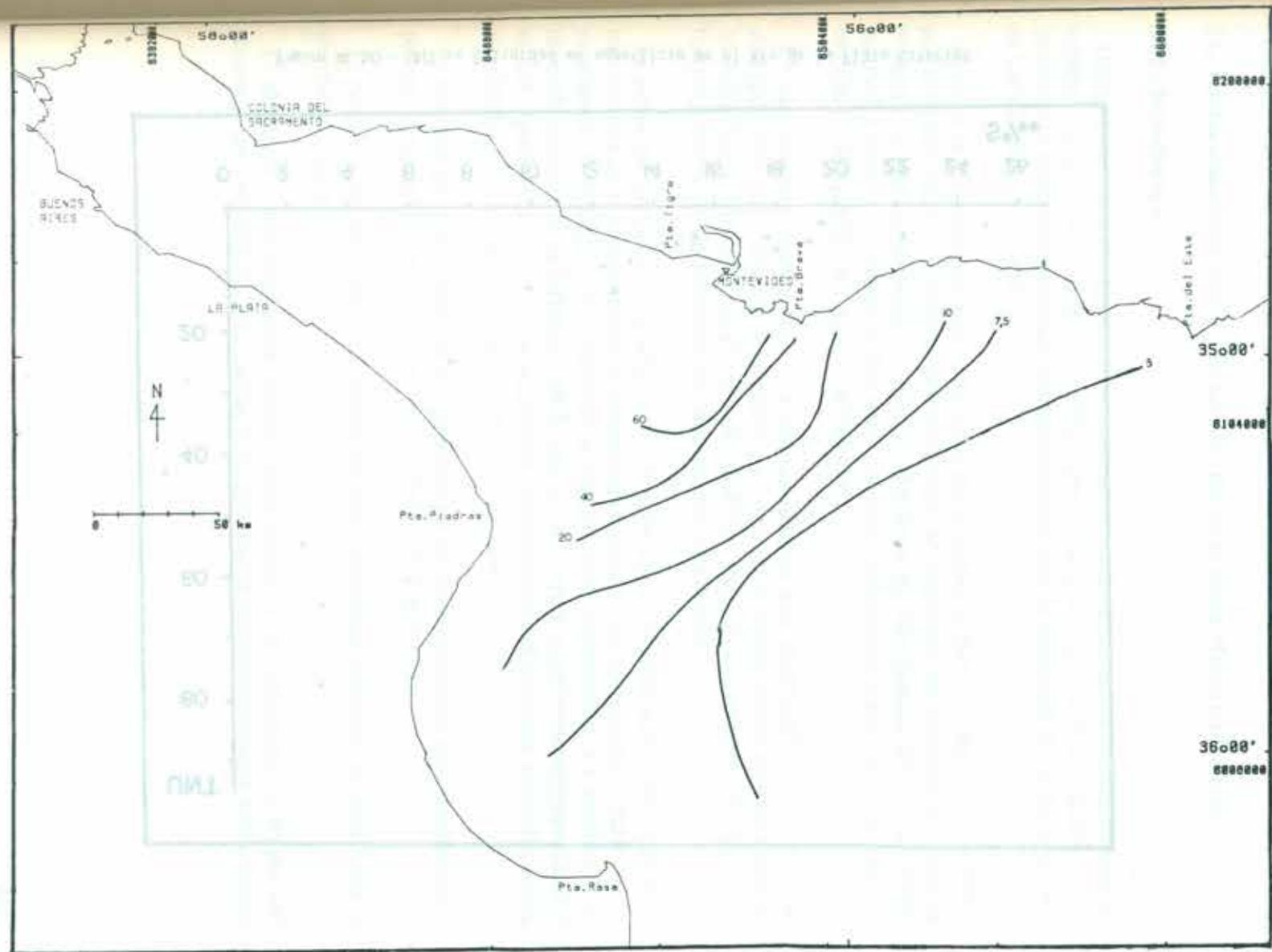


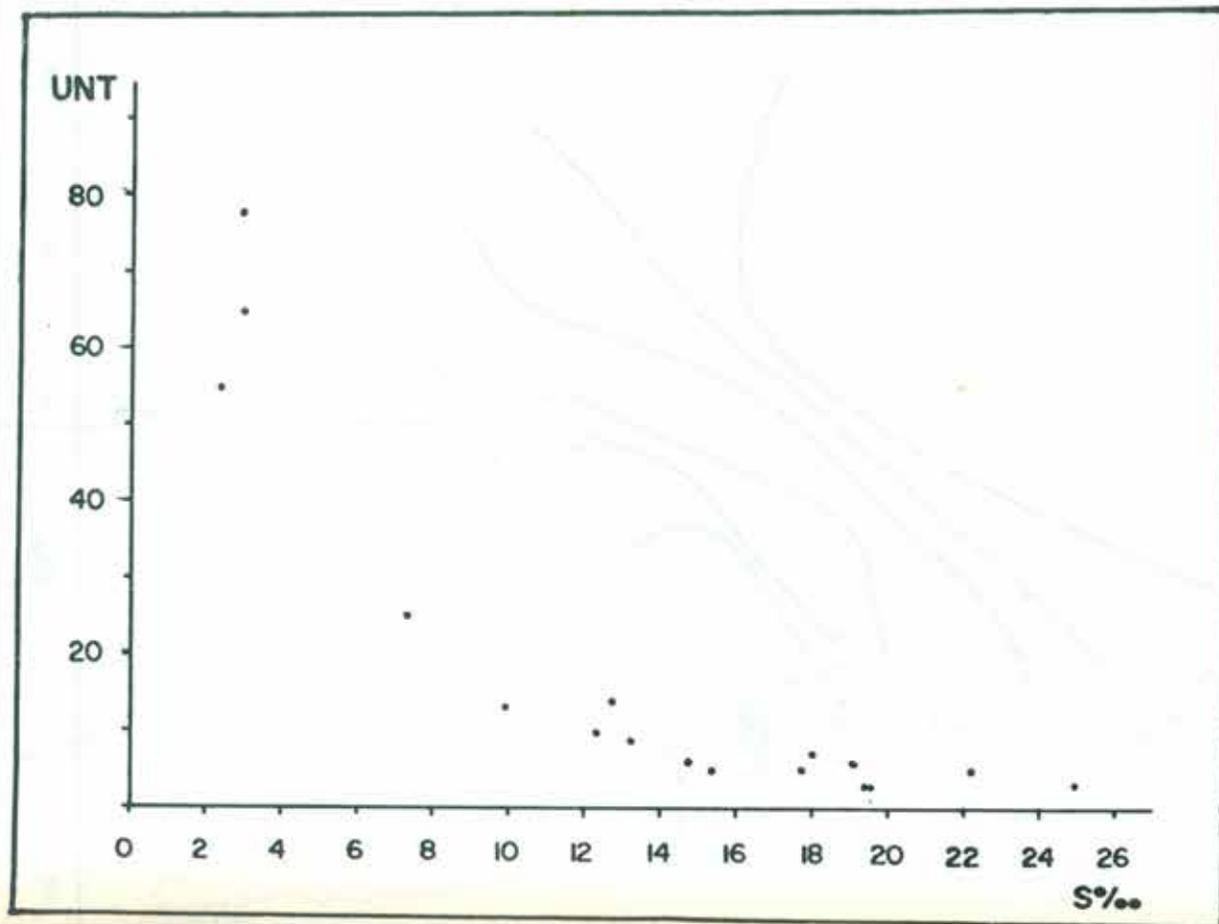
FIG III 47 - ISOLÍNEAS SUPERFICIALES DE MATERIAL EN SUSPENSIÓN EN EL RÍO DE LA PLATA MEDIO (en Mg/dm^3)



Figuro III. 48 - Material en Suspensión vs Salinidad en el Río de la Plata Medio.



Figuro III. 49 - Isolinias superficiales de UNT en el Río de la Plata Exterior.



Figuro III.50 - UNT vs Salinidad en superficie en el Río de la Plata Exterior.

SECCION 3.- HIDROCARBUROS, METALES Y BIOCIDAS.

3.1.- Hidrocarburos disueltos y dispersos. (Río de la Plata Medio o Intermedio) .

3.1.1.- Introducción.

Dadas las características de este parámetro, la concentración de hidrocarburos solubles y dispersos en el Río de la Plata presenta un comportamiento aleatorio, no habiéndose podido comprobar ninguna relación con la salinidad, ni la presentación de variaciones estacionales.

Evaluar la magnitud del problema de la contaminación por hidrocarburos es difícil por distintas razones. Como el petróleo bruto se compone de decenas de miles de compuestos que varían según el origen del mismo, no hay técnicas universalmente aceptadas para su evaluación. Por ende hay poca información comparable sobre el contenido de petróleo en agua y sedimentos.

En las investigaciones sobre la contaminación por hidrocarburos es preciso distinguir entre los naturales y aquellos que ingresan al medio como consecuencia de las actividades humanas. Si el método analítico seguido para su monitoreo es de fluorescencia, este detalle debe ser tenido muy en cuenta.

El petróleo derramado se dispersa sobre las aguas superficiales, teniendo gran importancia en este fenómeno la intensidad del viento, las corrientes, el material en suspensión y el origen del petróleo o subproducto derramado. El destino final depende en parte de la forma inicial de ingreso al cuerpo receptor pero generalmente sufrirá algunos de los procesos siguientes : evaporación, disolución, emulsificación, sedimentación, oxidación y degradación bacteriana.

La entrada de hidrocarburos del petróleo en la red alimentaria está comprobada por una serie de observaciones en una variedad de organismos.

El petróleo se encuentra en forma de fases disueltas, disperso o adsorbido al material en suspensión.

El petróleo o sus derivados puede incorporarse a un organismo a través del alimento que éste ingiere. Una vez incorporado puede ser metabolizado, almacenado

o excretado. Algunas especies de copépodos pueden degradar hidrocarburos parafínicos, algunos peces pueden degradar parafínicos y aromáticos.

En cuanto a la persistencia de los hidrocarburos en los sedimentos, los datos existentes permiten asegurar que los alcanos normales persisten por lo menos dos años en los sedimentos. La desaparición de los hidrocarburos de los sedimentos responde tanto a la degradación microbiana como a la disolución.

El petróleo introducido en los depósitos intermareales está sujeto a diversos procesos que tienden a su degradación y/o disolución. La acumulación en los depósitos intermareales y litorales es función del tamaño de partículas, de manera que los materiales arcillosos de grano fino adsorben mayores cantidades que las arenas. En las zonas de remoción y transporte se produce una dispersión lateral que aumenta las posibilidades de disolución y degradación.

En las zonas de abundantes material en suspensión las pequeñas gotas de petróleo se fijan a las partículas y como consecuencia de la pérdida de los hidrocarburos más volátiles, aumentan su densidad y tienden a depositarse en el fondo.

3.1.2.- Análisis de los resultados.

El rango de dispersión se encuentra entre 0.01 y 24 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ expresado en unidades de criseno (Tabla III.6). Cuando las condiciones meteorológicas fueron desfavorables, las concentraciones halladas fueron muy bajas, debido a la intensa mezcla vertical provocada por el viento, que hace desaparecer la fina película de hidrocarburos que se presenta en aguas tranquilas, luego de un derrame de poca magnitud.

La observación de la Fig. III.51 que presenta los valores promedio permite definir una zona de mínima (entre 2 y 3 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) en la margen norte, y una zona de máxima (entre 6 y 7 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) en la margen sur, donde se han hallado ocasionalmente concentraciones elevadas (entre 15 y 25 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$) en las estaciones 600, 700, 500 y 400.

La mayor concentración de hidrocarburos en la margen sur está asociada a la existencia de los canales de acceso a los puertos de Buenos Aires y La Plata, a la zona de descarga del emisario principal de Obras Sanitarias de la Nación, y a las

pequeñas pero permanentes descargas de embarcaciones menores que transitan por la zona.

En el caso del área de influencia de la ciudad de La Plata los valores hallados se deben a la presencia de tres plantas petroquímicas y una gran destilería. Además del aporte de hidrocarburos por los afluentes líquidos debe sumarse el flujo atmosférico, dada la vecindad de las industrias con la costa y el régimen de vientos imperantes en la zona.

En el caso de las muestras obtenidas frente a la ciudad de Berazategui, es importante el aporte de los desagües cloacales del conurbano bonaerense. El flujo de hidrocarburos que escapan por los sistemas de calefacción, derrames accidentales del parque automotor y otras pérdidas menores son arrastradas por las lluvias a las bocas de tormenta e ingresan al colector principal de Obras Sanitarias de la Nación.

Si bien las concentraciones no exceden del orden de microgramos por litro, se ha comprobado la presencia de hidrocarburos en todos los puntos de muestreo.

En cuanto a las estaciones 550, 500 y 400 las altas concentraciones registradas están relacionadas con el transporte del material en suspensión en la zona de remoción y transporte (Parker y López Laborde, 1989) que lleva adsorbido hidrocarburos y metales pesados (Pb, Cd, etc)(Fig.III.51).

Las isólineas de las concentraciones medias (Fig. III.51) permiten definir la zona de mayor concentración sobre la margen sur y que, partiendo de la isólinea de 4 g/dm^3 en la zona de los canales de acceso del puerto de Buenos Aires y de La Plata, llega a valores superiores a 5 g/dm^3 debido al tráfico marítimo y a las industrias mencionadas.

La margen norte presenta dos zonas definidas por la isólinea de 3 g/dm^3 entre Colonia y arroyo Cufre y la de 2 g/dm^3 entre este último y Montevideo.

3.2.- Metales Pesados.

Los metales pesados o metales de transición, al igual que los plaguicidas organoclorados se consideran contaminantes persistentes, por cuanto una vez ingresados al cuerpo de agua receptor, no evolucionan fácilmente para transformarse en sustancias químicas inofensivas. A diferencia de los plaguicidas, los metales pesados se encuentran en muy pequeñas concentraciones en organismos vivos y pueden presentarse en forma natural en altas concentraciones en sedimentos.

En la Fig. III.53 se presenta un esquema sobre los distintos reservorios en que pueden almacenarse metales y las distintas interacciones posibles (Salomons, 1988).

El esquema se basa en cuatro depósitos abióticos: sedimento, agua intersticial, aguas superficiales y material en suspensión, y tres depósitos bióticos: la comunidad biótica de ese cuerpo de agua, la vegetación y el hombre.

Bajo condiciones reductoras, los sedimentos pueden proporcionar altas concentraciones de metales al agua intersticial y a partir de ésta pueden pasar al agua superficial por fenómenos de difusión, resuspensión del sedimento o bioturbación.

En cada compartimiento los metales están presentes en varias formas (especiación) con diferente comportamiento geoquímico y biodisponibilidad.

Existen una serie de variables que determinan los equilibrios dinámicos entre los diferentes reservorios.

Las principales variables que determinan el proceso de intercambio entre el sedimento y el agua superficial son: la fuerza iónica de la solución acuosa, el potencial de óxido-reducción (EH) y el pH del sedimento.

En la Fig. III.54 se presentan los distintos procesos que ocurren en la interfase agua-sedimento (Salomons y Baccini, 1986).

El tiempo de residencia de una especie química es inversamente proporcional a su reactividad con otras sustancias presentes en el cuerpo receptor. Al producirse un incremento de la fuerza iónica de la solución acuosa (intrusión salina) puede producirse la movilización de determinados iones metálicos. Dicha movilización dependerá de la forma en que estos metales se encuentren asociados al sedimento.

3.2.1.- Río de la Plata Medio o Intermedio.

3.2.1.1.- Metales en solución.

La concentración de metales en agua en esta zona depende principalmente del equilibrio con el material en suspensión.

Los perfiles realizados en las secciones Buenos Aires-Colonia y Atalaya-Colonia, muestran que el río contiene mayor cantidad de material en suspensión cerca de la costa sur (50 a 300 mg/l) que en la costa norte (45 a 100 mg/l). Como la marea se opone al descenso de las aguas fluviales hacia el mar, aumenta la carga de sólidos en suspensión, generando una nube de fango que, según demuestran los análisis, está asociada con concentraciones anormalmente altas de plomo y cadmio. (Fig. III.55).

La zona en que se producen los fenómenos de movilización de metales está influenciada por las condiciones meteorológicas y los caudales de los ríos Paraná y Uruguay.

En las campañas realizadas en los años 1981, 1982 y 1983 se han podido apreciar las fluctuaciones en la concentración de metales (en especial plomo y cadmio) y relacionar con la carga de material en suspensión. Este fenómeno puede apreciarse en la Fig.III.55 donde se han volcado los valores de material en suspensión y concentración de plomo.

En la Fig.III.56 se aprecia con claridad la disminución en la concentración de plomo en mayo de 1983 con respecto a los años 1981, 1982, 1984, 1985 y 1987, debido al notable caudal aportado por las intensas lluvias producidas en la Cuenca del Plata en esa época. Esto también se corresponde con los menores valores de salinidad y silicatos registrados en la campaña de mayo de 1983.-

3.2.1.2.- Metales en sedimentos.

A los efectos de poder interpretar la interacción de los metales y las variables físico-químicas en los depósitos abióticos mencionados se llevaron a cabo evaluaciones de metales en sedimentos, entre ellos: plomo, cadmio, mercurio y cobre

Como puede observarse en la Fig.III.57, donde se ha graficado la relación entre la concentración de plomo en el sedimento y en la fase acuosa los valores menores corresponden a una zona donde tienen lugar fenómenos físico-químicos provocados por la variación en la fuerza iónica de la solución debido a la intrusión salina. Esto indicaría que las altas concentraciones (anormales) de plomo y cadmio en agua, tienen su origen en la movilización de dichos metales, que pasan del sedimento a la solución acuosa. En las Fig.III.58 y III.59 puede observarse la interacción entre material en suspensión salinidad y plomo en la transecta de las estaciones comprendidas entre la 400 y la 440, donde el aumento de la fuerza iónica va

acompañado de aumento de concentración del ión metálico y de la carga de material en suspensión.

3.2.1.3. - Análisis de los resultados

Se describen a continuación las variaciones en las concentraciones de los diversos metales en agua, (Tabla III.6).

A los fines de este estudio se han tomado como términos de referencia las siguientes normas y/o recomendaciones:

a) Cuenca del Plata: Niveles Guía de Calidad de Agua en función de los diferentes usos del recurso.

Uso I: Agua para consumo humano con tratamiento convencional.

Uso II: Agua para actividades recreativas con contacto directo.

Uso III: Agua para actividades agropecuarias.

Uso IV: Protección de la vida acuática.

b) Criterios de Calidad del Canadá.

I: Valores guía del agua potable.

II: Valores guía de agua para recreación.

III: Valores guía para uso agrícola.

IV: Valores guía para la protección de la vida acuática.

c) Digesto del Río Uruguay.

Clasificación de las aguas y estándares de calidad de las aguas:

Uso 1: Aguas crudas o brutas destinadas al abastecimiento público con tratamiento convencional.

Uso 2: Aguas destinadas a actividades de recreación con contacto directo.

Uso 3: Aguas destinadas a actividades agropecuarias.

Uso 4: Aguas destinadas a la conservación de la vida acuática.

En las Tablas III.8 a III.10 ubicadas al final de esta Sección se presentan los valores recomendados para cada una de las referencias arriba mencionadas.

PLOMO.

Sobre 288 muestras (1981-1987) sólo en 13 se superan los 30 $\mu\text{g/l}$ fijados para el Uso IV (Protección de la Vida Acuática-Digesto del Río Uruguay), y de ellas 8 corresponden a la estación 400, 2 a la 430, 1 a la 500 y 1 a la 505.-

Resulta evidente, por la ubicación de los puntos de muestreo en los que se superan los valores guía, que no se trata de contaminación de naturaleza antropogénica reciente, sino que es el resultado de factores físicos y dinámicos que tienen lugar en esa zona.(Fig. III.57).

Otros puntos caracterizados por una concentración mayor al valor guía son: la zona de descarga del emisario mayor de Obras Sanitarias de la Nación (OSN) en la localidad de Berazategui, otro frente a la desembocadura del Riachuelo (Buenos Aires) y frente a Juan Lacaze (R.O.U).- Son estos lugares donde, junto con los efluentes industriales y desagües cloacales se vierten distintos derivados de petróleo, incluyendo naftas que contienen plomo.

Tomando como base los valores recomendados para la Cuenca del Plata, se observa que todos los valores sobrepasan la concentración de 1 $\mu\text{g/l}$ (valor Guía recomendado para la Protección de la Vida Acuática), pero en cambio el 97 % de los valores cumple con la norma del Uso I: "Agua para consumo Humano con Tratamiento Convencional".

Con respecto a las normas de calidad del Canadá, para la protección de la vida acuática, se presenta la siguiente situación: en junio de 1985 sólo el 5% de los valores hallados supera el valor límite (sobre 122 muestras); en abril del 1984 el 26 % de las muestras lo superan; en junio del 1987 el 63% de los valores superan el valor límite para el uso IV y por último, en agosto de 1987 el 71% de los valores hallados es mayor de 7 $\mu\text{g/l}$, es decir mayor del límite fijado para el uso IV.

En cambio para el uso I: Agua Potable (concentración máxima aceptable: 50 $\mu\text{g/l}$) el 97 % de los valores cumple con la norma.

CADMIO.

Tomando como referencia el valor Estándar del Digesto del Río Uruguay (1.0 $\mu\text{g/l}$.- Conservación y Desarrollo de la Vida Acuática), sólo el 15,6 % de los valores obtenidos supera dicho valor máximo. Si en cambio se tomara como referencia el Valor Recomendado para la Cuenca del Plata (0,2 μg por litro) el 82 % de las muestras superarían el valor límite.(Figs. III.60 y III.61)

CINC.

a) Valor recomendado para la Cuenca del Plata: 30 $\mu\text{g/l}$.

b) Nivel Guía de Calidad de Agua para la Protección de la Vida Acuática (Canadá): 30 $\mu\text{g/l}$.

c) Estándar de Calidad de las Aguas, según el Digesto del Río Uruguay: 180 $\mu\text{g/l}$.

Sobre 150 muestras sólo 10 superan el valor de 30 $\mu\text{g/l}$ es decir un 7 %.- (Fig. III.62 y 63).

HIERRO.

a) Valor recomendado para la Cuenca del Plata: 300 $\mu\text{g/l}$

b) Nivel Guía para la Protección de la Vida Acuática en Canadá: 300 $\mu\text{g/l}$.

c) Estándar de Calidad de las Aguas del Río Uruguay: 300 $\mu\text{g/l}$.

Ninguna de las muestras analizadas en las distintas campañas supera los valores guía indicados.(Fig. III.64)

COBRE.

a) Valor recomendado para la Cuenca del Plata, para el Uso IV: 2 $\mu\text{g/l}$.

b) Nivel Guía de Calidad de las Aguas (Canadá) para la Protección de la Vida Acuática: 2 a 4 $\mu\text{g/l}$.

c) Estándar de Calidad para el Río Uruguay: 20 $\mu\text{g/l}$.-

El valor de 20 $\mu\text{g/l}$ sólo es superado en tres muestras ubicadas en las cercanías del puerto de Buenos Aires.

En ningún caso se supera el valor de 100 $\mu\text{g/l}$, fijado como máximo para el Consumo Humano con Tratamiento Convencional. (Fig. III.65 y III.66).-

MERCURIO.

a) Valor recomendado para la Cuenca del Plata, para el Uso IV: 2 $\mu\text{g/l}$.

b) Nivel Guía de Calidad de Agua en Canadá para el Uso IV (Protección de la Vida Acuática): < 0,1 $\mu\text{g/l}$.-

c) Estándar de Calidad para el río Uruguay: < 0,2 $\mu\text{g/l}$

Todas las muestras de agua analizadas dieron valores menores de 0,2 $\mu\text{g/l}$, es decir prácticamente cumple con las normas más exigentes. (Figura III.67)

3.2.2.- Río de la Plata Exterior o Inferior.

3.2.2.1.- Metales en sedimentos.

Se estudió la presencia de metales pesados en muestras de sedimento limo-arcilloso. Los metales evaluados fueron: hierro, manganeso, cobre, plomo, cromo, cinc, y arsénico.

Los valores informados corresponden a la muestra global sin ningún tipo de fraccionamiento. Este relevamiento constituye la primera etapa de un estudio de caracterización geoquímica de sedimentos en el Río de la Plata Exterior o Inferior.-

Las muestras previamente secadas y molidas a un tamaño de 200 mesh fueron digeridas según técnica de BRGM (Bureau des Recherches Geologiques et Mineraux). Los digestos fueron analizados en un equipo de Espectrometría de Emisión de Plasma (DCP) Spectraspan Beckman. En la puesta a punto de la técnica se utilizaron patrones del BRGM. Se efectuó una comparación de resultados según espectrometría de emisión de plasma (DCP) y espectrometría de Absorción Atómica (AA).:

Metal	STD		DCP		AA	
	BD2/1	I-5	BD2/1	I-5	BD2/1	I-5
Cobre	106	51	105	50	107	53
Cromo	56	34	54	34	55	33
Cinc	109	74	111	75	110	80
Plomo	143	230	142	231	144	230
Manganeso	192	458	192	460	---	---
Arsénico	34	--	33	---	---	---

El desvío máximo es del 2 % en el caso del cobre para DCP y 8 % en el caso del cinc para AA.-

3.2.2.2.- Análisis de los resultados.

Los resultados obtenidos se presentan en las Figs. III.68 a III.74.

HIERRO.-

Sobre un total de 90 muestras, los valores obtenidos para el hierro, presentan un rango de concentraciones entre 1,8 % y 6,4 %, con un valor promedio de 4,7 %.

Se observa una disminución de los tenores de hierro a medida que aumenta la granulometría del sedimento.(Fig.III.68).

MANGANESO.

Los valores obtenidos, sobre un total de 90 muestras presentan un rango de concentraciones de 214 a 1707 $\mu\text{g/g}$ de sedimento seco, y un valor promedio de 676 $\mu\text{g/g}$ ss.

Los tenores de manganeso están asociados a los valores de hierro.- (Fig.III.69).

CROMO.

Los valores de cromo, sobre un total de 90 muestras, presentan un rango de concentraciones de 14 a 79 $\mu\text{g/g}$, con un valor promedio de 52 $\mu\text{g/g}$ ss.(Fig.III.70).

CINC.

Los valores de cinc, sobre un total de 90 muestras presentan un rango de concentraciones de 37 a 131 $\mu\text{g/g}$ ss, con un valor medio de concentración de 96 $\mu\text{g/g}$ ss. (Fig.III.71).

COBRE.

Los valores obtenidos, sobre un total de 90 muestras presentan un rango de concentraciones de 8 a 63 $\mu\text{g/g}$ ss, con un valor promedio de 38 $\mu\text{g/g}$ ss (Fig. III.72).

PLOMO.

Los valores obtenidos, sobre un total de 90 muestras presentan un rango de concentraciones de 6 a 24 $\mu\text{g/g}$ ss.con un valor promedio de 15 $\mu\text{g/g}$ ss.(Fig.III.73).

ARSENICO.

Los valores obtenidos para arsénico, sobre un total de 90 muestras, presentan un valor máximo de 21 $\mu\text{g/g}$ ss, con un valor medio de 10 $\mu\text{g/g}$ ss.

Un número importante de muestras está por debajo del límite práctico de detección del método, que para el arsénico es de 5 $\mu\text{g/g}$ ss. (Fig. III.74)

En las Figs. III.75 a III.81 se representan una serie de perfiles transversales y longitudinales al sistema. Se muestran los valores de concentración de cinco metales: hierro, cobre, zinc y plomo, superpuestos a un perfil batimétrico y con un esquema que representa las variaciones de facies sedimentarias.

En los perfiles analizados individualmente no se observan variaciones importantes. Las diferencias de concentración están en general asociadas a variaciones de facie sedimentarias o morfológicas. En general los limos arcillosos presentan

concentraciones más bajas de todos los metales. La densidad de muestras de que actualmente se dispone no permite definir cual es la distribución de los metales ni su grado de asociación con el sedimento. En general se observa que la concentración de la mayoría de los metales, salvo en el caso del plomo está asociada a las concentraciones de hierro presentes en el sedimento. Se observa que las muestras correspondientes a la Bahía de Samborombón (Perfil E-E') presentan valores inferiores de concentración; esto puede deberse al lixiviación de los sedimentos de fondo o a diferencias litológicas.

3.3.- Biocidas.

El Río de la Plata es el cuerpo receptor del drenaje de una vastísima área agrícola-ganadera, actividad que implica la utilización de una gran variedad de biocidas.

La importancia del conocimiento de la concentración y distribución de los biocidas resulta del impacto que pueden tener estas sustancias sobre áreas costeras densamente pobladas, produciendo cambios muchas veces irreversibles, en el ecosistema. La comunidad biótica se ve afectada por estos agentes que pueden generar efectos perjudiciales en ella.

El incremento de los volúmenes de agua disponibles a partir de la zona de intrusión salina y hacia la boca del río, así como la dinámica propia del sistema en esa zona, incrementan la eficiencia de los procesos de dilución y evacuación de los contaminantes.

Los plaguicidas organoclorados constituyen un grupo importante de sustancias contaminantes dada su amplia utilización y su persistencia en el ambiente.

El mecanismo de transporte dependerá de cada biocida en particular y de la forma de aplicación del mismo. En forma general, dado su carácter hidrófobo tienden a asociarse a sedimentos (arcillas) y de este modo son transportados en suspensión por el agua. Este hecho es de fundamental importancia ya que determina que los mecanismos de transporte de estos biocidas estén asociados a los distintos procesos de movilización de sedimentos finos en el sistema. Al disminuir la capacidad de transporte de la corriente fluvial, o al producirse cambios en la fuerza iónica de la solución acuosa (intrusión salina) los sedimentos se depositan en el fondo donde, los biocidas en parte son degradados, metabolizados ó absorbidos por la comunidad biótica.

En el caso del DDT y de los PCB el principal modo de transporte es en fase vapor, a pesar de su baja presión de vapor. Estudios recientes demuestran que casi todo el DDT se encuentra en fase gaseosa en la atmósfera. El DDT por acción de la radiación solar y por acciones metabólicas de organismos se degrada generando DDD y DDE. (Goldberg, 1976)

El Hexaclorobenceno está ampliamente distribuido y penetra en el medio muy probablemente como un producto de desecho de la fabricación de otras especies químicas o como impureza de productos manufacturados

3.3.1.- Río de la Plata Medio o Intermedio.

Para la ubicación de las estaciones de muestreo en el Río de la Plata Medio o Intermedio se consideraron dos subambientes que presentan diferente grado de afectación a las condiciones meteorológicas y a la influencia de los cursos de agua secundarios que desembocan en las márgenes del río. Se distinguen de este modo, el curso central y las zonas costeras. En función de esto se efectuaron campañas de muestreo de biocidas durante los años 1982, 1985 y 1986.

3.3.1.1.- Materiales y métodos.

La elección del método analítico se basó en las consideraciones establecidas por el Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM), la Environmental Protection Agency de EE.UU y las recomendaciones de la reunión de trabajo realizada en Bermuda (IOC/WHO/UNEP).

El volumen de agua extraído fue variable, ya que se trató de lograr el mejor compromiso entre exactitud, sensibilidad y límite de detección. Para el trabajo en la zona interior y media del río, teniendo en cuenta las bajas concentraciones halladas, surge como más conveniente el volumen de 3,5 litros. En todos los casos se emplearon botellas de vidrio color ámbar, escrupulosamente lavadas y enjuagadas con n-hexano. Las muestras subsuperficiales fueron llevadas al laboratorio y analizadas dentro de las 48 horas de extraídas.

Los solventes utilizados fueron de calidad nanogrado. Para la extracción de la muestra se utilizaron 25 ml de hexano por litro de muestra. Los extractos se concentraron a pequeño volumen en un evaporador rotatorio. En todas las muestras

se realizó una limpieza del extracto (clean-up) con Florisil y Alúmnina, en columna. El extracto se eluyó de la columna con soluciones de éter dietílico y éter de petróleo.

Para la evaluación final del extracto concentrado se inyectaron 5 microlitros en un cromatógrafo de gases Varian 3700 con detector de captura electrónica de lámina de Ni-63.

Los pesticidas organoclorados analizados fueron:

Isómeros alfa, beta y gamma del hexacloro ciclohexano.

Hexaclorobenceno.

Heptacloro y heptacloro epóxido.

Aldrin, Dieldrin y Endrin.

p-p' DDT, o-p' DDT, p-p' DDE, o-p'DDE, o-p'DDD

La Fig. III.82 muestra los biocidas clorados que fueron detectados por lo menos una vez durante el transcurso del programa.

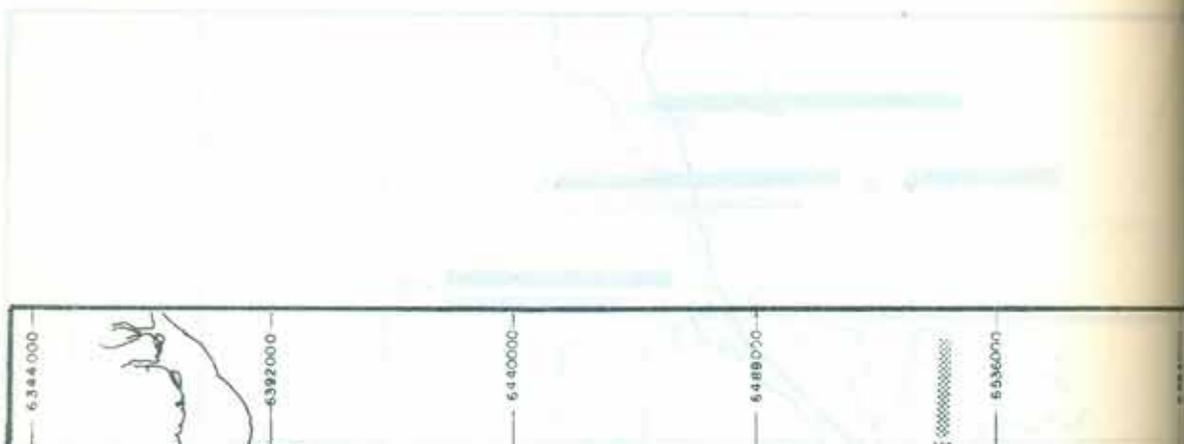
3.3.1.2.- Síntesis de los resultados.

Para el isómero gamma del hexaclorociclohexano el valor máximo hallado es de 45 ng/l que supera el valor guía recomendado para la Cuenca del Plata (10 ng/l para el Uso IV, Protección de la Vida Acuática). Este valor corresponde a la estación 750, próxima a la ciudad de Colonia del Sacramento, República Oriental del Uruguay.(Fig.III.83)

Para el hexaclorobenceno el valor máximo hallado es de 23 ng/l (valor recomendado para el uso IV: < 10 ng/l) y la estación donde fué detectado es la 400, cercana a P.Piedras.

Para el Heptacloro el valor máximo hallado es de 12 ng/l valor que supera ligeramente el recomendado (< 10 ng/l).

Para el Epóxido de Heptacloro, el único punto que supera el valor recomendado está ubicado en la estación 600 cercana a la ciudad de La Plata con 45 ng/l. (valor recomendado (< 10ng/l).



Con respecto al Dieldrin, Aldrin y Endrin, el único que supera el valor recomendado para el uso IV es el Dieldrin, en la estación 750 frente a la ciudad de Colonia del Sacramento.(Fig.III.84)

El DDT supera los valores guía en las estaciones ubicadas frente a Colonia (750), en la 440 cercana a la desembocadura del Santa Lucía, frente a Juan Lacaze (630), frente a la ciudad de Buenos Aires (700) y frente a La Plata (600) cercana a una zona de intensa actividad frutihortícola, y en algunos puntos próximos a la zona de descarga de Obras Sanitarias de la Nación y de Obras Sanitarias de la Prov. de Buenos Aires. (Fig. III.85)

Los otros biocidas no superan en ningún caso los valores guía, y en la mayoría de los puntos de muestreo no superan el límite de detección del método.

En el capítulo IV se establecen consideraciones respecto de la comparación de los resultados obtenidos para todos los parámetros medidos durante el desarrollo del programa, con algunos de los diferentes criterios en uso de calidad de agua.

En el caso de los biocidas, la comparación respecto del criterio más exigente ("Protección de la vida acuática") recomendado para las aguas de la Cuenca del Plata, indica (Fig. III.86) que las muestras que superan estos valores guía estaban ubicadas en las franjas costeras. El muestreo en el curso principal del río demuestra su capacidad autodepuradora.

3.3.2.- Río de la Plata Exterior o Inferior.

Se estudió la presencia de residuos de pesticidas organoclorados en muestras de agua de la margen costera uruguaya y del Río de la Plata Exterior o Inferior, en base a dos campañas (octubre y agosto de 1987) y tres muestreos costeros (mayo de 1980, octubre de 1985 y julio de 1986)

Se investigó la presencia de los isómeros alfa y gamma del hexacloro ciclohexano, Aldrin, Dieldrin, Endrin e Isómeros del DDT.

El rango de concentraciones observado fue de 10 a 250 nanogramos por litro, con un error promedio estimado de $\pm 30\%$.

A los efectos del análisis se ocuparon 19 estaciones en los puntos establecidos para el muestreo de parámetros físico-químicos. En la zona costera las localidades muestreadas fueron Montevideo, Atlántida, Piriápolis y Punta del Este.

3.3.2.1.- Materiales y métodos.

La técnica empleada se basa principalmente en la propuesta por Marchand (1985), que se describe en Aminot (1983), "Técnicas Analíticas para el Medio Marino." Se utilizó un cromatógrafo de gases Varian Aerograph 1700 (1969) con columnas rellenas, dotado de detector de captura electrónica de Ni-63. Los volúmenes de muestra extraídos dependieron de la salinidad. Se tomaron 3.5 litros en muestras con salinidades mayores de 15 ‰ y un litro para menores. Como solvente se utilizó una mezcla de éter de petróleo y éter dietílico. El extracto se concentró en un evaporador Kuderna-Danish, purificándose con Florisil y concentrándose hasta un volumen de 0,5 cc en corriente de nitrógeno. Como test de confirmación se utiliza ataque ácido (H_2SO_4) para el Dieldrin y saponificación en caliente para los isómeros del hexaclorociclohexano.

El límite práctico de detección fue de 10 ng/dm³.

3.3.2.2.- Síntesis de los resultados.

Los valores que se informan corresponden a muestras sin filtrar, incluyen por tanto el contenido de pesticidas en agua y en el material en suspensión.

Se presenta la distribución espacial de los valores obtenidos en las distintas campañas (Figs. III-87 a III.99).

Los puntos de muestreo costeros no son en general representativos y no deben ser evaluados en conjunto ya que corresponden a subambientes distintos.

Se observa una interesante correlación entre la salinidad, material en suspensión y la concentración de biocida.

Al incrementarse la salinidad las concentraciones disminuyen debido a: dilución por mezcla, disminución de la carga de material en suspensión por floculación y disminución de la solubilidad del biocida por efecto salino. Se observaron algunos valores anormalmente altos en muestras de salinidad media (Est.26 en octubre de 1985) tal vez asociados a fenómenos de resuspensión de sedimentos de fondo.

Por otra parte las dos campañas se correspondieron con picos de descarga de los ríos Paraná y Uruguay.

En las Figs. III.89 y III.95 se presenta la relación de concentraciones de isómeros alfa y gamma del hexacloro ciclohexano. El isómero alfa no es utilizado como biocida sino que probablemente resulta de la degradación del isómero gamma (Richards 1986). Se observa que la relación alfa/gamma se va incrementando a medida que el muestreo se aproxima a la desembocadura. La relación es en general mucho mayor que uno, en zonas costeras.

TABLA III.6

PARAMETROS QUIMICOS EN AGUA DE SUPERFICIE (1981-1987)

CONCENTRACION DE METALES ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$)-HIDROCARBUROS (U. Criseno $\mu\text{g}/\text{dm}^3$)

Estac.		Plomo	Cadmio	Cobre	Cinc	Hierro	Mercurio	Hidroc.
770	X	18.3	2.9	5.4	--	--	<0.2	--
	Máx	24.3	4.2	7.5	--	--	--	--
	Mín	14.4	1.5	2.8	--	--	--	--
760	X	10.7	2.3	7.6	--	--	<0.2	--
	Máx	18.8	2.8	16.9	--	--	--	--
	Mín	5.7	0.5	2.5	--	--	--	--
750	X	4.9	0.5	3.7	8.8	47	<0.2	2.7
	Máx	7.1	0.7	6.0	12.0	--	--	5.6
	Mín	1.6	0.2	2.3	6.0	--	--	0.1
740	X	3.8	0.5	5.8	9.3	41	<0.2	4.3
	Máx	6.6	0.8	9.5	12.2	--	--	10.6
	Mín	1.0	0.3	2.8	8.0	--	--	0.7
730	X	5.1	0.6	5.4	11.5	47	<0.2	2.8
	Máx	10.0	1.6	18.8	18.7	47	--	10.3
	Mín	1.1	0.1	2.4	8.0	--	--	0.3
720	X	6.2	0.7	5.7	13.9	46	<0.2	3.5
	Máx	11.9	1.4	16.9	40.0	--	--	8.2
	Mín	2.5	0.2	0.7	5.4	--	--	0.6
710	X	7.2	0.8	7.0	12.8	50	<0.2	2.7
	Máx	19.0	1.5	21.9	17.5	--	--	12.9
	Mín	2.5	0.2	1.2	8.0	--	--	0.5
700	X	7.4	0.6	5.4	24.9	50	<0.2	4.8
	Máx	18.3	2.8	12.0	40.0	--	--	22.2
	Mín	4.0	0.2	1.1	11.0	--	--	0.2
630	X	5.4	0.9	4.4	14.6	44	<0.2	2.8
	Máx	8.6	2.6	9.4	31.0	--	--	6.6
	Mín	1.8	0.2	0.8	3.0	--	--	0.4

TABLA III.6 (continuación)

PARAMETROS QUIMICOS EN AGUA DE SUPERFICIE (1981-1987)

CONCENTRACION DE METALES ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$)-HIDROCARBUROS (U. Criseno $\mu\text{g}/\text{dm}^3$)

Estac.		Plomo	Cadmio	Cobre	Cinc	Hierro	Mercurio	Hidroc.
620	X	4.3	0.8	5.0	13.9	54	<0.2	3.0
	Máx	6.6	2.4	10.0	30.0	--		6.0
	Mín	1.6	0.3	0.8	8.4	--		1.5
610	X	5.4	0.5	4.9	15.5	49	<0.2	1.8
	Máx	8.6	0.9	13.8	22.5	--		5.3
	Mín	3.0	0.3	1.6	7.5	--		0.1
600	X	7.0	0.8	4.3	20.9	50	<0.2	5.8
	Máx	17.0	2.0	7.5	40.0	--		17.5
	Mín	2.3	0.2	2.3	7.5	--		0.1
580	X	5.8	0.6	4.7	10.3	51	<0.2	3.3
	Máx	11.0	2.0	11.0	14.5	--		5.7
	Mín	1.1	0.1	2.2	7.5	--		0.1
570	X	4.2	0.8	5.0	8.0	47	<0.2	2.6
	Máx	7.5	1.5	8.0	8.3	--		7.1
	Mín	2.8	0.2	2.5	7.8	--		0.5
560	X	5.9	0.7	4.7	11.2	45	<0.2	2.4
	Máx	10.5	0.9	8.0	17.8	--		9.2
	Mín	2.5	0.3	2.1	8.0	--		1.3
550	X	4.4	0.5	5.0	12.5	49	<0.2	6.7
	Máx	7.5	1.3	9.2	39.0	--		24.8
	Mín	1.3	0.1	2.8	6.8	--		0.2
540	X	8.4	1.0	5.1	17.0	43	<0.2	1.8
	Máx	21.4	2.4	9.2	46.0	--		5.0
	Mín	1.3	0.2	2.5	7.3	--		0.1
530	X	5.4	1.0	4.5	11.8	--	<0.2	6.7
	Máx	10.6	4.2	7.5	20.0	--		15.9
	Mín	1.3	0.3	3.2	7.3	--		0.5

TABLA III.6 (continuación)

PARAMETROS QUIMICOS EN AGUA DE SUPERFICIE (1981-1987)

CONCENTRACION DE METALES ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$)-HIDROCARBUROS (U. Criseno $\mu\text{g}/\text{dm}^3$)

Estac.		Plomo	Cadmio	Cobre	Cinc	Hierro	Mercurio	Hidro.
520	X	8.5	1.0	4.3	11.9	--	<0.2	5.8
	Máx	42.8	3.8	6.5	16.3	--		18.1
	Mín	1.3	0.3	2.6	7.9	--		1.7
510	—							
	X	6.5	0.8	5.4	14.8	--	<0.2	3.6
	Máx	16.3	1.8	13.3	28.6	--		8.2
	Mín	1.3	0.2	2.5	9.2	--		0.3
505	—							
	X	9.6	1.1	4.5	13.2	--	<0.2	3.1
	Máx	41.0	4.0	7.6	20.0	--		7.0
	Mín	2.7	0.4	2.9	8.3	--		1.1
500	—							
	X	13.4	1.3	4.6	16.5	--	<0.2	5.7
	Máx	31.5	3.0	7.6	22.5	--		13.8
	Mín	5.7	0.5	2.3	8.0	--		0.7
490	—							
	X	18.7	0.9	3.0	--	--	<0.2	--
	Máx	--	1.1	3.6	--	--		--
	Mín	--	0.7	2.4	--	--		--
480	—							
	X	5.4	0.8	3.8	14.2	50	<0.2	4.0
	Máx	8.3	2.2	5.4	40.0	--		7.7
	Mín	2.5	0.1	1.5	5.9	--		0.2
470	—							
	X	5.7	0.7	4.0	--	52	<0.2	--
	Máx	6.3	1.1	--	--	--		--
	Mín	5.0	0.2	--	--	--		--
460	—							
	X	6.9	0.7	4.4	9.8	51	<0.2	2.5
	Máx	14.4	1.4	5.5	16.0	--		5.4
	Mín	2.4	0.1	3.7	3.8	--		0.4
450	—							
	X	7.0	0.7	4.0	8.5	47	<0.2	1.4
	Máx	22.0	2.5	5.0	16.2	--		3.3
	Mín	2.5	0.2	2.1	8.8	--		0.1

TABLA III.6 (continuación)

PARAMETROS QUIMICOS EN AGUA DE SUPERFICIE (1981-1987)

CONCENTRACION DE METALES ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$)-HIDROCARBUROS (U.
Criseno $\mu\text{g}/\text{dm}^3$)

Estac.		Plomo	Cadmio	Cobre	Cinc	Hierro	Mercurio	Hidroc.
440	X	12.5	1.5	4.8	16.6	52	<0.2	2.0
	Máx	32.0	9.1	8.2	21.0	--		3.9
	Mín	3.0	0.2	2.1	7.0	--		0.1
430	X	23.2	2.6	4.3	12.1	52	<0.2	3.3
	Máx	109.1	18.6	7.8	19.0	--		11.6
	Mín	1.8	0.3	1.6	1.3	--		0.5
420	X	13.2	1.6	4.4	14.0	--	<0.2	3.4
	Máx	32.0	5.0	9.0	26.0	--		7.3
	Mín	2.3	0.4	1.9	8.0	--		0.1
415	X	10.9	0.8	2.6	--	--	<0.2	--
	Máx	13.7	1.1	3.7	--	--		--
	Mín	6.6	0.4	1.9	--	--		--
410	X	15.1	1.3	3.8	10.7	49	<0.2	5.0
	Máx	28.4	3.3	7.0	18.7	--		12.9
	Mín	2.5	0.3	2.4	7.0	--		0.3
400	X	28.8	2.2	4.5	14.3	--	<0.2	3.8
	Máx	84.4	5.0	8.4	40.0	--		23.2
	Mín	1.8	0.2	2.0	4.2	--		0.3

TABLA III.7

PARAMETROS QUIMICOS EN AGUA DE SUPERFICIE (1982-1986)

CONCENTRACION DE BIOCIDAS CLORADOS (Unidad ng/dm³)

Estac.		γ HCH	HCH otros isómeros	HCB	HEPTACL	EPOXIDO ALDRIN HEPTACL	ALDRIN
400	X	12,5	6,5	23,5	0,6	ND	ND
	Rango	ND-23	ND-13,0	ND	ND-12		
410	X	ND	ND	3,0	ND	ND	ND
	Rango			ND-3,0			
420	X	1,0	0,3	ND	ND	ND	ND
	Rango	ND-3	ND-1,0				
430	X	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Rango						
440	X	32,5	6,5	ND	ND	ND	ND
	Rango	ND-13					
450	X	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Rango						
460	X	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Rango						
480	X	152,0	91,5	ND	ND	ND	ND
	Rango	ND-275	ND-183				
500	X	2,0	ND	0,3	ND	ND	ND
	Rango	ND-6		ND-1			
505	X	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Rango						
510	X	3,0	ND	ND	ND	ND	ND
	Rango	ND-9					
530	X	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Rango						

Nota : ND: No detectado.

TABLA III.7 (continuación)

PARAMETROS QUIMICOS EN AGUA DE SUPERFICIE (1982-1986)

CONCENTRACION DE BIOCIDAS CLORADOS (Unidad ng/dm³)

Estac.		γHCH	HCH otros isómeros	HCB	HEPTACL	EPOXIDO HEPTACL	ALDRIN
540	X Rango	0,6 ND-7,0	ND	ND	ND	ND	ND
570	X Rango	4,8 ND-9,6	ND	ND	ND	ND	NDND
580	X Rango	0,7 ND-2,6	ND	ND	ND	ND	NDND
600	X Rango	7,8 ND-24	ND	ND	ND	1,8 ND-7	NDND
610	X Rango	ND	ND	ND	ND	ND	1 ND ND-3
620	X Rango	4,5 ND-18	3 ND-12	ND	ND	ND	NDND
630	X Rango	9,8 ND-24	2 ND-1	2,4 ND-7,1	1 ND-5	ND ND-3,2	0,6ND
700	X Rango	5 ND-18	4,5 ND-40	ND	ND	ND	NDND
710	X Rango	16,9 11-31	1,4 ND-4,2	ND ND-1	0,3 ND-1	ND	0,3ND
720	X Rango	4,7 ND-18	1,4 ND-5,4	ND	ND	ND	ND ND
730	X Rango	2,5 ND-4	ND ND-15,4	ND	3,9	ND	NDND
740	X Rango	ND	ND	ND	ND	ND	NDND

Nota : ND: No detectado.

TABLA III.7 (continuación)

PARAMETROS QUIMICOS EN AGUA DE SUPERFICIE (1982-1986)

CONCENTRACION DE BIOCIDAS CLORADOS (Unidad ng/dm³)

Estac.		γ HCH	HCH otros isómeros	HCB	HEPTACL	EPOXIDO ALDRIN HEPTACL	ALDRIN
750	X Rango	22,5 ND-45	6,0 ND-12	ND ND-10,5	5,3 ND-14	ND	ND 7
400	\bar{X} Rango	ND	ND	ND			
410	\bar{X} Rango	ND	ND	ND			
420	\bar{X} Rango	ND	ND	ND			
430	\bar{X} Rango	ND	ND	ND			
440	\bar{X} Rango	ND ND-5	2,5	ND			
450	\bar{X} Rango	ND	ND	ND			
460	\bar{X} Rango	ND	ND	ND			
480	\bar{X} Rango	ND	ND	ND			
500	\bar{X} Rango	ND ND-23	9,9	ND			
505	\bar{X} Rango	ND	NDND				
510	\bar{X} Rango	ND	ND	ND			

Nota: ND: No detectado

TABLA III.7 (continuación)

PARAMETROS QUIMICOS EN AGUA DE SUPERFICIE (1982-1986)

CONCENTRACION DE BIOCIDAS CLORADOS (Unidad ng/dm³)

Estac.		γHCH	HCH otros isómetros	HCB	HEPTACL	EPOXIDO ALDRIN HEPTACL
530	X Rango	ND	ND	ND		
540	X Rango	ND	ND	ND		
570	X Rango	ND	ND	ND	ND	
580	X Rango	ND	ND	ND		
600	X Rango	ND	4,3 ND-17,2	ND	ND	
610	X Rango	ND	ND	ND	ND	
630	X Rango	ND	ND	ND		
660	X Rango	ND ND-10,1	2,0	ND	ND	
670	X Rango	ND ND-7,5	ND ND-12,3	2,3	ND	
670	X Rango	ND	ND	ND	ND	
680	X Rango	ND	ND	ND	ND	
690	X Rango	ND		ND	ND	ND

Nota : ND: No detectado.

TABLA III.7 (continuación)

PARÁMETROS QUÍMICOS EN AGUA DE SUPERFICIE (1982-1986)

CONCENTRACION DE BIOCIDAS CLORADOS (Unidad ng/dm³)

Estac.		γHCH	HCH otros isómeros	HCB	HEPTACL	EPOXIDO ALDRIN HEPTACL
740	X Rango	ND	ND	ND	ND	
750	X̄ Rango	ND	ND	ND	ND	

Nota : ND: No detectado.

TABLA III.8

NIVELES GUIA DE CALIDAD DE AGUAS.(CUENCA DEL PLATA)

USO I: Agua para consumo humano

USO IV: Protección de la vida acuática.

Parámetro	Unidad	Uso I	Uso IV
Temperatura	°C	*	*
Turbidez	UNT	*	*
pH	U pH	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Conductividad	µs/cm	*	*
Oxígeno disuelto	mg O ₂ /dm ³	≥ 5	≥ 5
DBO - 20° C	mg O ₂ /dm ³	≤ 3	≤ 3
Cloruros	mg/dm ³	250	*
Nitrógeno Amoniacal	mg/N/dm ³	≤ 0.5	0.02
Nitrógeno de nitratos	mg/N/dm ³	≤ 10	*
Nitrógeno de nitritos	mg/N/dm ³	≤ 0.1	≤ 0.06
Coliformes Totales	NMP/100 ml	≤ 5000	*
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	≤ 1000	*
Compuestos Fenólicos	mg Fenol/dm ³	≤ 0.001	≤ 0.001
Cianuros	mg/dm ³	≤ 0.01	≤ 0.005
Arsénico	mg/dm ³	≤ 0.05	≤ 0.05
Cadmio	mg/dm ³	≤ 0.005	≤ 0.0002
Cobre	mg/dm ³	≤ 0.10	≤ 0.002
Plomo	mg/dm ³	≤ 0.05	≤ 0.001
Zinc	mg/dm ³	≤ 5	≤ 0.03
Hierro Total	mg/dm ³	*	≤ 0.3
Cromo Total	mg/dm ³	≤ 0.05	≤ 0.002
Mercurio	µg/dm ³	≤ 0.02	≤ 0.1
D.Q.O	mg O ₂ /dm ³	*	*
Fósforo total	mg P/dm ³	*	*
Deterg.Aniónicos	mgSAAM/dm ³	≤ 0.5	*
Hídroc.Totales	µg/dm ³	≤ 0.2	*
Plaguicidas	ng/dm ³	**	**
Sulfatos	mg/dm ³	≤ 200	*
Dureza	mg CaCO ₃ /dm ³	≤ 100	*
Calcio	mg/dm ³	*	*
Sodio	mg/dm ³	*	*
Potasio	mg/dm ³	*	*
Flúor	mg/dm ³	≤ 1.5	*
Boro	mg/dm ³	≤ 1.0	≤ 0.75

TABLA III.8 (continuación)

NIVELES GUIA DE CALIDAD DE AGUAS.(CUENCA DEL PLATA)

USO I: Agua para consumo humano

USO IV: Protección de la vida acuática.

Parámetro	Unidad	Uso I	Uso IV
Manganeso	mg/dm ³	≤ 0.05	≤ 0.1
Aluminio	mg/dm ³	≤ 0.20	≤ 0.1
Selenio	mg/dm ³	≤ 0.01	≤ 0.001
Bario	mg/dm ³	*	*
Plata	mg/dm ³	≤ 0.05	≤ 0.0001
Níquel	mg/dm ³	≤ 0.025	≤ 0.025
Estaño	mg/dm ³	*	*

* No se adopta valor de referencia.

** Ver referencia bibliográfica.

TABLA III.9

NIVELES GUIA DE CALIDAD DE AGUAS.(RIO URUGUAY)

USO I: Agua para consumo humano

USO IV: Protección de la vida acuática.

Parámetro	Unidad	Uso I	Uso IV
Temperatura	°C	Se deberán mantener las condiciones naturales.	
Turbidez	UNT	-	-
pH	U pH	-	6.5 - 9.0
Conductividad	µs/cm	-	-
Oxígeno disuelto	mg O ₂ /dm ³	-	5
DBO - 20 ° C	mg O ₂ /dm ³	6	10
Cloruros	mg/dm ³	250	250
Nitrógeno Amoniacal	mg/N/dm ³	-	0.025
Nitrógeno de nitratos	mg/N/dm ³	10	-
Nitrógeno de nitritos	mg/N/dm ³	-	-
Coliformes Totales	NMP/100 ml	-	-
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	-	-
Compuestos Fenólicos	mg Fenol/dm ³	-	0.001
Cianuros	mg/dm ³	-	0.01
Arsénico	mg/dm ³	-	0.05
Cadmio	mg/dm ³	-	0.001
Cobre	mg/dm ³	-	0.02
Plomo	mg/dm ³	-	0.03
Zinc	mg/dm ³	-	0.18
Hierro Total	mg/dm ³	-	0.3
Cromo Total	mg/dm ³	-	0.05
Mercurio	µg/dm ³	-	0.0002
D.Q.O	mg O ₂ /dm ³	-	-
Fósforo total	mg P/dm ³	-	-
Deterg.Aniónicos	mg SAAM/dm ³	-	0.5
Hidroc.Totales	µg/dm ³	-	-
Sulfatos	mg/dm ³	-	250
Dureza	mg CaCO ₃ /dm ³	-	200
Calcio	mg/dm ³	-	-
Sodio	mg/dm ³	-	-
Potasio	mg/dm ³	-	-
Flúor	mg/dm ³	1.5	-
Boro	mg/dm ³	-	0.5
Manganeso	mg/dm ³	-	0.1
Aluminio	mg/dm ³	-	-

TABLA III.9 (continuación)

NIVELES GUIA DE CALIDAD DE AGUAS.(RIO URUGUAY)

USO I: Agua para consumo humano

USO IV: Proteccion de la vida acuática.

Parámetro	Unidad	Uso I	Uso IV
Selenio	mg/dm ³	-	0.01
Bario	mg/dm ³	-	-
Plata	mg/dm ³	-	-
Níquel	mg/dm ³	-	0.025
Estaño	mg/dm ³	-	-
Aldrin	µg/dm ³	< 0.010	< 0.010
Clordano	µg/dm ³	< 0.04	< 0.04
D D T	µg/dm ³	< 0.002	< 0.002
Dieldrin	µg/dm ³	< 0.005	< 0.005
Endosulfan	µg/dm ³	< 0.02	< 0.02
Endrin	µg/dm ³	< 0.004	< 0.004
Heptacloro	µg/dm ³	< 0.01	< 0.01
Heptacloro Epóxido	µg/dm ³	< 0.01	< 0.01
Lindano	µg/dm ³	< 0.02	< 0.02
Metoxicloro	µg/dm ³	< 0.03	< 0.03
Paration	µg/dm ³	< 10	< 10
2.4.D	µg/dm ³	< 4	< 4
2.4.5.T	µg/dm ³	< 10	< 10
Bifenilos policlorados	µg/dm ³	< 0.001	< 0.001

* No se adopta valor de referencia.

TABLA III.10

NIVELES GUIA DE CALIDAD DE AGUAS.(CANADA)

USO I: Agua para consumo humano

Uso IV: Protección de la vida acuática.

Parámetro	Unidad	Uso I	Uso IV
Temperatura	°C	*	*
Turbidez	UNT	*	*
pH	U pH	*	5.0 -9.0
Conductividad	µs/cm	*	*
Oxígeno disuelto	mg O ₂ /l	*	5.0 -9.5
DBO - 20 ° C	mg O ₂ /l	*	*
Cloruros	mg/l	*	*
Nitrógeno Amoniacal	mg/N/l	*	2.2
Nitrógeno de nitratos	mg/N/l	*	*
Nitrógeno de nitritos	mg/N/l	*	0.06
Coliformes Totales	NMP/100 ml	*	*
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	*	*
Compuestos Fenólicos	mg Fenol/l	*	1.0
Cianuros	µg/l	*	5.0
Arsénico	mg/l	*	0.05
Cadmio	µg/l	*	0.2
Cobre	µg/l	*	2 - 4
Plomo	µg/l	*	1 - 7
Zinc	mg/l	*	0.03
Hierro Total	mg/l	*	0.30
Cromo Total	mg/l	0.02	0.02
Mercurio	µg/l	*	0.1
D.O.O	mg O ₂ /l	*	*
Fósforo total	mg P/l	*	*
Deterg Aniónicos	mgSAAM/l	*	*
Cloroc.Totales	µg/l	*	*
Sulfatos	mg/l	*	*
Dureza	mg CaCO ₃ /l	*	*
Calcio	mg/l	*	*
Sodio	mg/l	*	*
Potasio	mg/l	*	*
Fluor	mg/l	*	*

TABLA III.10 (continuación)

NIVELES GUIA DE CALIDAD DE AGUAS.(CANADA)

USO I: Agua para consumo humano

Uso IV: Protección de la vida acuática.

Parámetro	Unidad	Uso I	Uso IV
Boro	mg/l	*	*
Manganeso	mg/l	*	*
Aluminio	mg/l	*	0,005
Selenio	mg/l	*	1
Bario	mg/l	*	*
Plata	mg/l	*	*
Níquel	µg/l	*	25-150
Estaño	mg/l	*	*

* No se adopta valor de referencia.

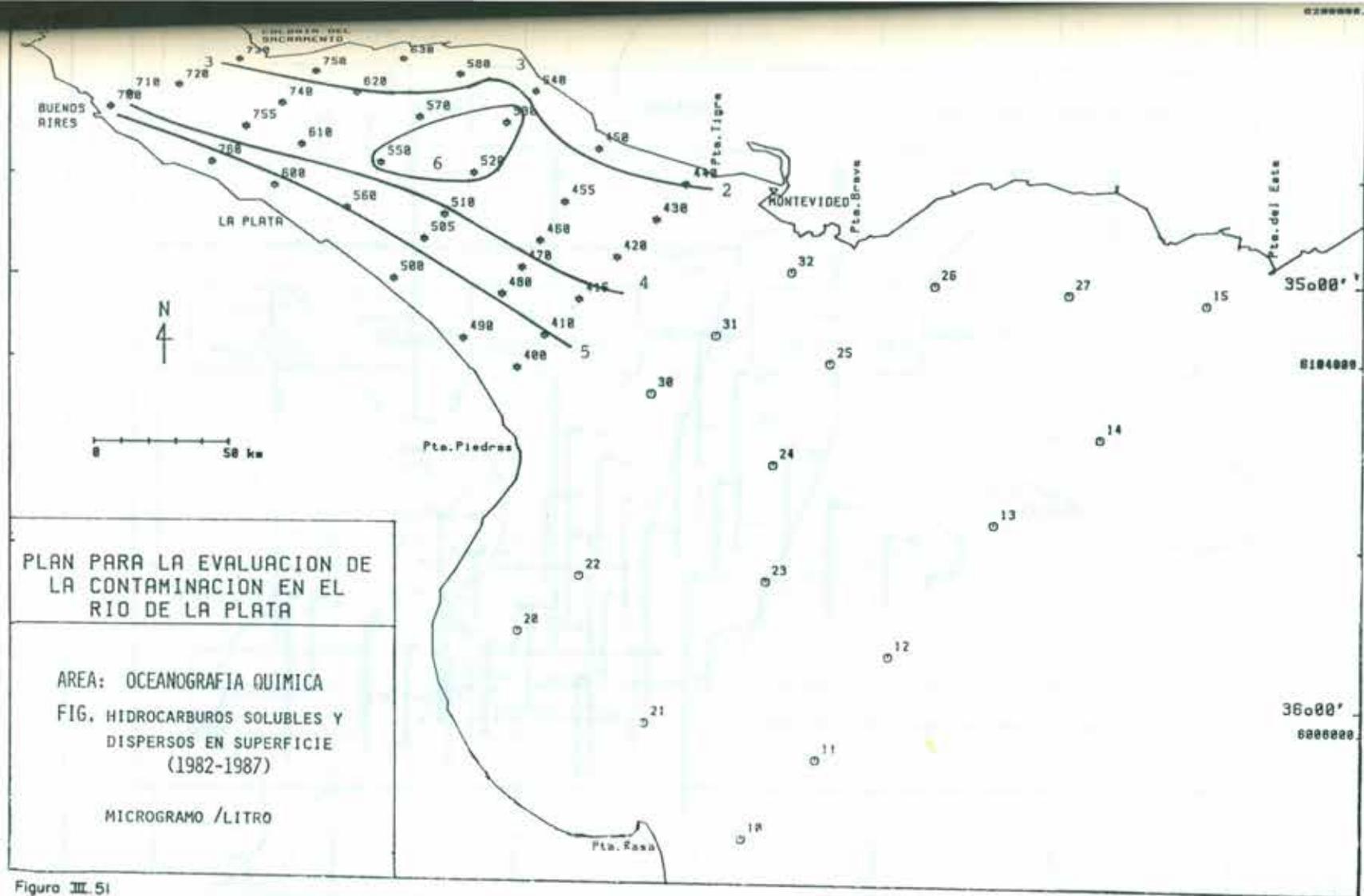
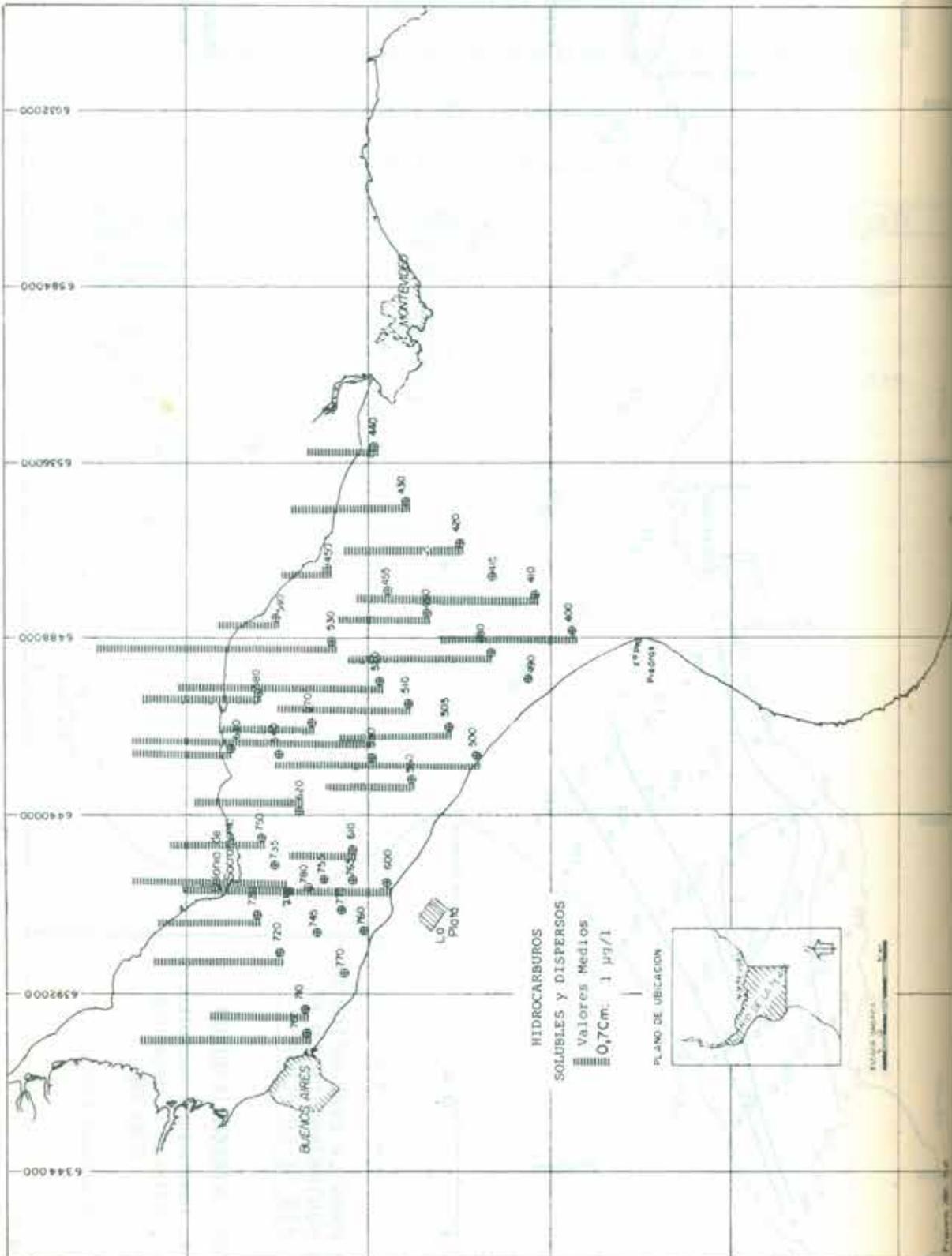


Figura III.51

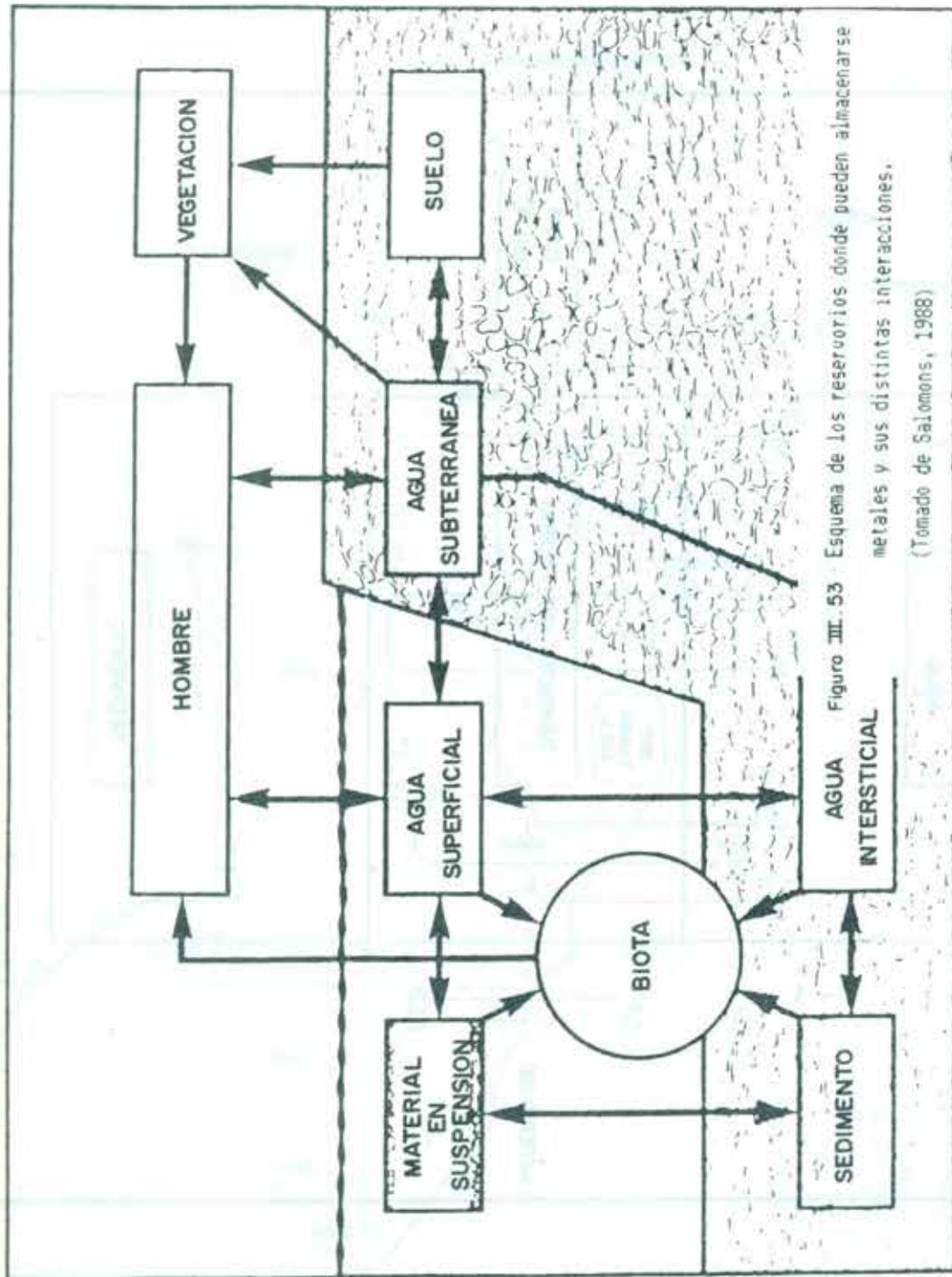


6344000
6392000
6440000
6480000
6526000
6584000
6620000

HIDROCARBUROS
SOLUBLES y DISPERSOS
Valores Medios
0,7cm. 1 µg/l



1:50,000



Figuro III. 53 Esquema de los reservorios donde pueden almacenarse metales y sus distintas interacciones. (Tomado de Salomons, 1988)

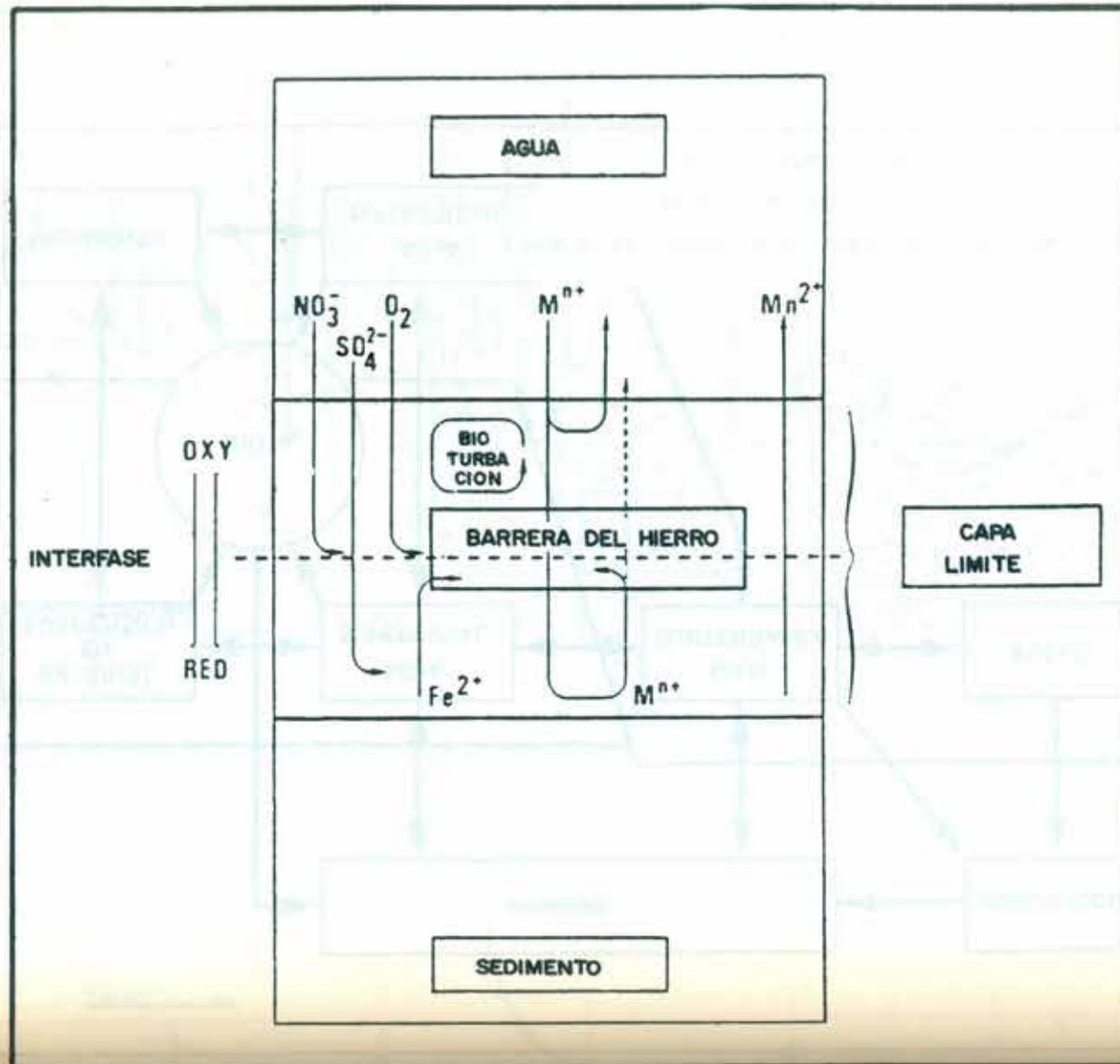


Figura 100. 04. Procesos químicos en la interfase agua-sedimento.
 (Cortado de: *Química del Medio Ambiente*, 1980, p. 100)

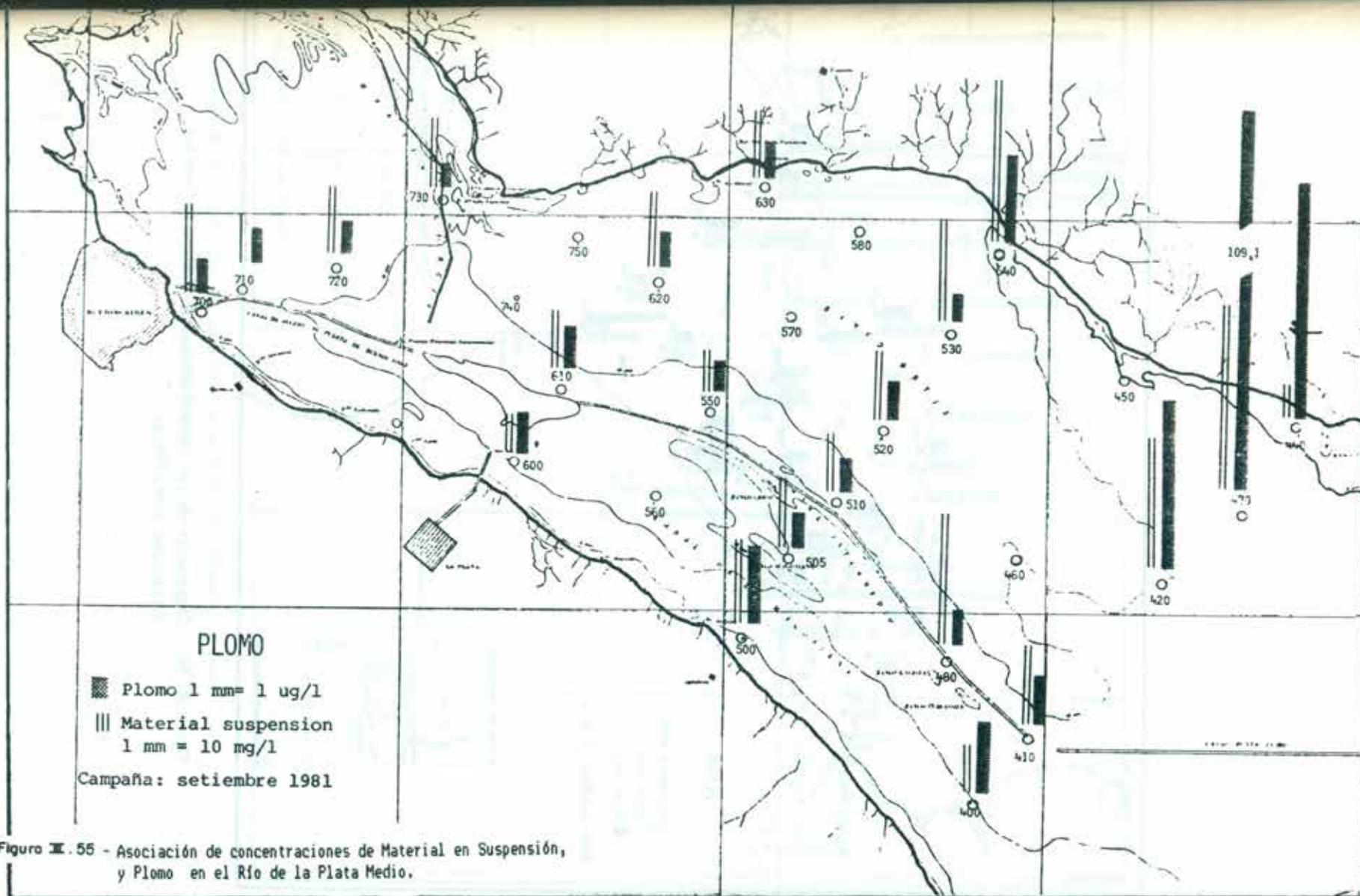
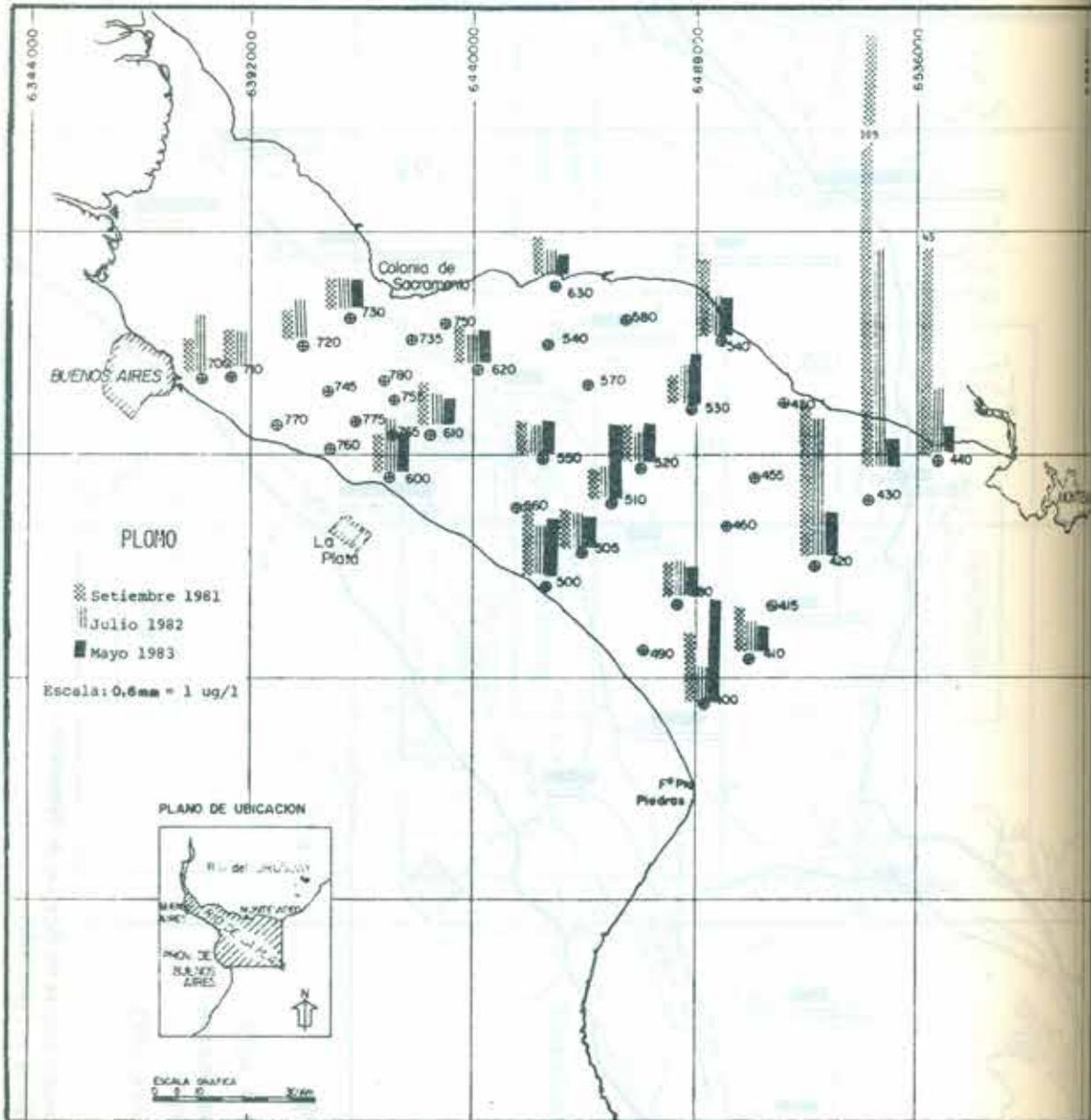


Figura III.55 - Asociación de concentraciones de Material en Suspensión, y Plomo en el Río de la Plata Medio.



Figuro III. 56 - Comparación de las concentraciones de Plomo en diferentes situaciones hidrológicas.

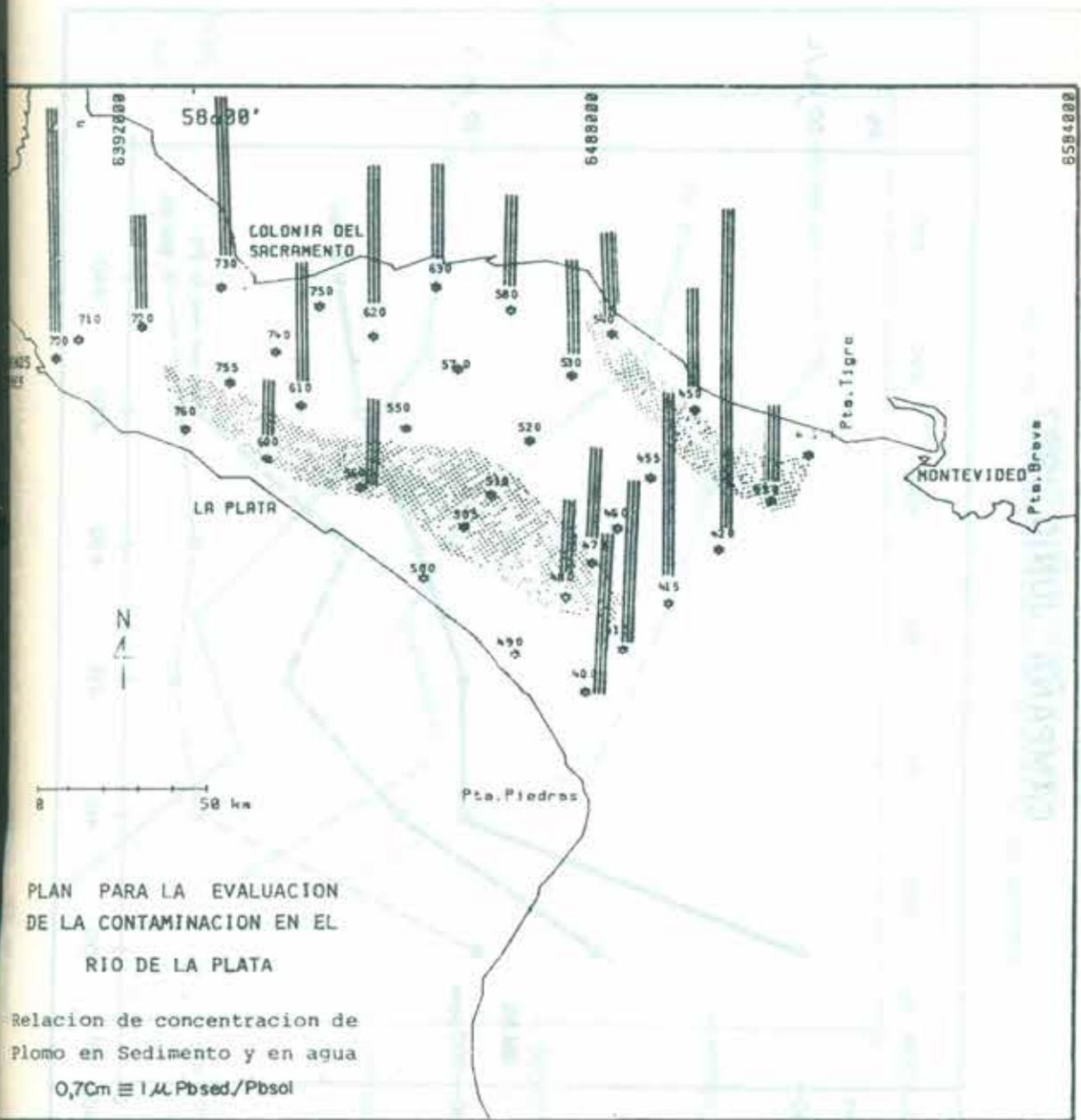


Figura III.57 - Relación de concentración de Plomo en sedimentos y agua en el Río de la Plata Medio.

CAMPAÑA JUNIO 1987

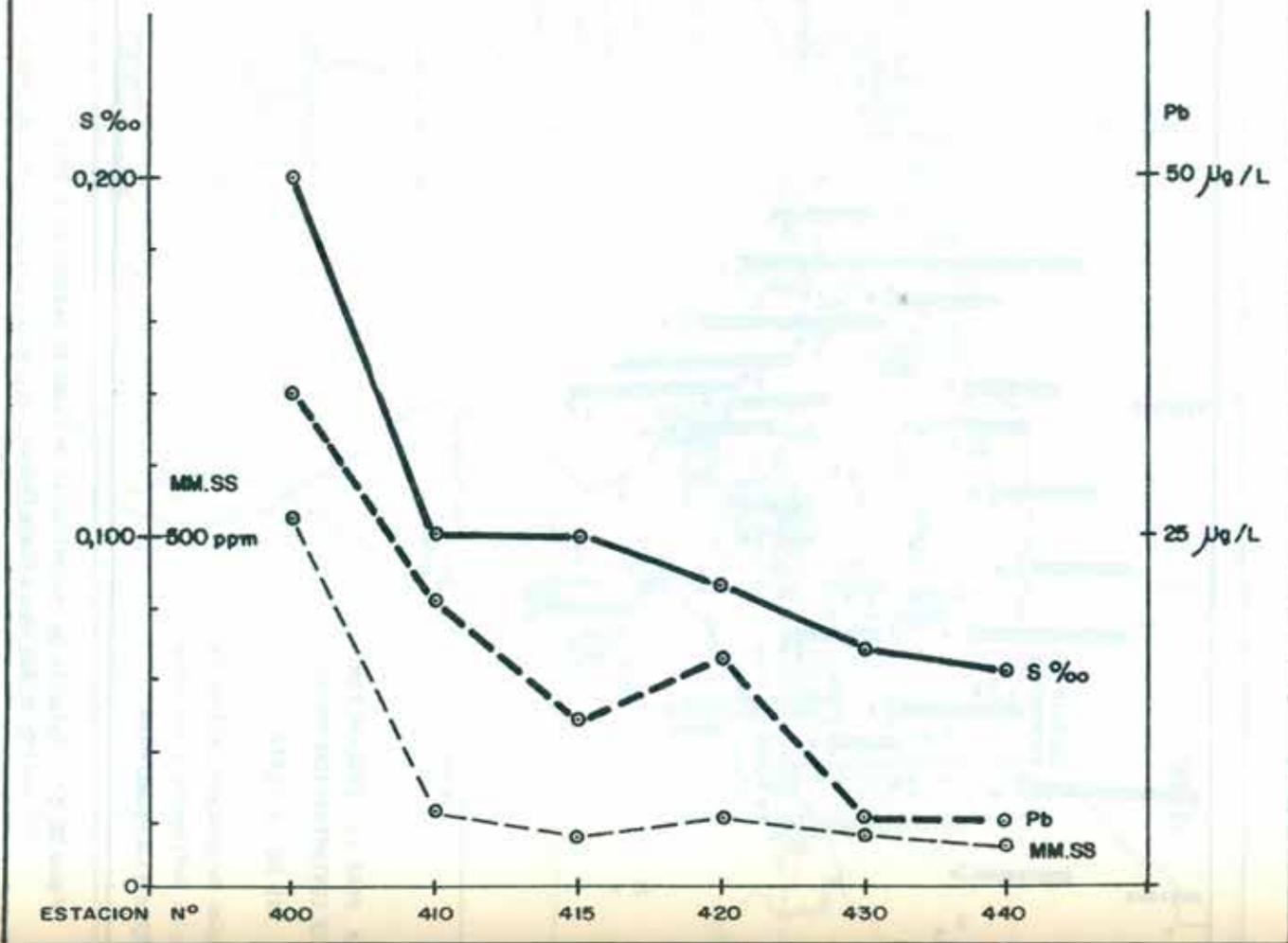
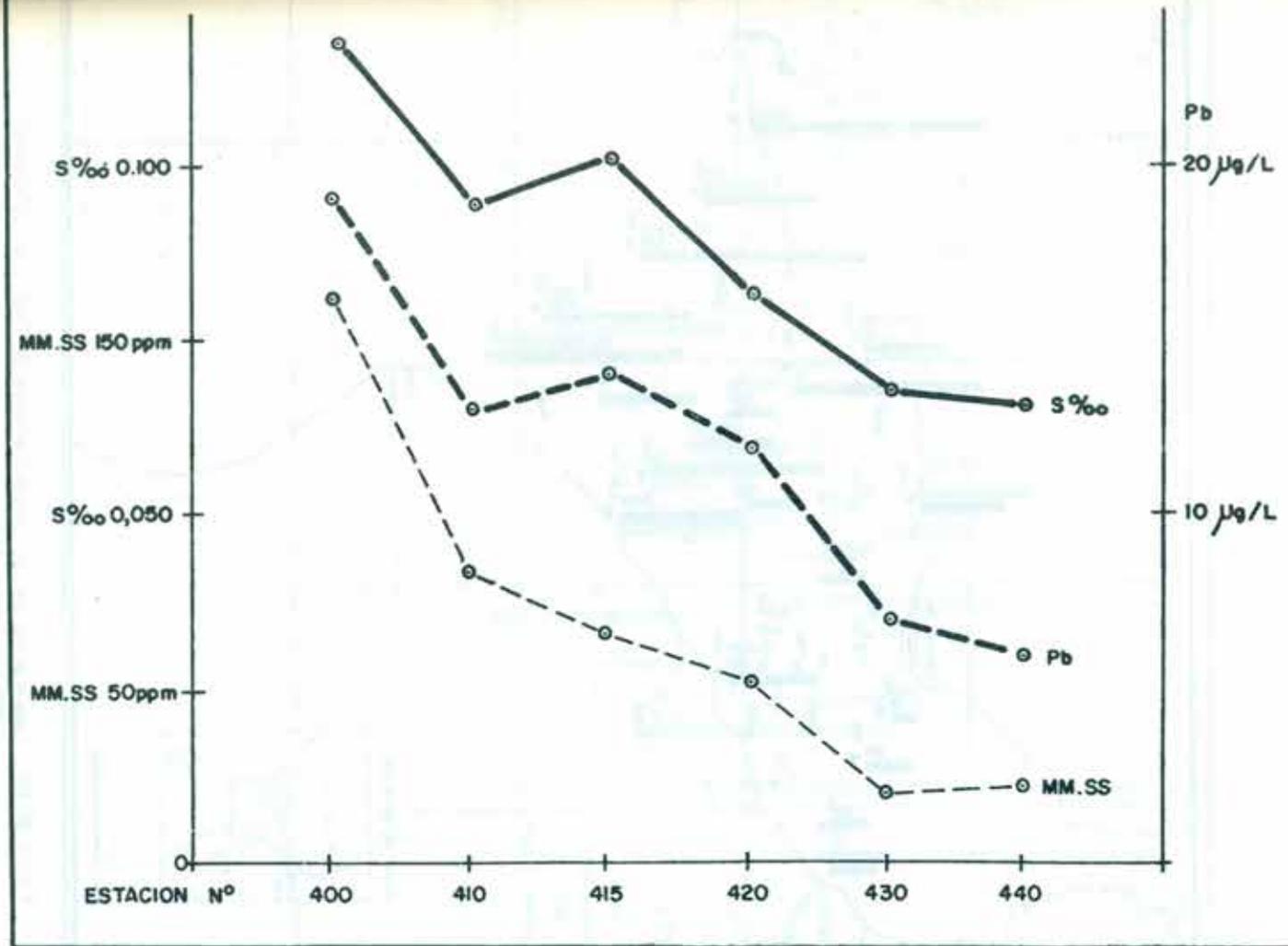
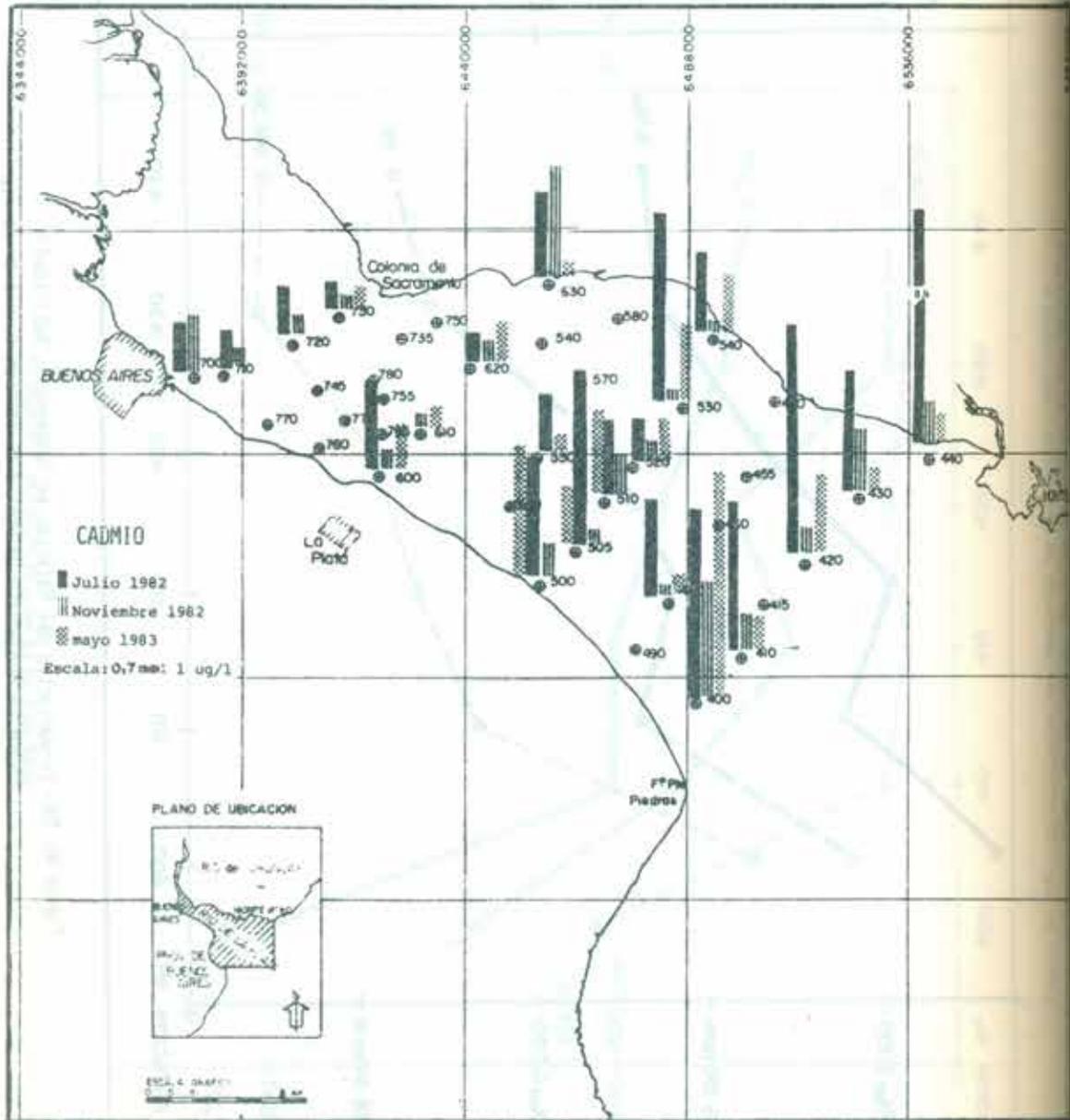


Figura III.58 - Co-variación del Material en Suspensión, Salinidad y Plomo en la campaña de Junio de 1987 en el Río de la Pija.

CAMPAÑA AGOSTO 1987



Figuro III. 59- Co-variación del Material en Suspensión, Salinidad y Plomo en la campaña de Agosto de 1987 en el Río de la Plata Medio.



Figuro III. 60 - Comparación de las concentraciones de Cadmio en diferentes situaciones hidrológicas.

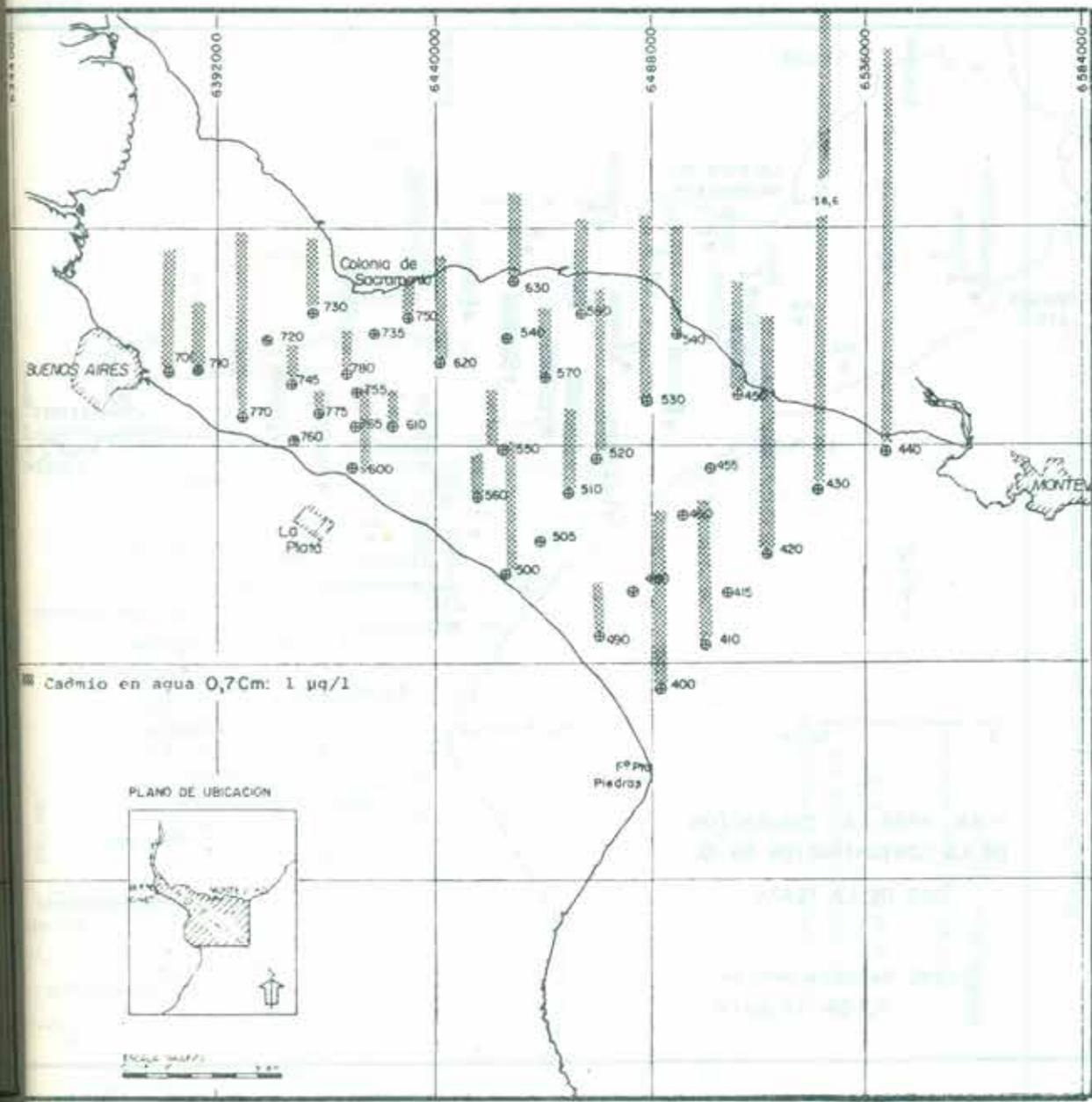
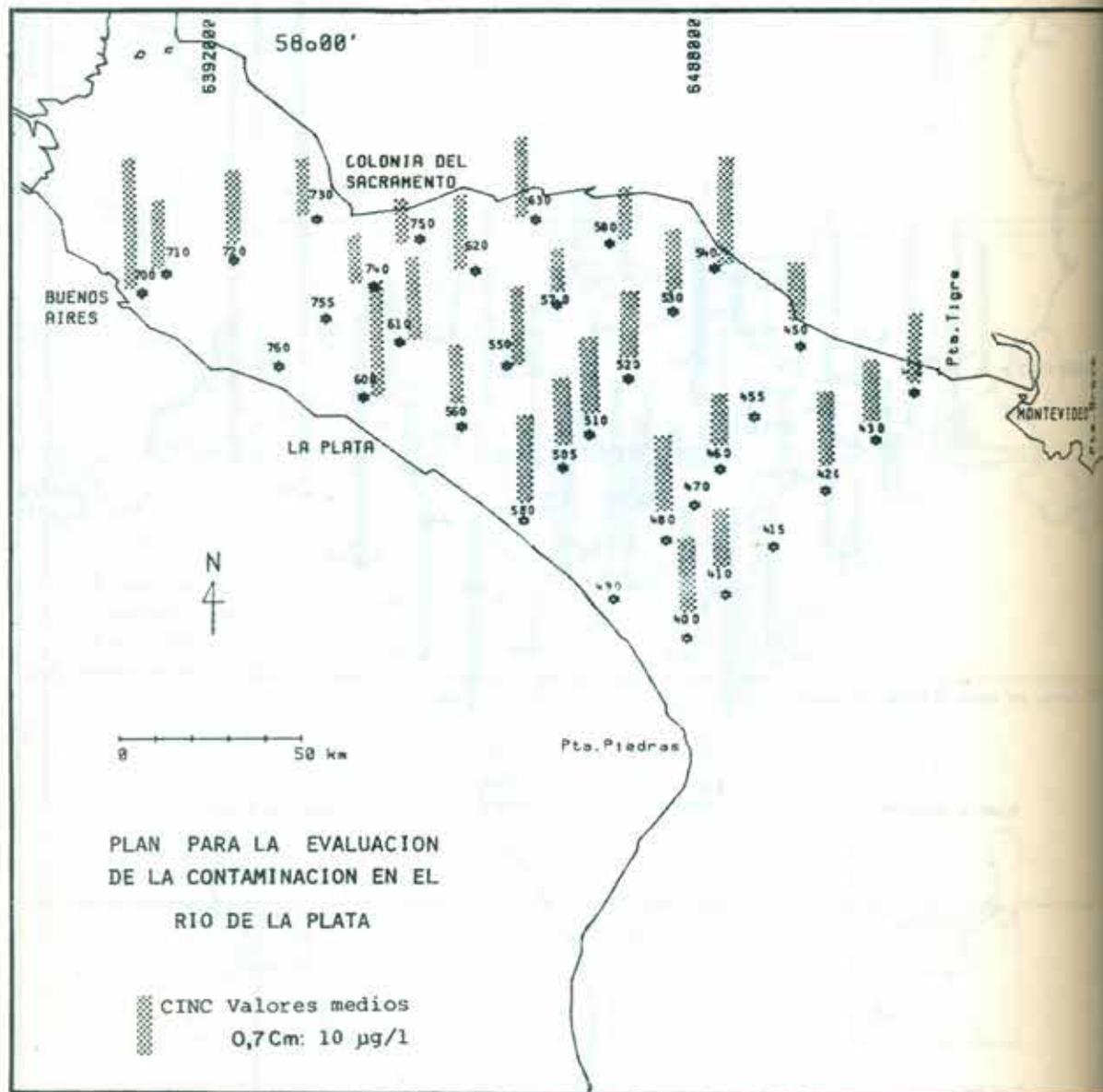


Figura III.61 - Cadmio en solución en el Río de la Plata Medio.



Figuro III. 62 Valores medios de Cinc en solución en el Río de la Plata Medio.

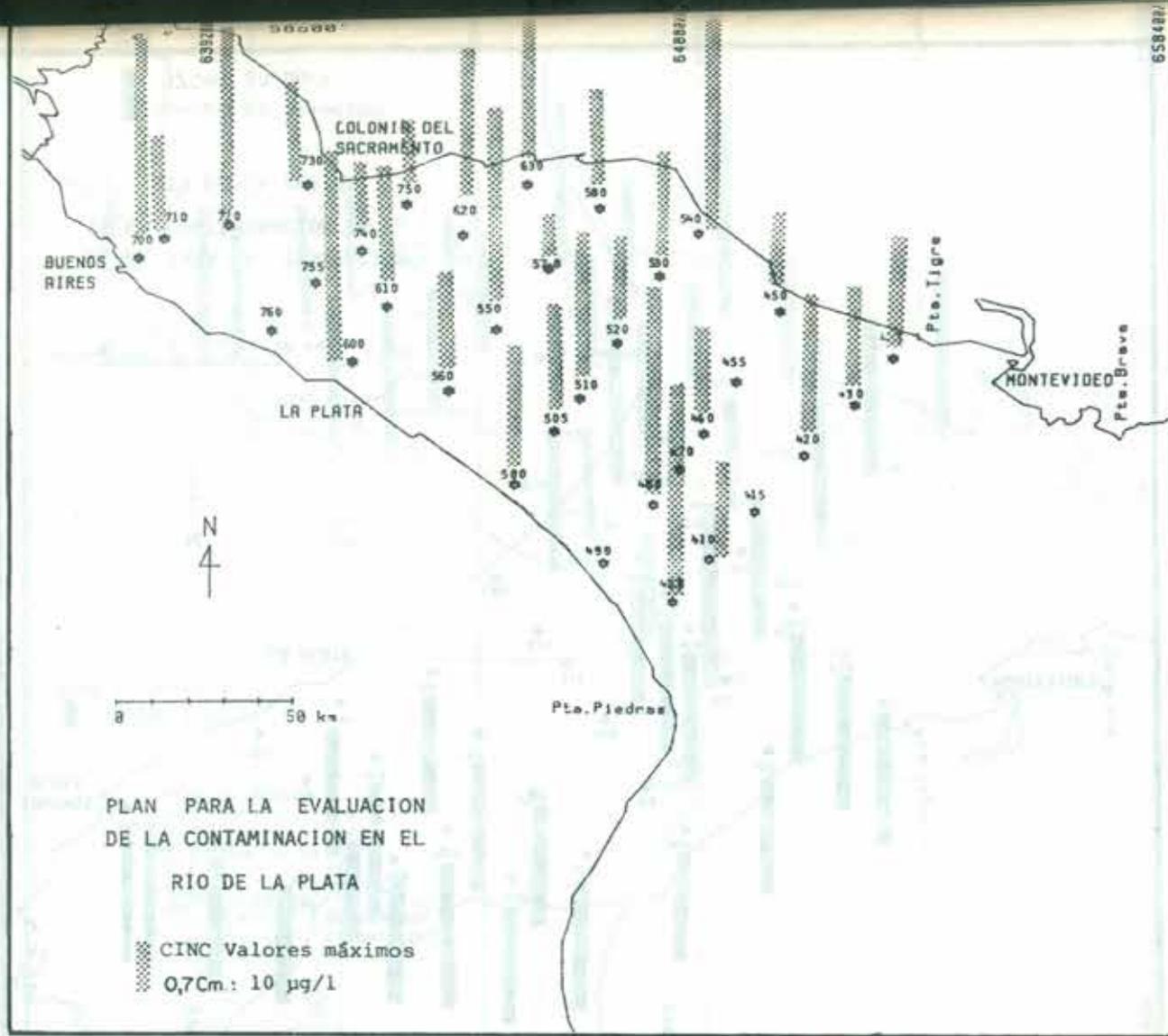


Figura III.63 Valores máximos de Cinc en solución en el Río de la Plata Medio.

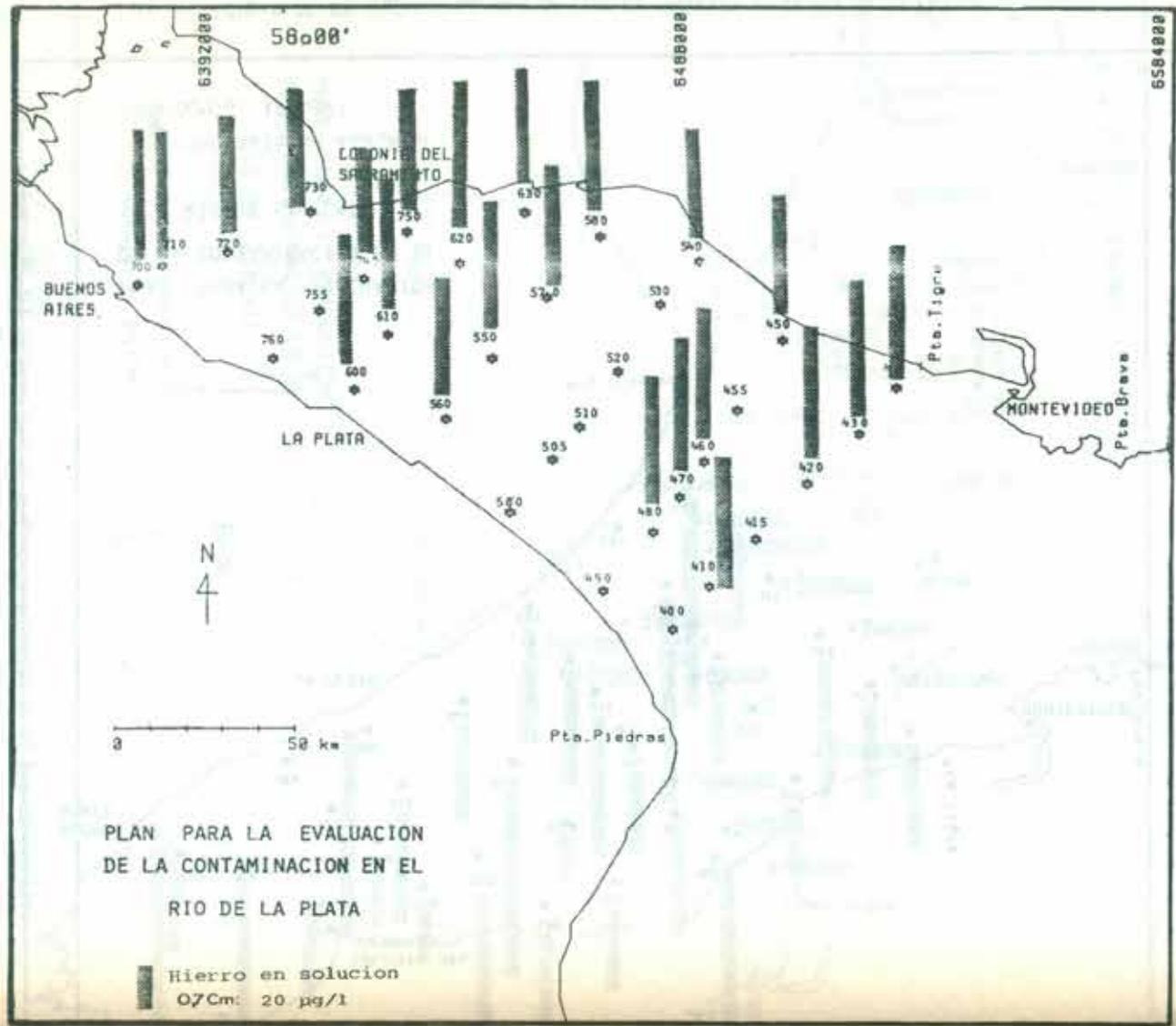
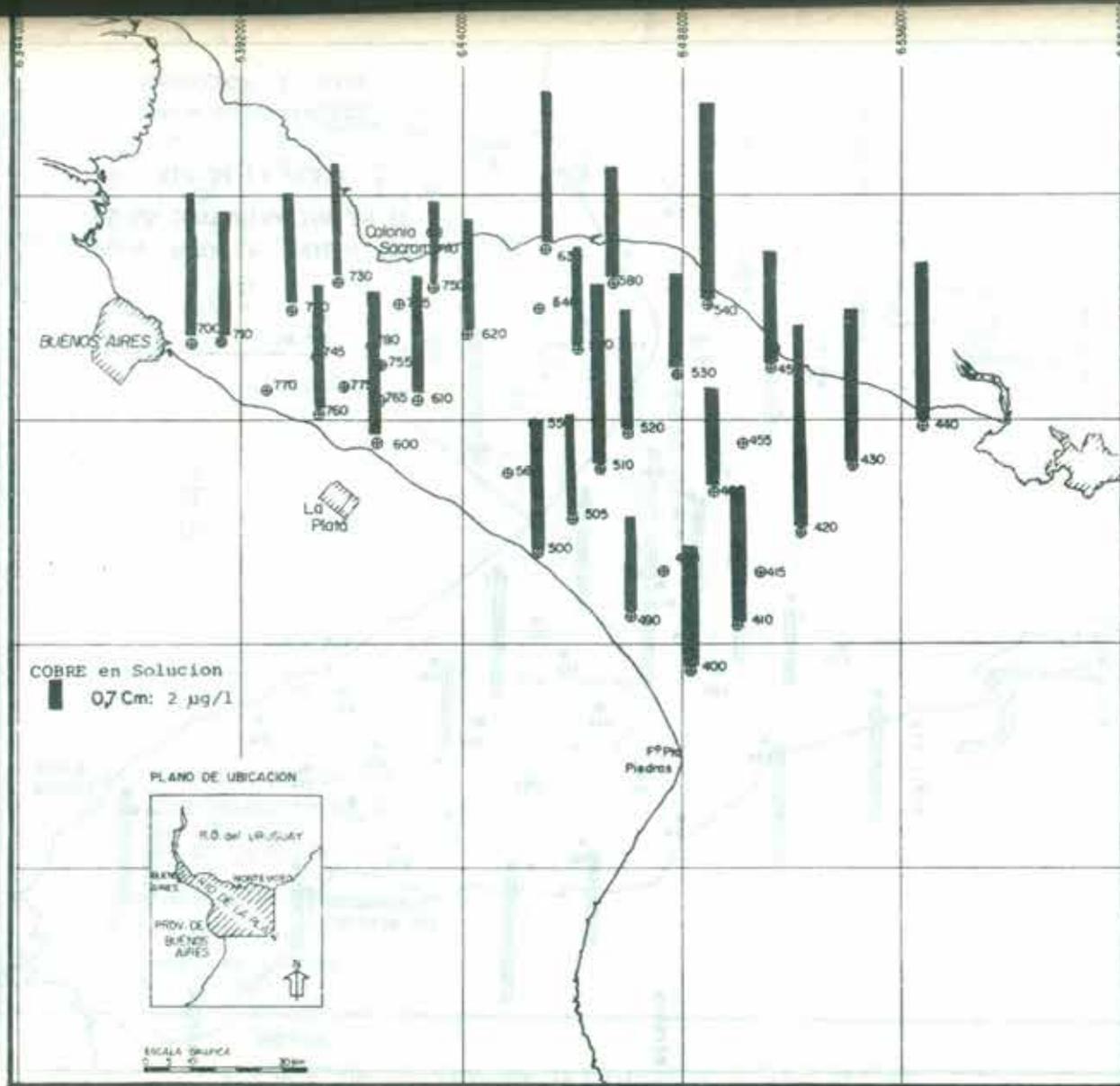


Figura 30.04 Hierro en solución en el Río de la Plata Medio



Figuro III .65 - Cobre en solución en el Río de la Plata Medio.

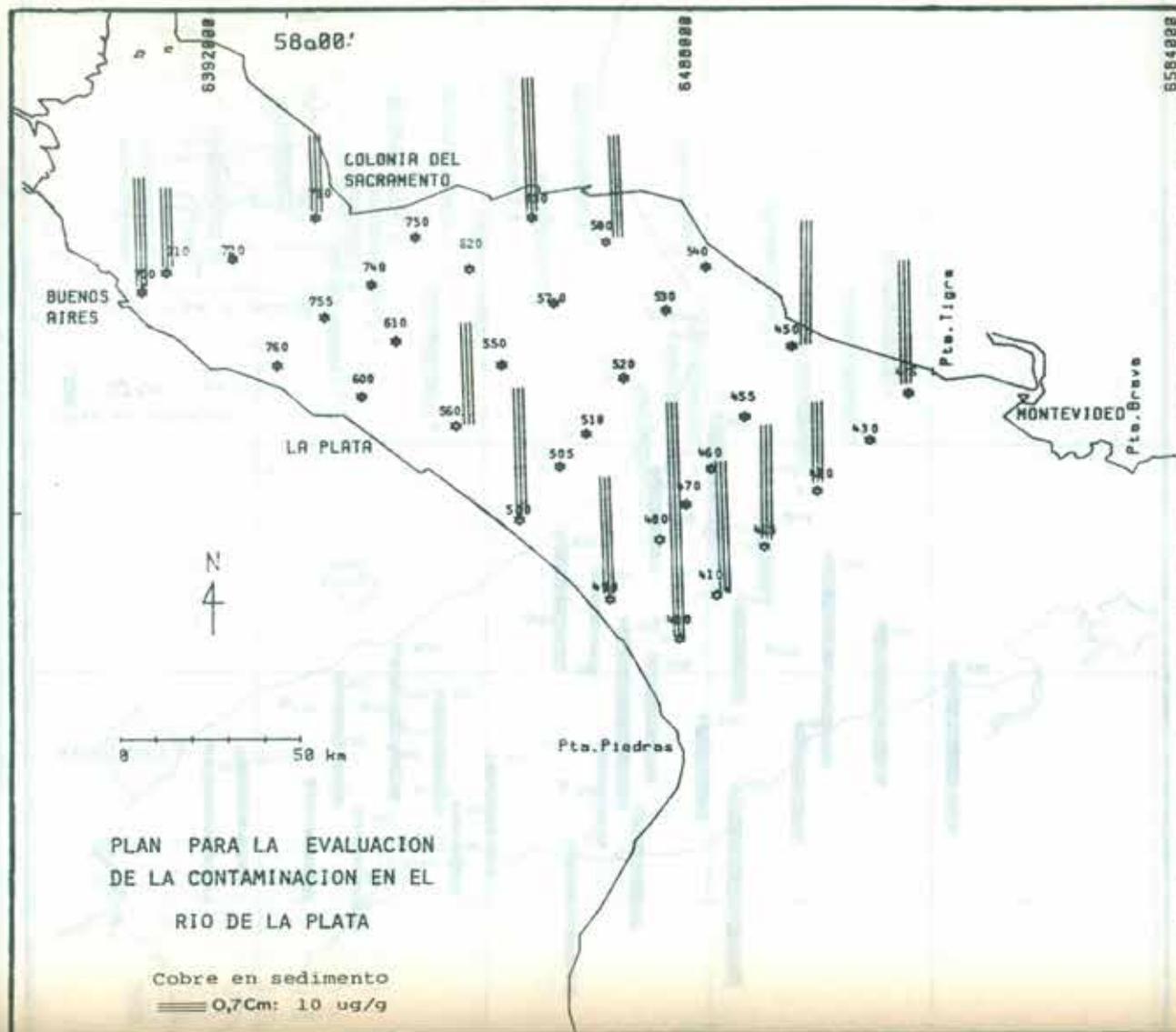


Figura 28 - Cobre en sedimentos en el Río de la Plata Medio.



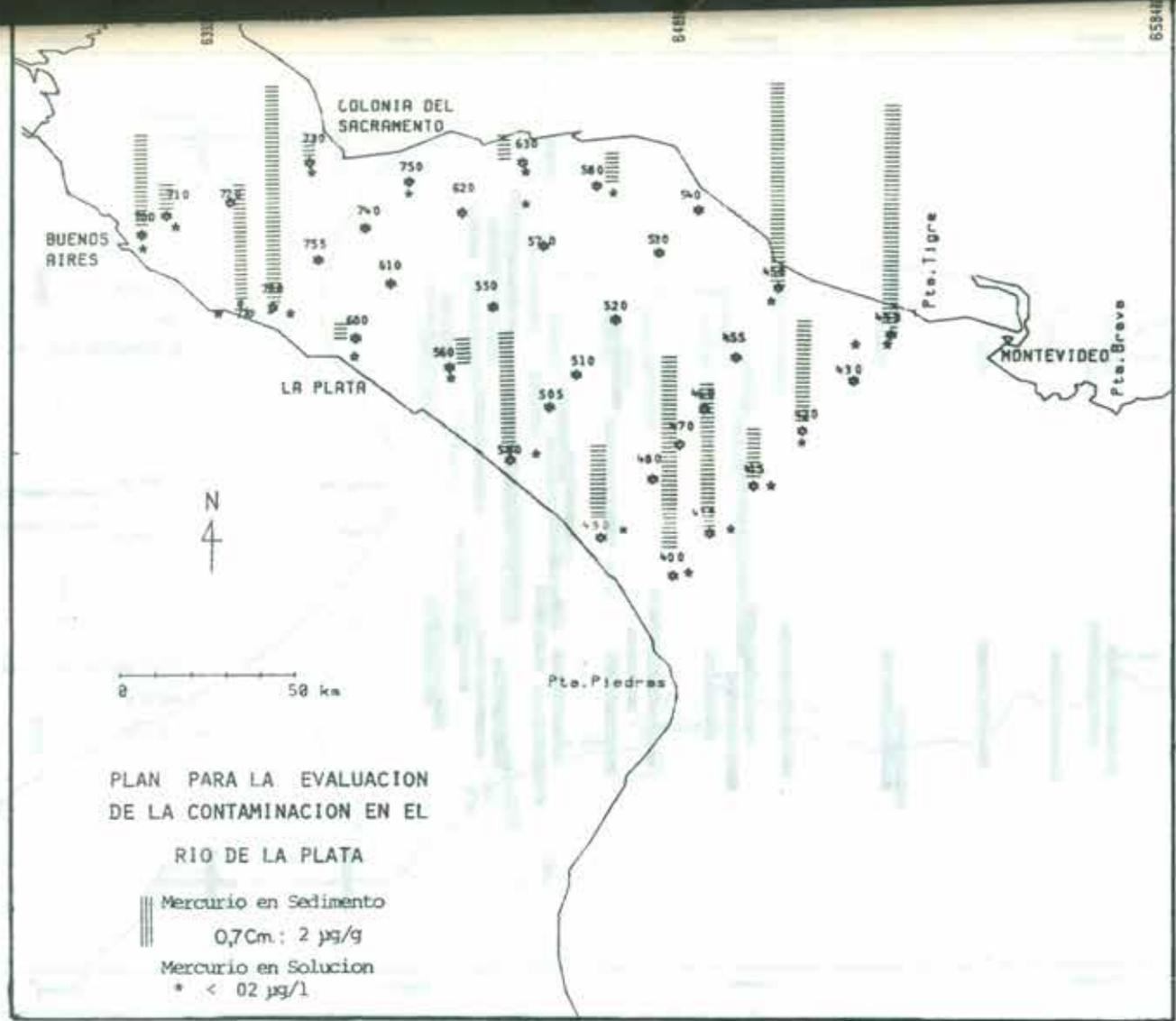


Figura III.67 Mercurio en sedimentos y solución en el Río de la Plata Medio.

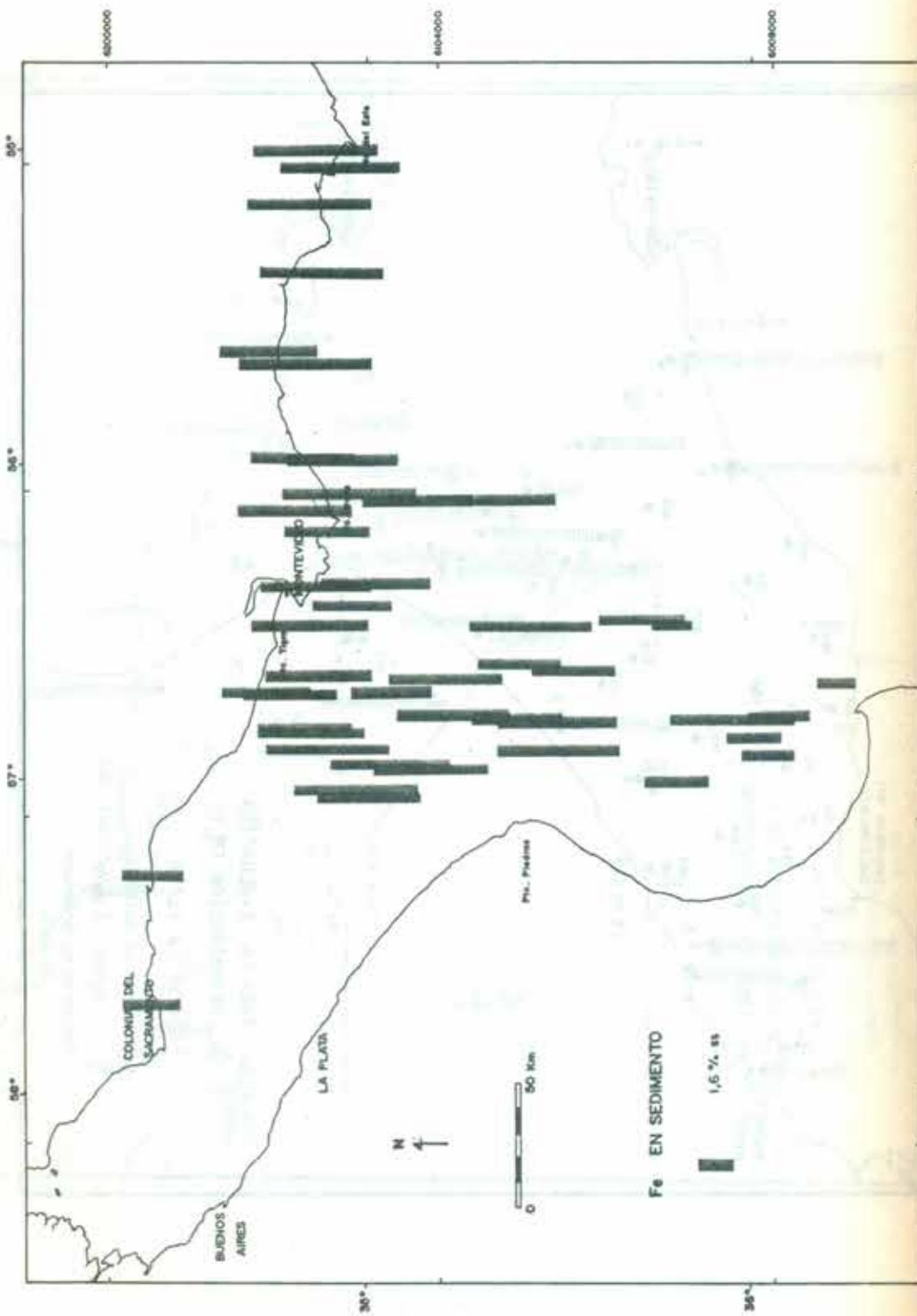
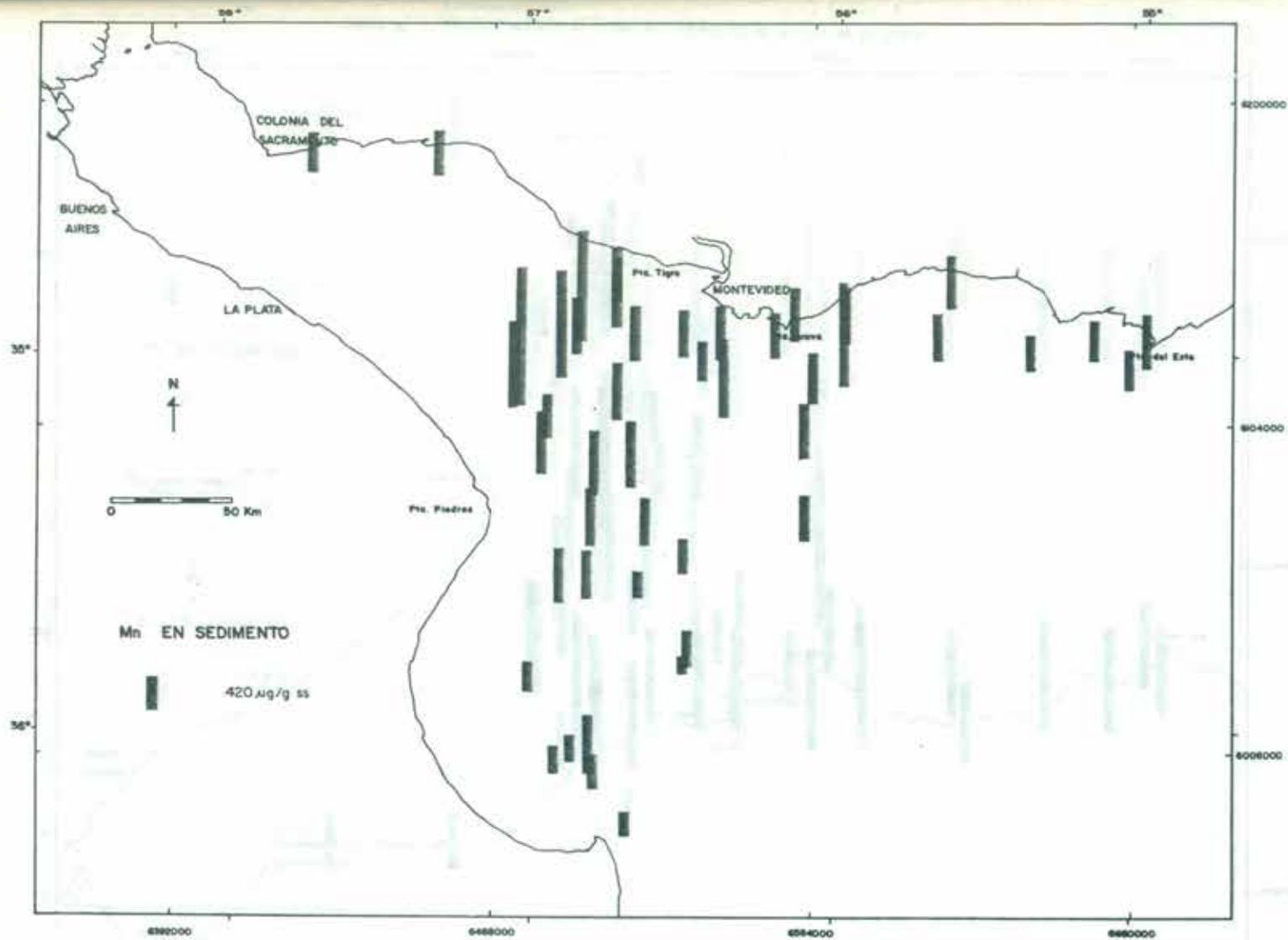


Figura 32. 329. Concentraciones de hierro en sedimentos del Rio de la Plata Exterior.



Figuro III.69 Concentraciones de Manganeso en sedimentos en el Río de la Plata Exterior.

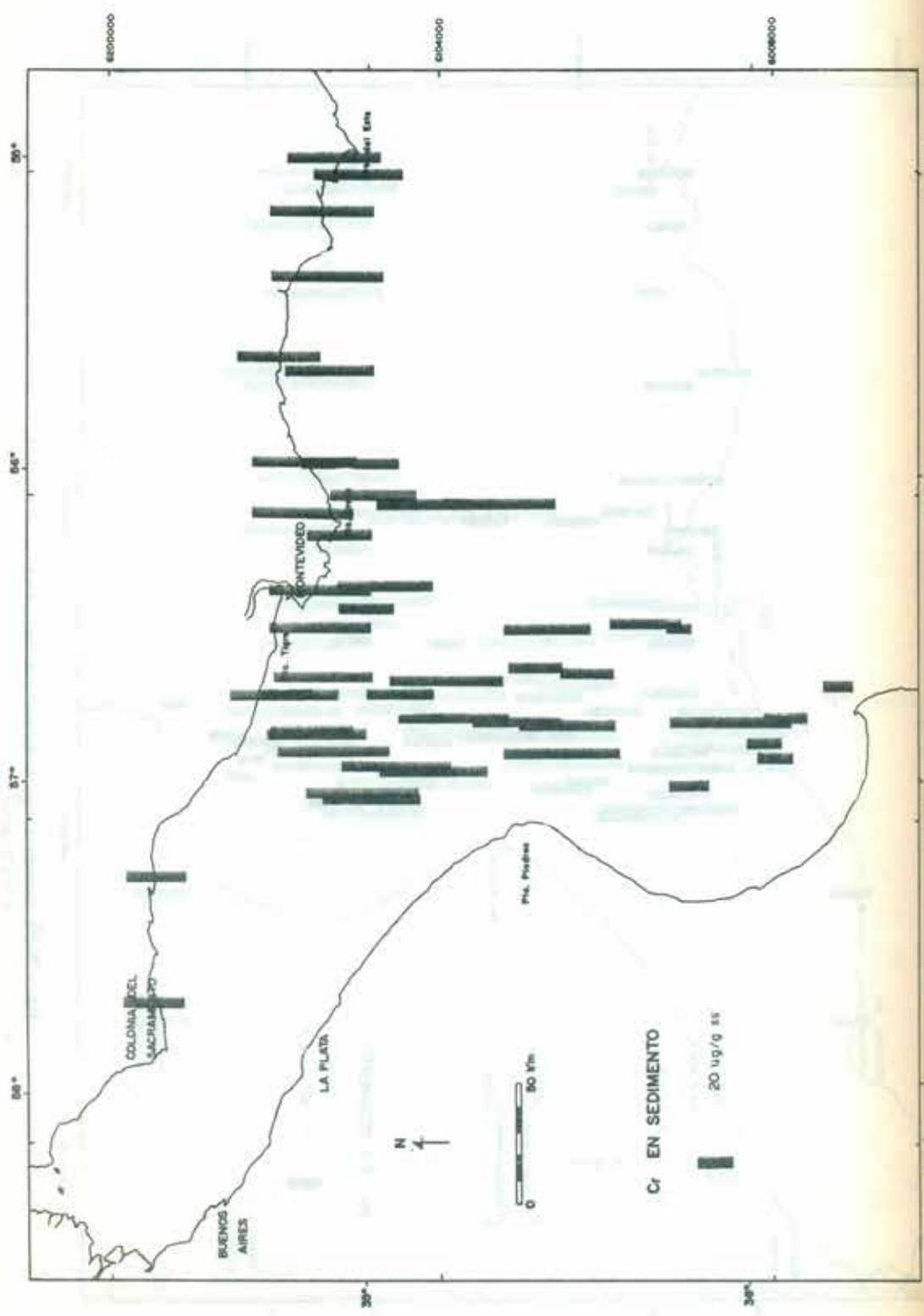


Figura 30. 70 Concentraciones de Cr en sedimentos en el Río de la Plata.

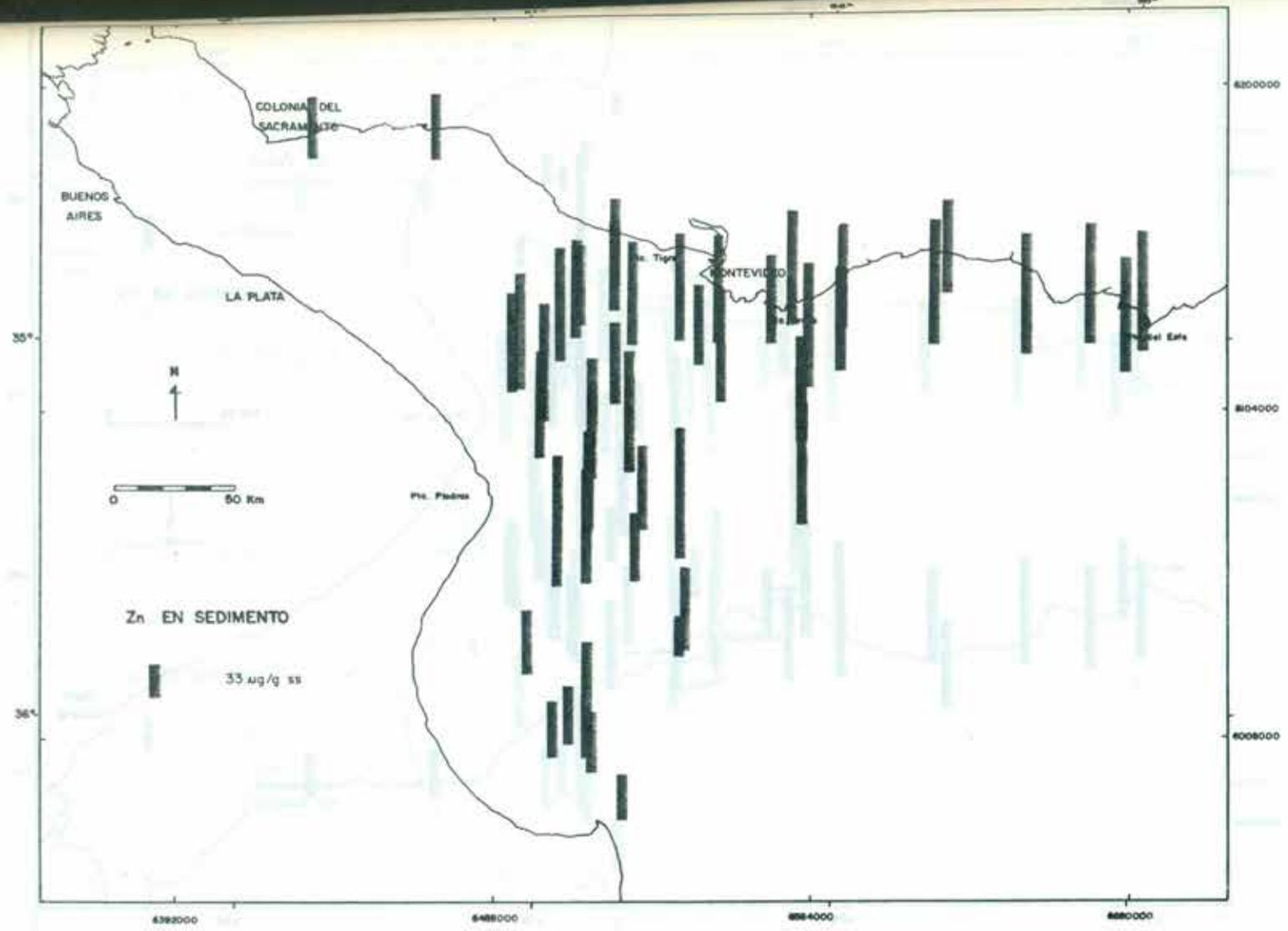


Figura III.71 Concentraciones de Cinc en sedimentos en le Río de la Plata Exterior.

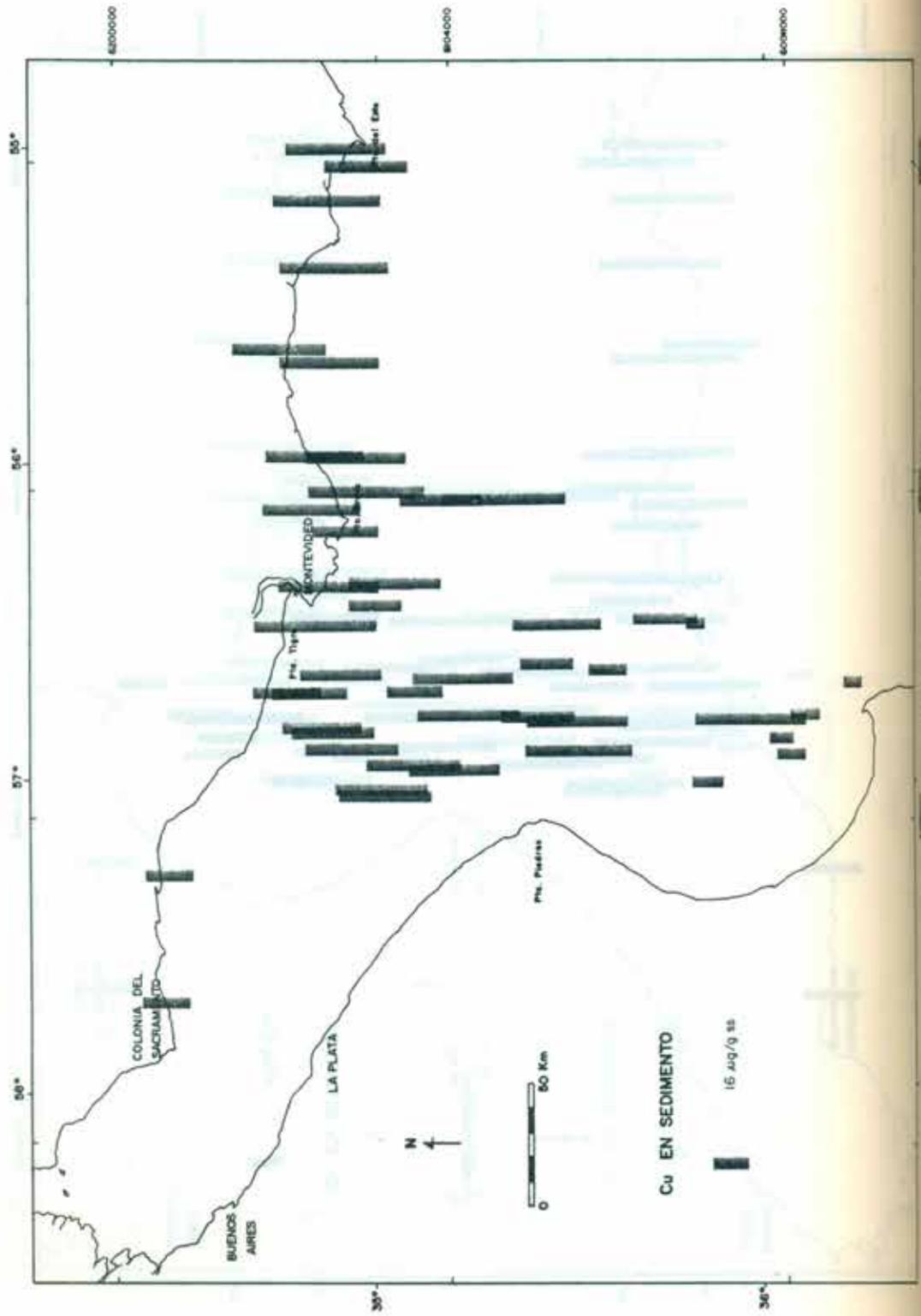


Figura No. 10. Distribución de cobre en sedimentos en el área de estudio.

Figura III. 72 Concentraciones de Cobre en sedimentos en el Río de la Plata Exterior.

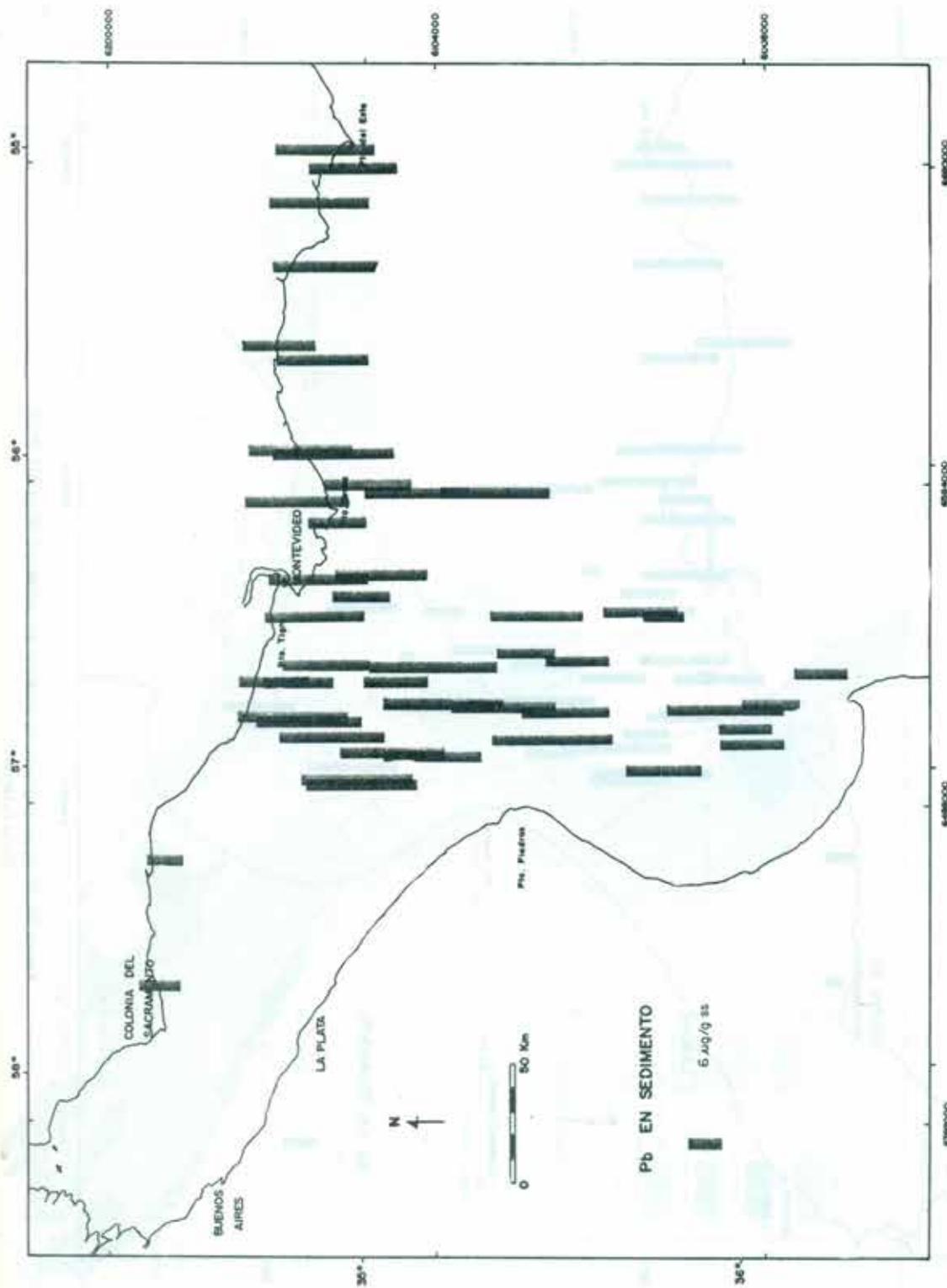


Figura III. 73 Concentraciones de Plomo en sedimentos en el Río de la Plata Exterior.

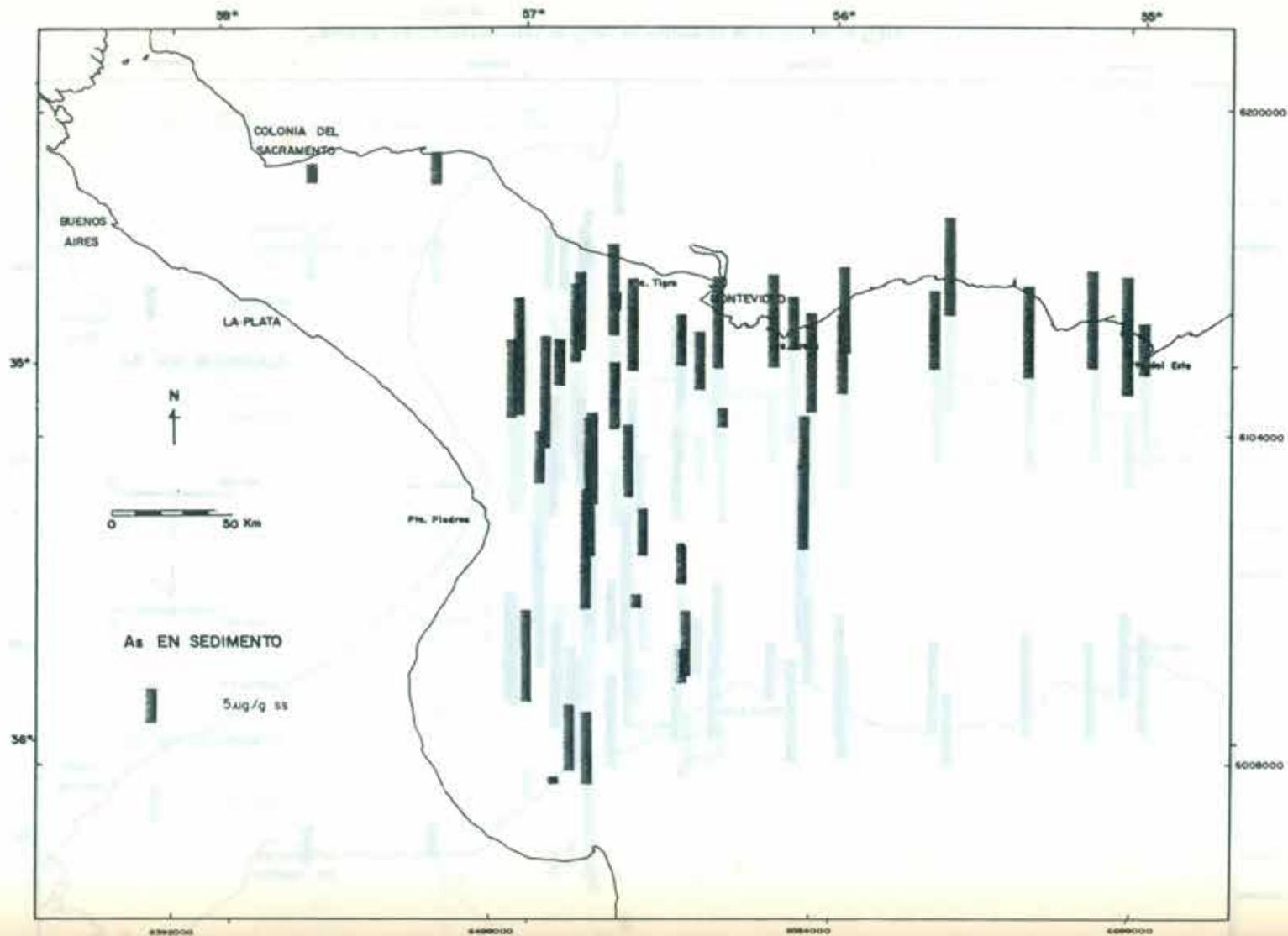


Figura III. 74. Concentraciones de Arsénico en sedimentos en el Río de la Plata Exterior.

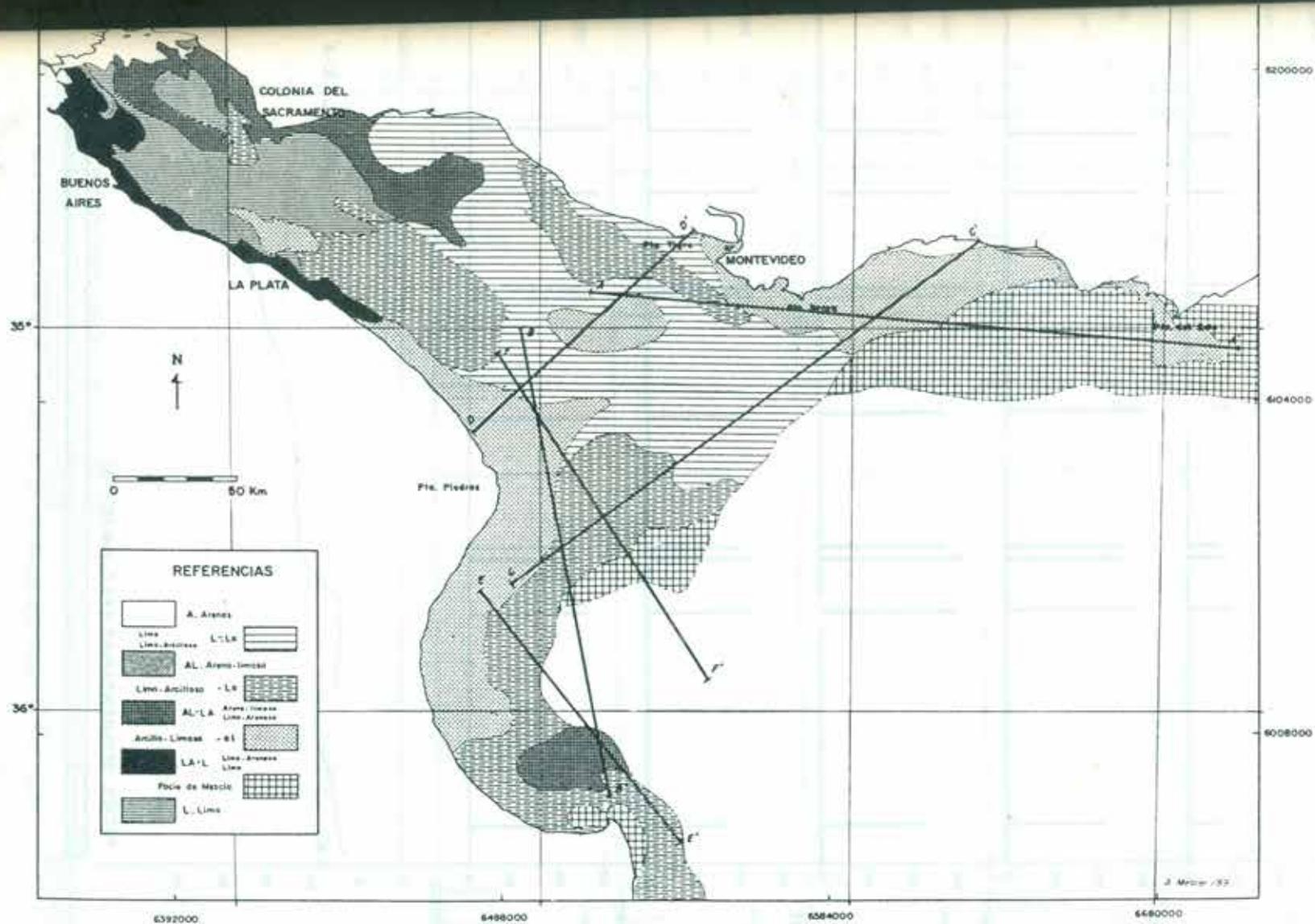


Fig.III.75. Ubicación de Perfiles para el análisis de metales pesados en el sedimento, según la facie sedimentaria.-

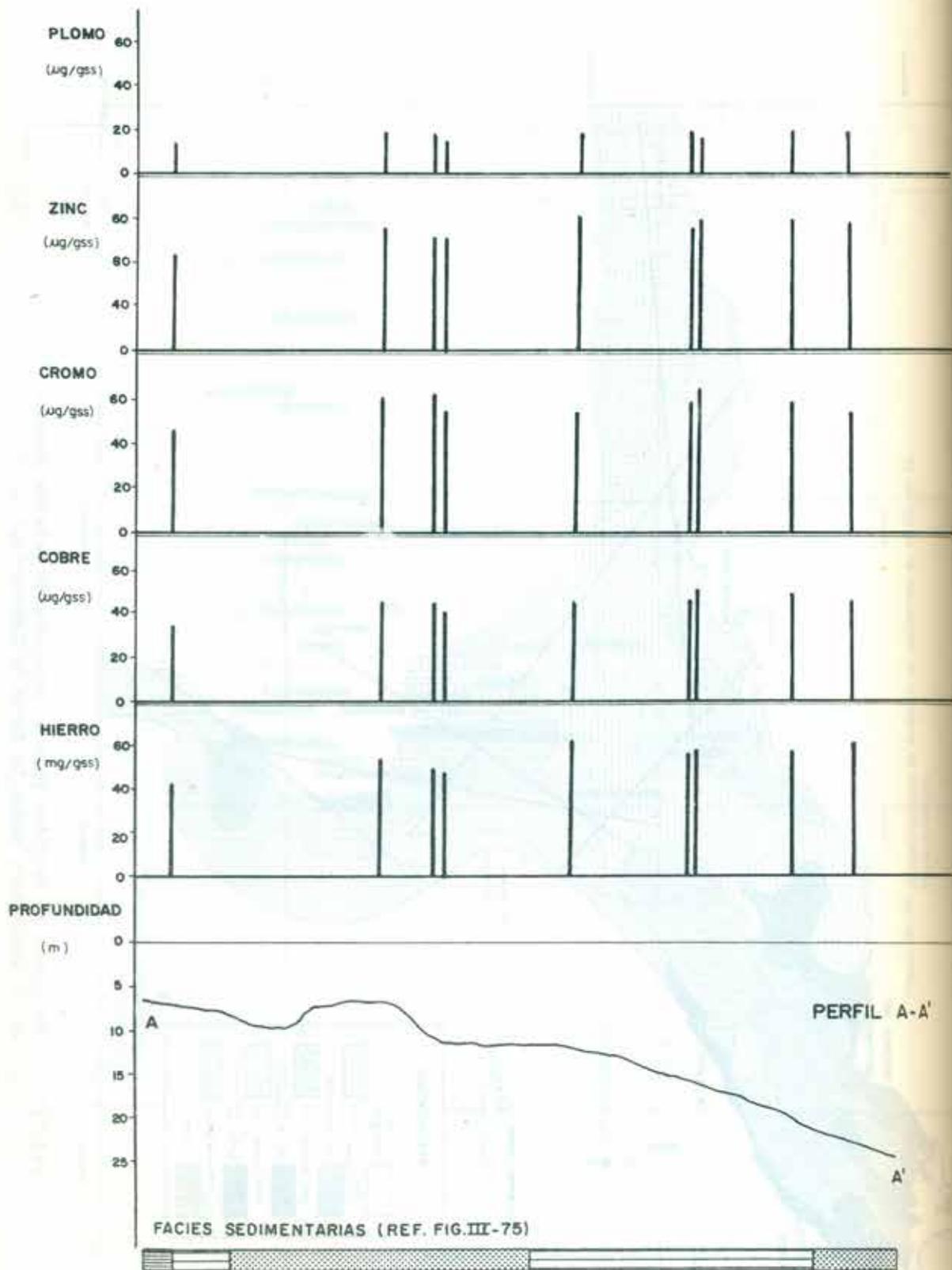


Fig.III.76.- Concentraciones de Pb, Zn, Cu, Cr, y Fe en el Perfil A-A'

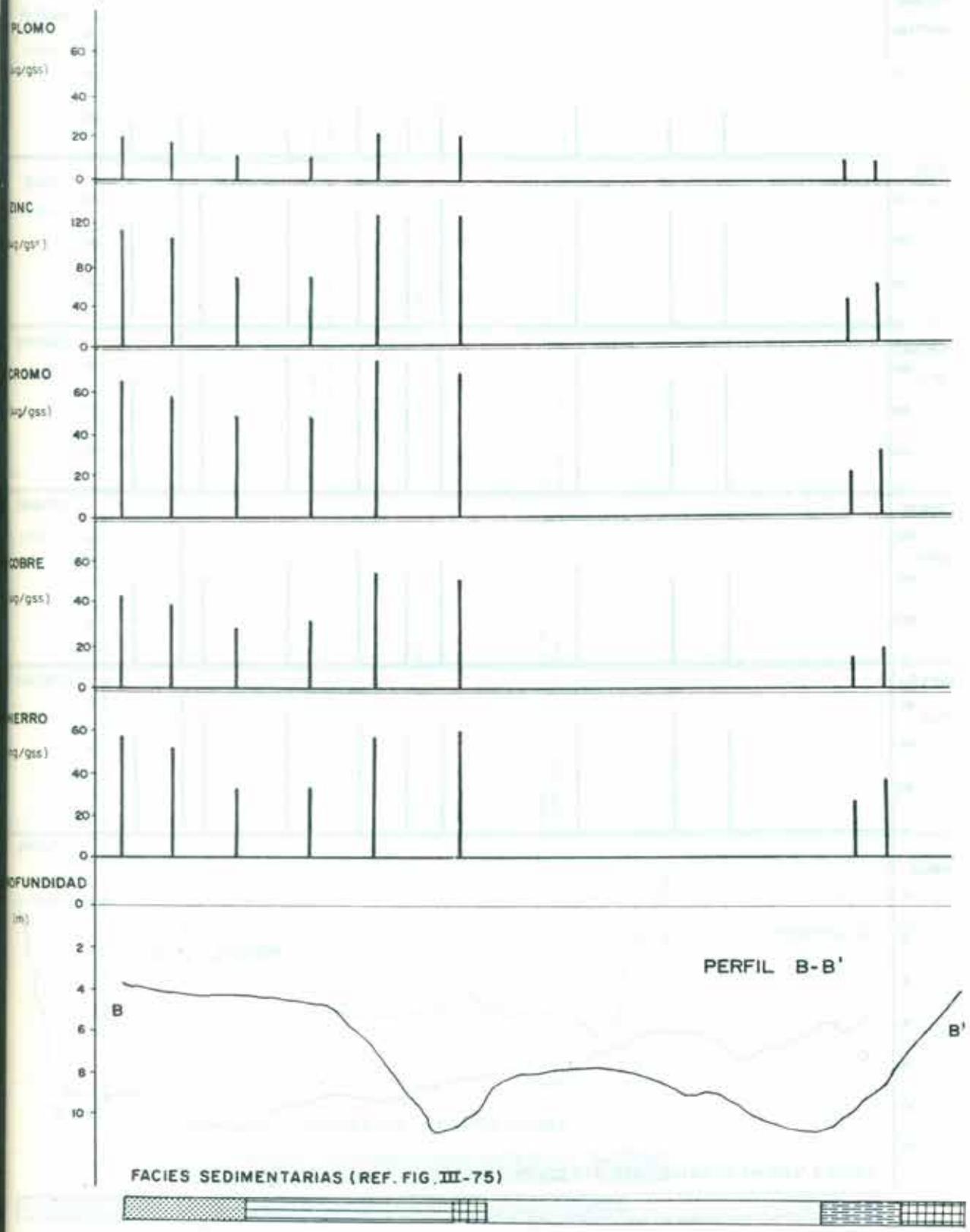


Fig. III.77.- Concentraciones de Pb, Zn, Cu, Cr y Fe en el Perfil B-B'

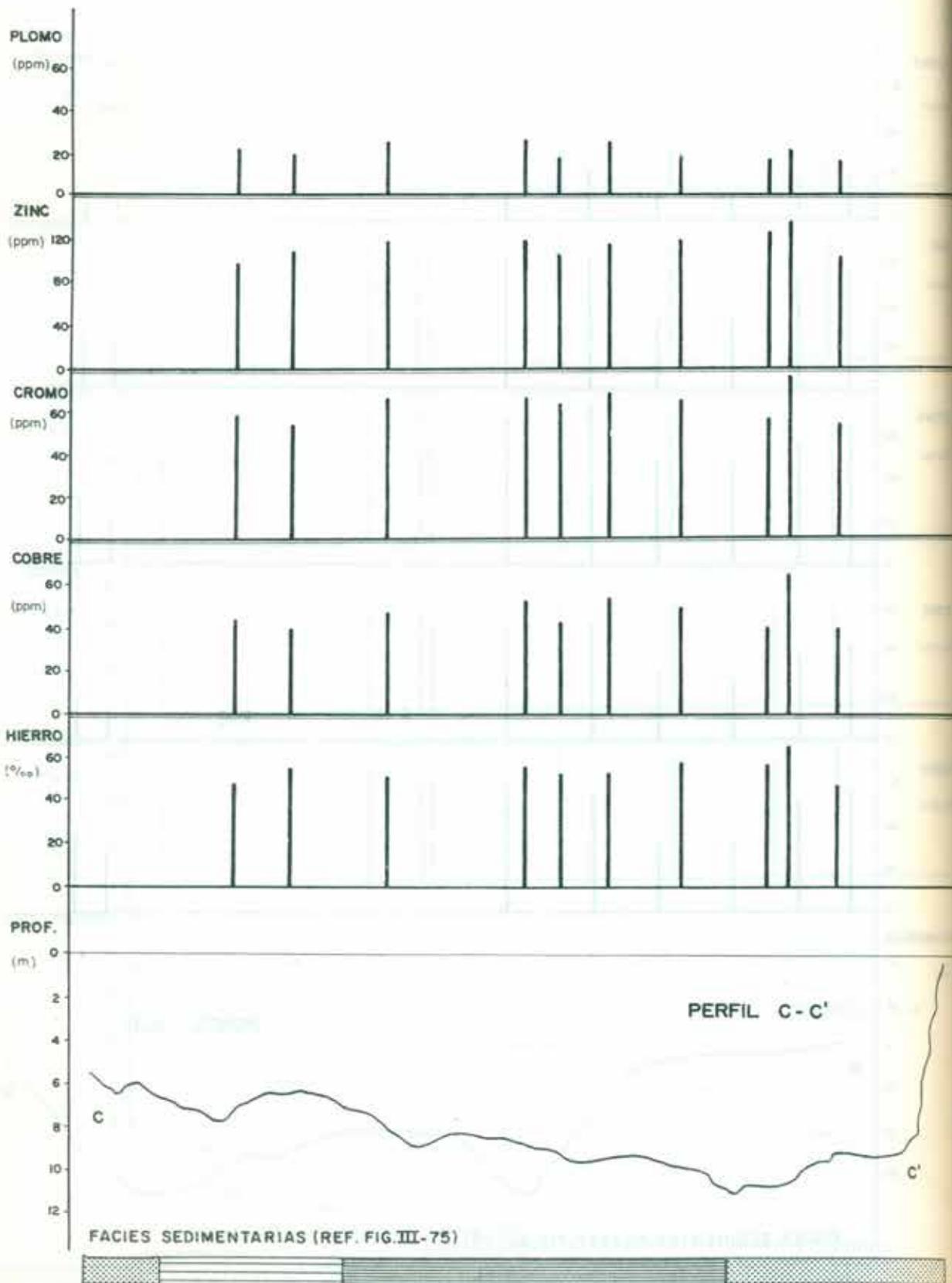


Fig.III.78.- Concentraciones de Pb, Zn, Cu, Cr y Fe en el Perfil C-C'

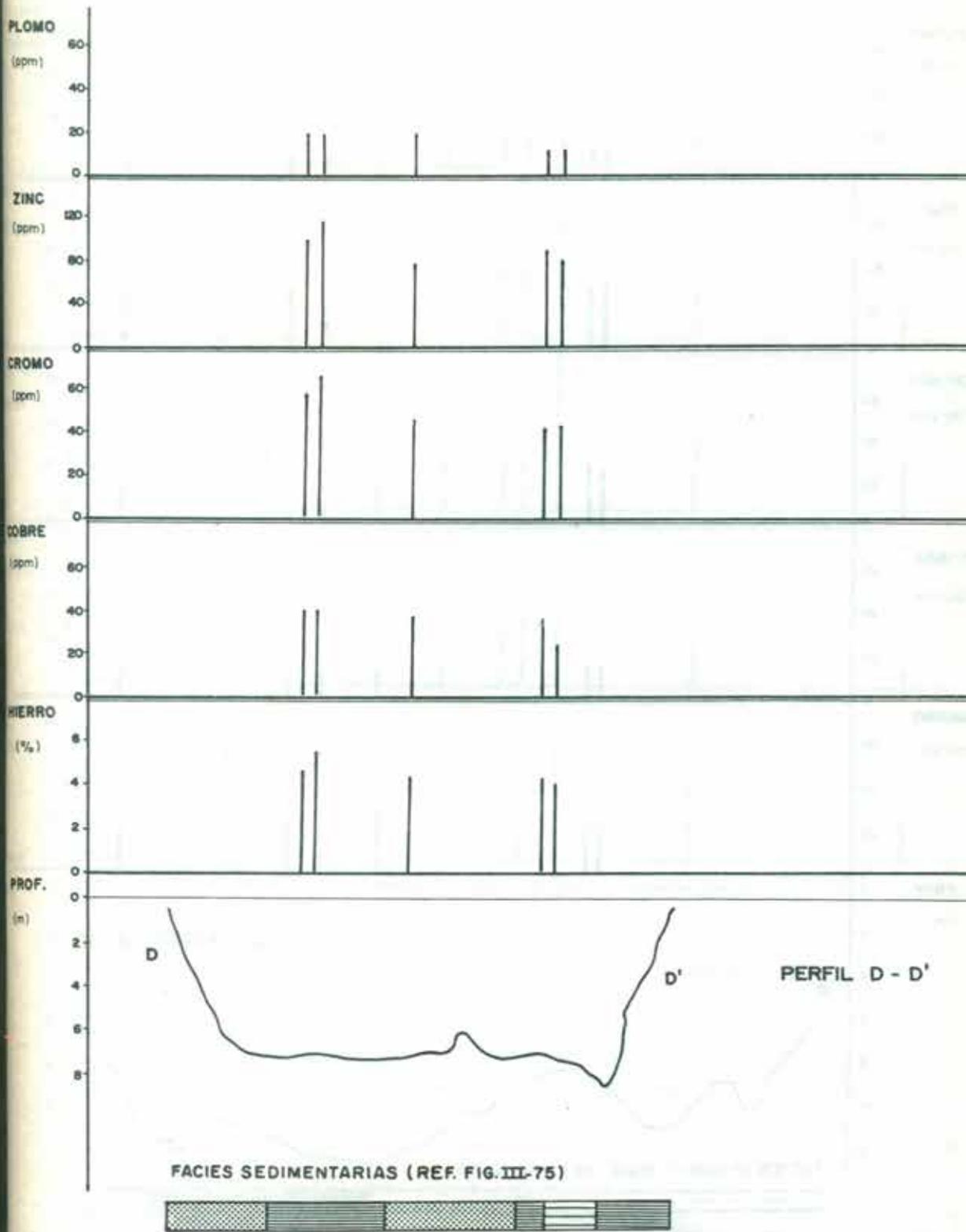


Fig. III.79.- Concentraciones de Pb, Zn, Cu, Cr y Fe en el Perfil D-D'

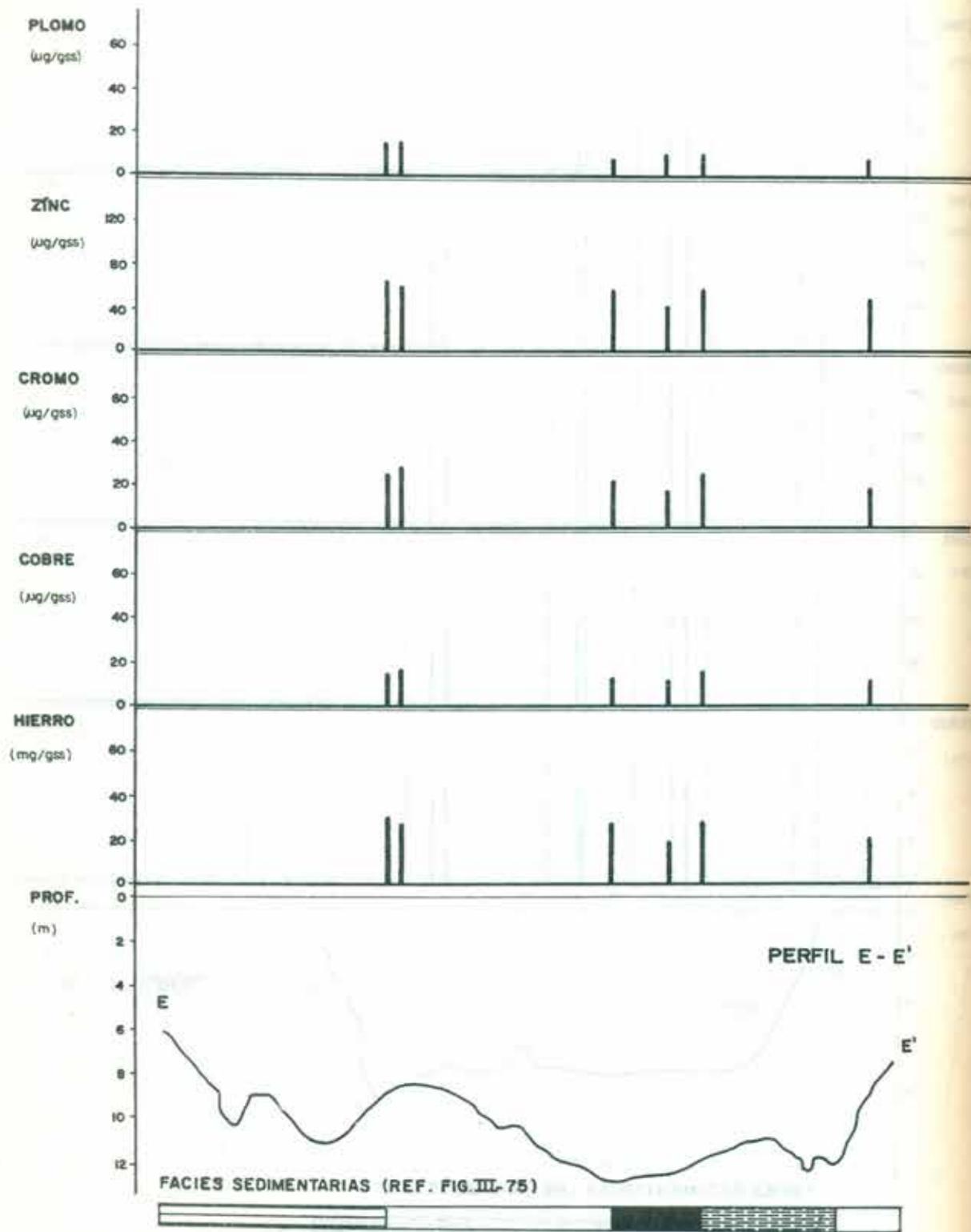


Fig.III.80.- Concentraciones de Pb, Zn, Cu, Cr y Fe en el Perfil E-E'

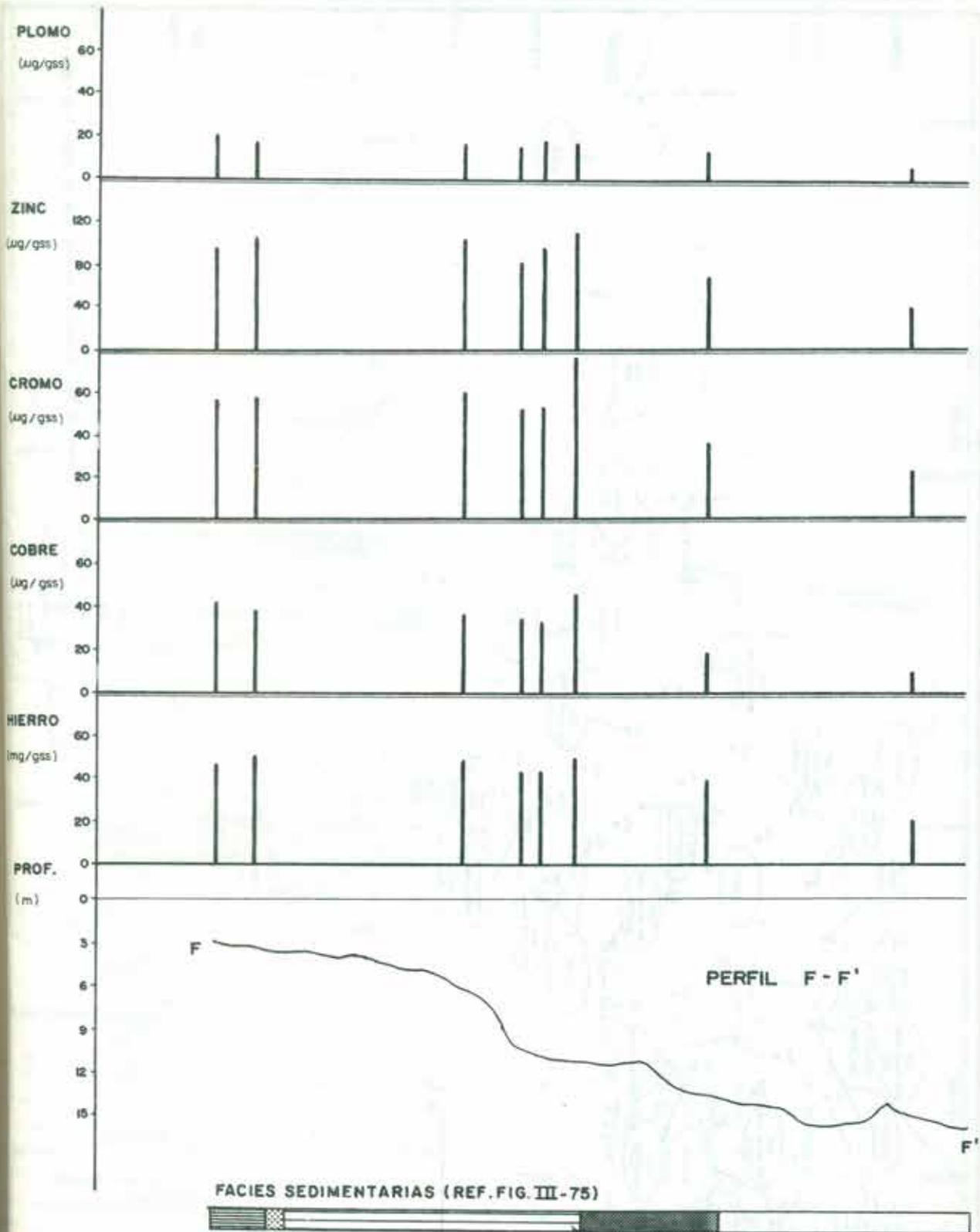
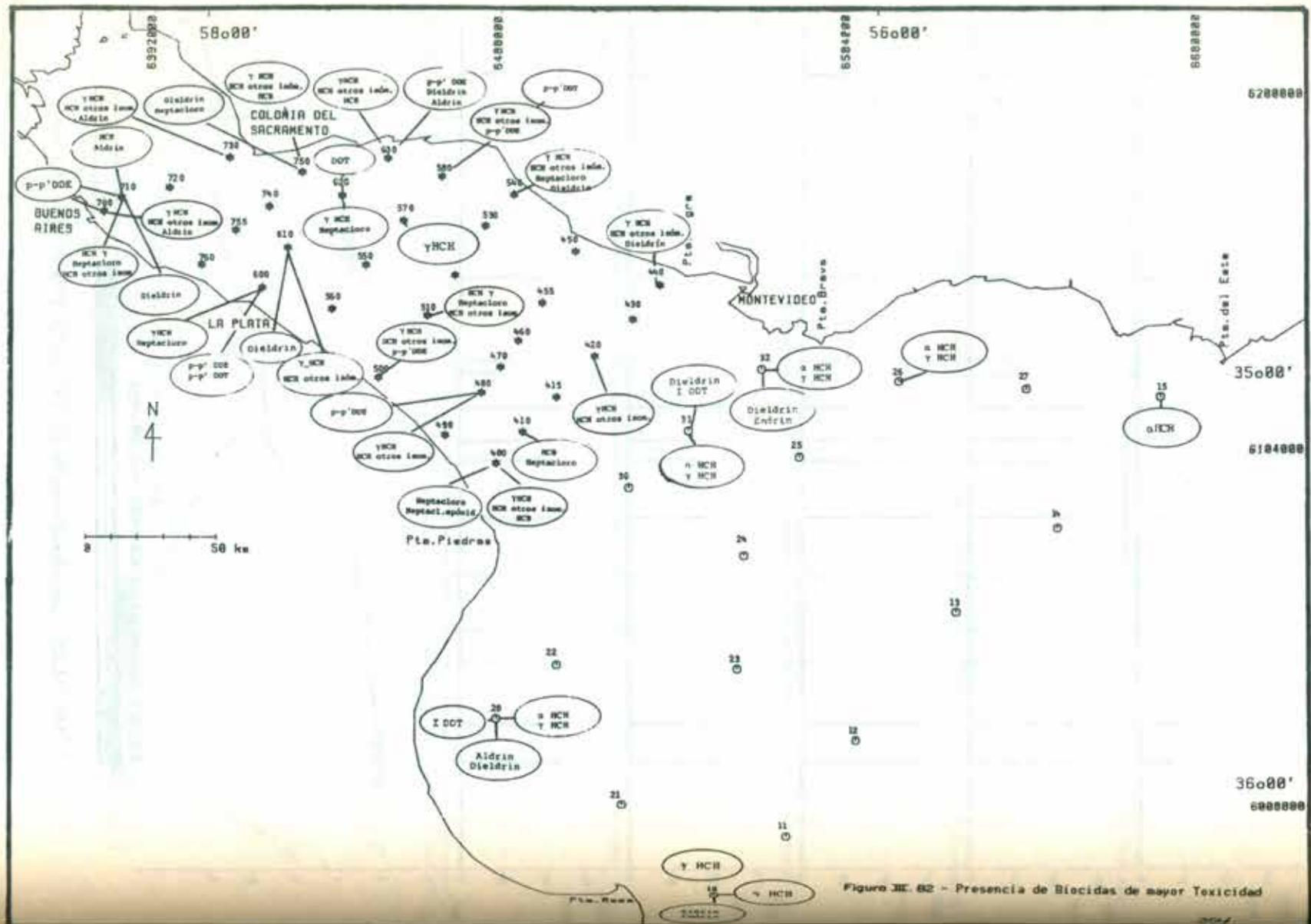
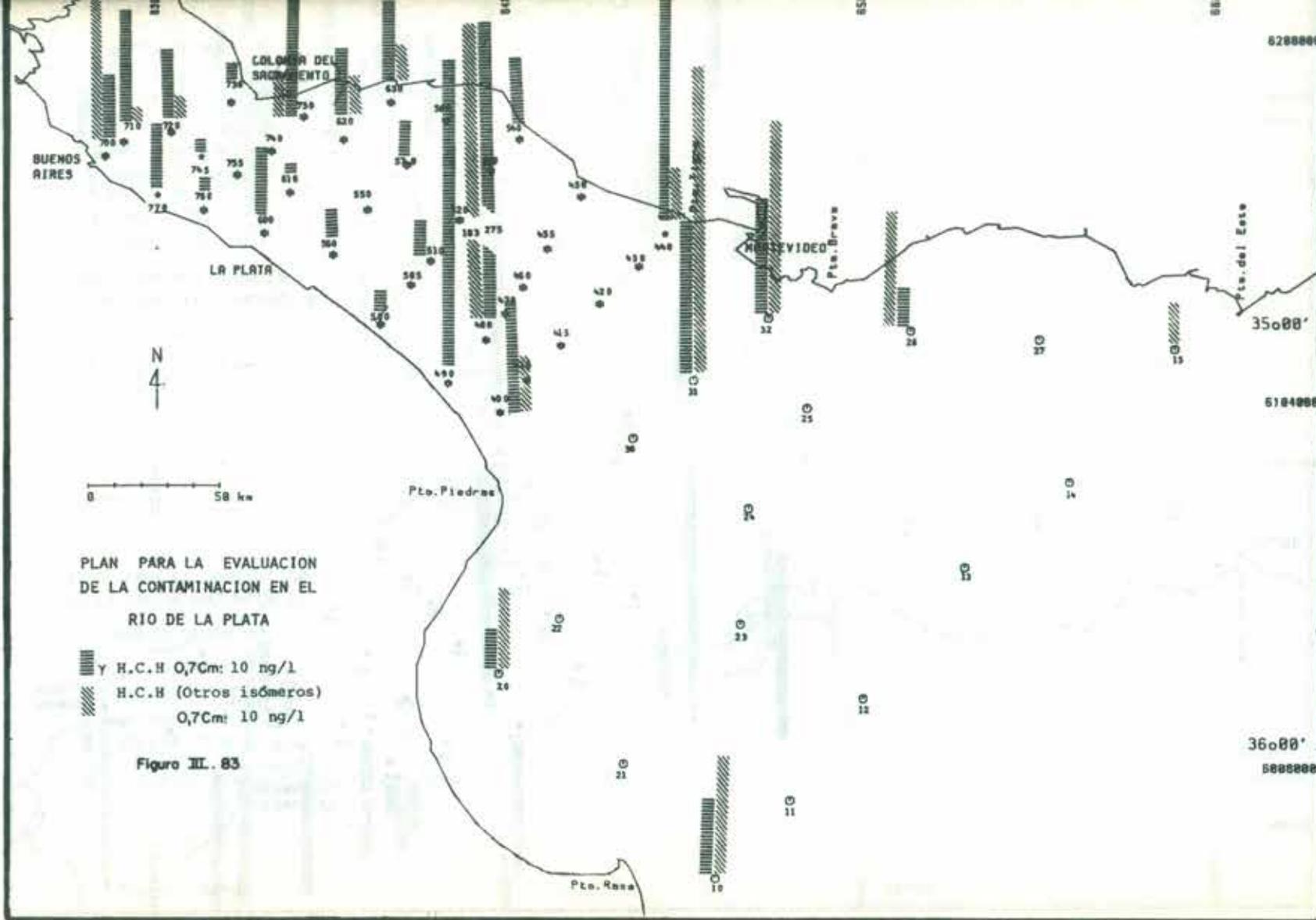
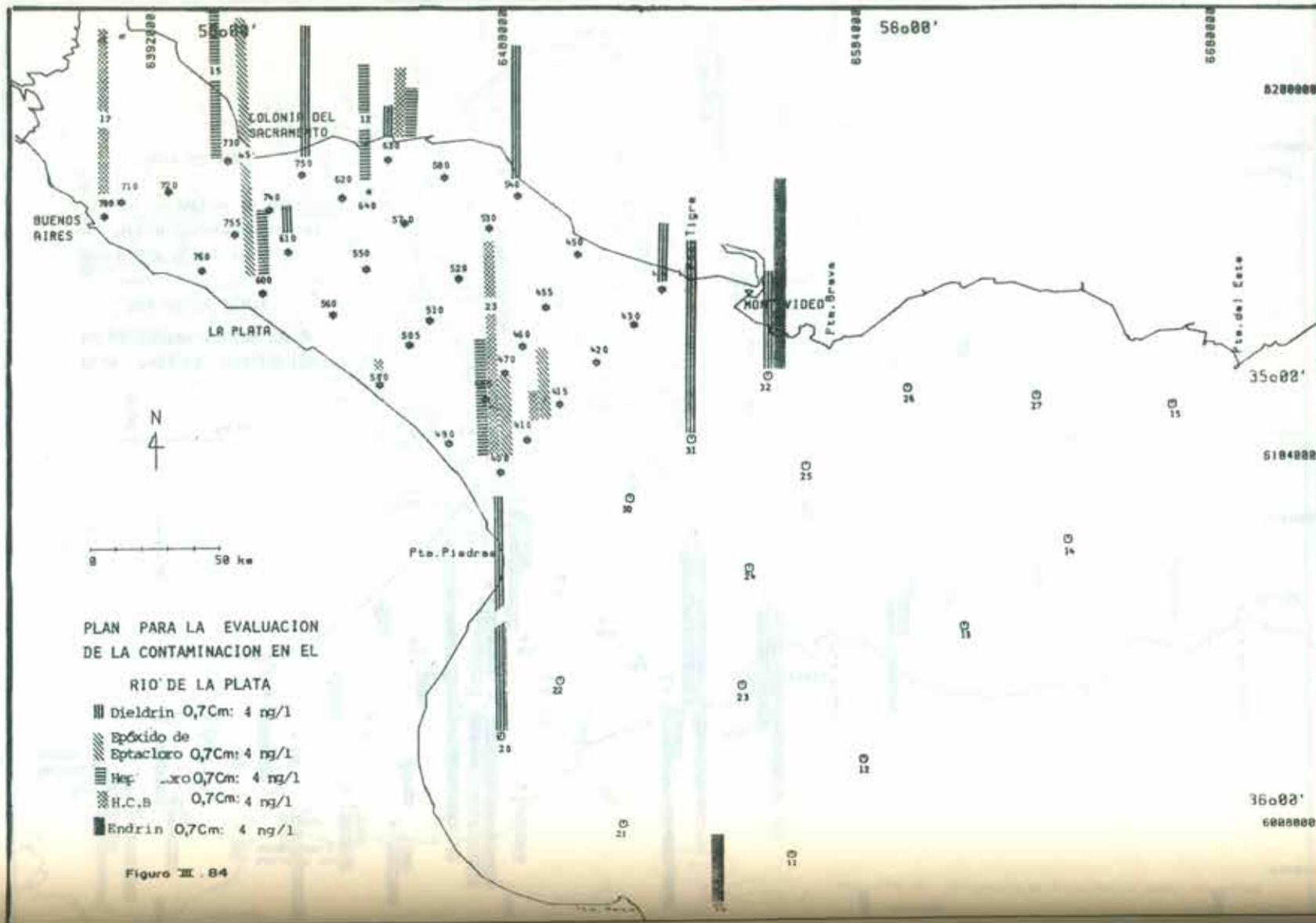


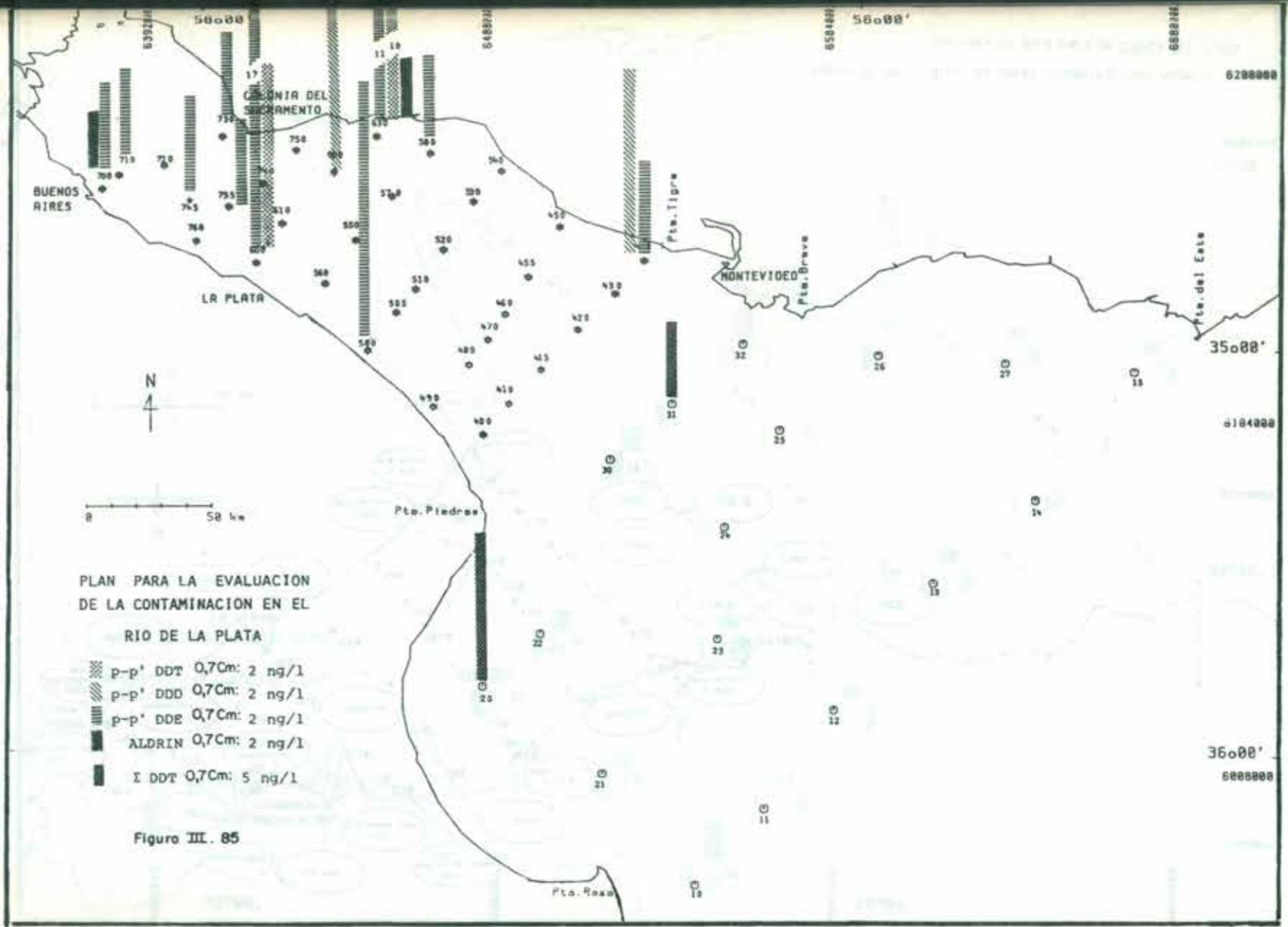
Fig. III.81.- Concentraciones de Pb, Zn, Cu, Cr y Fe en el Perfil F-F'





Figuro III. 83





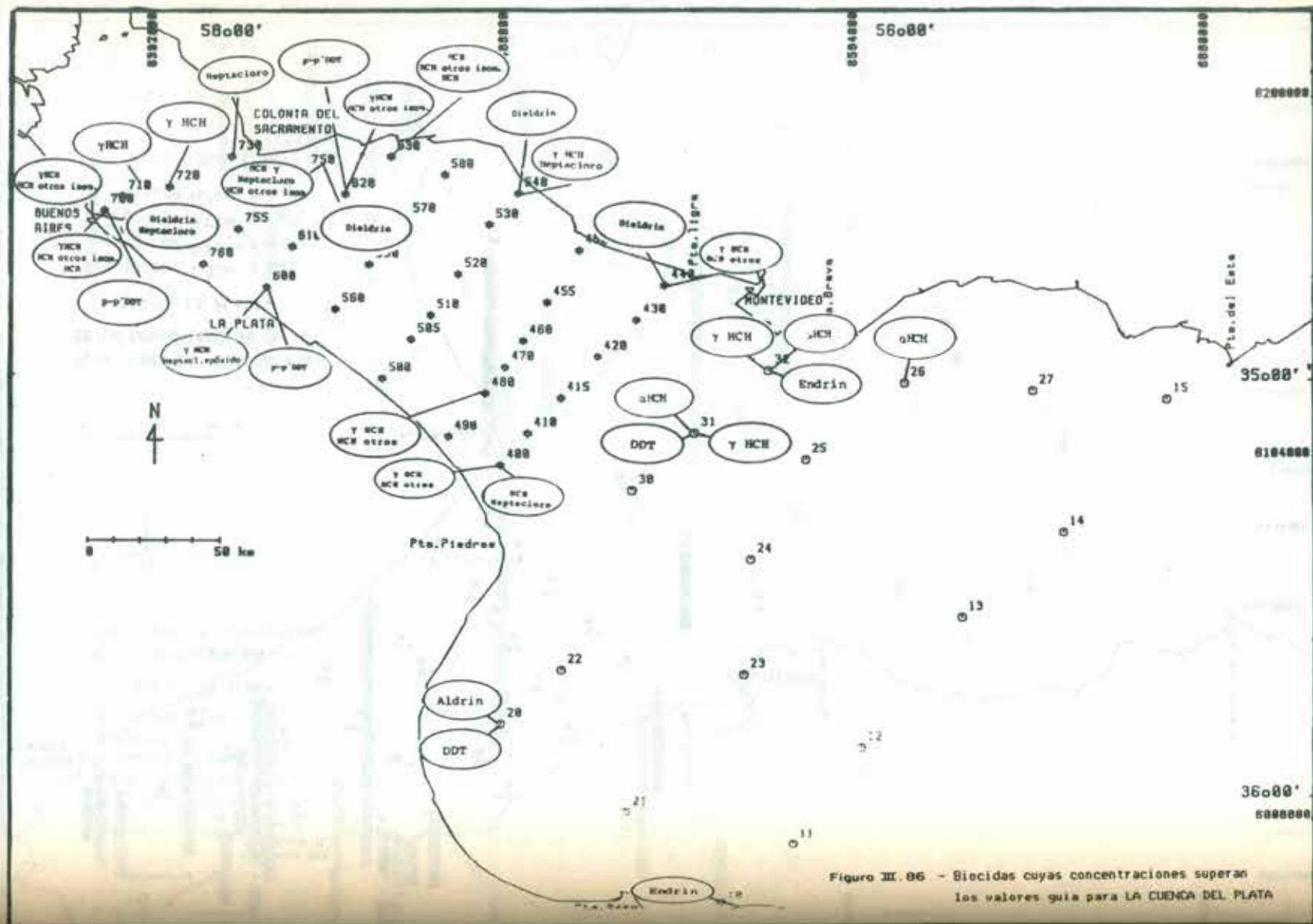
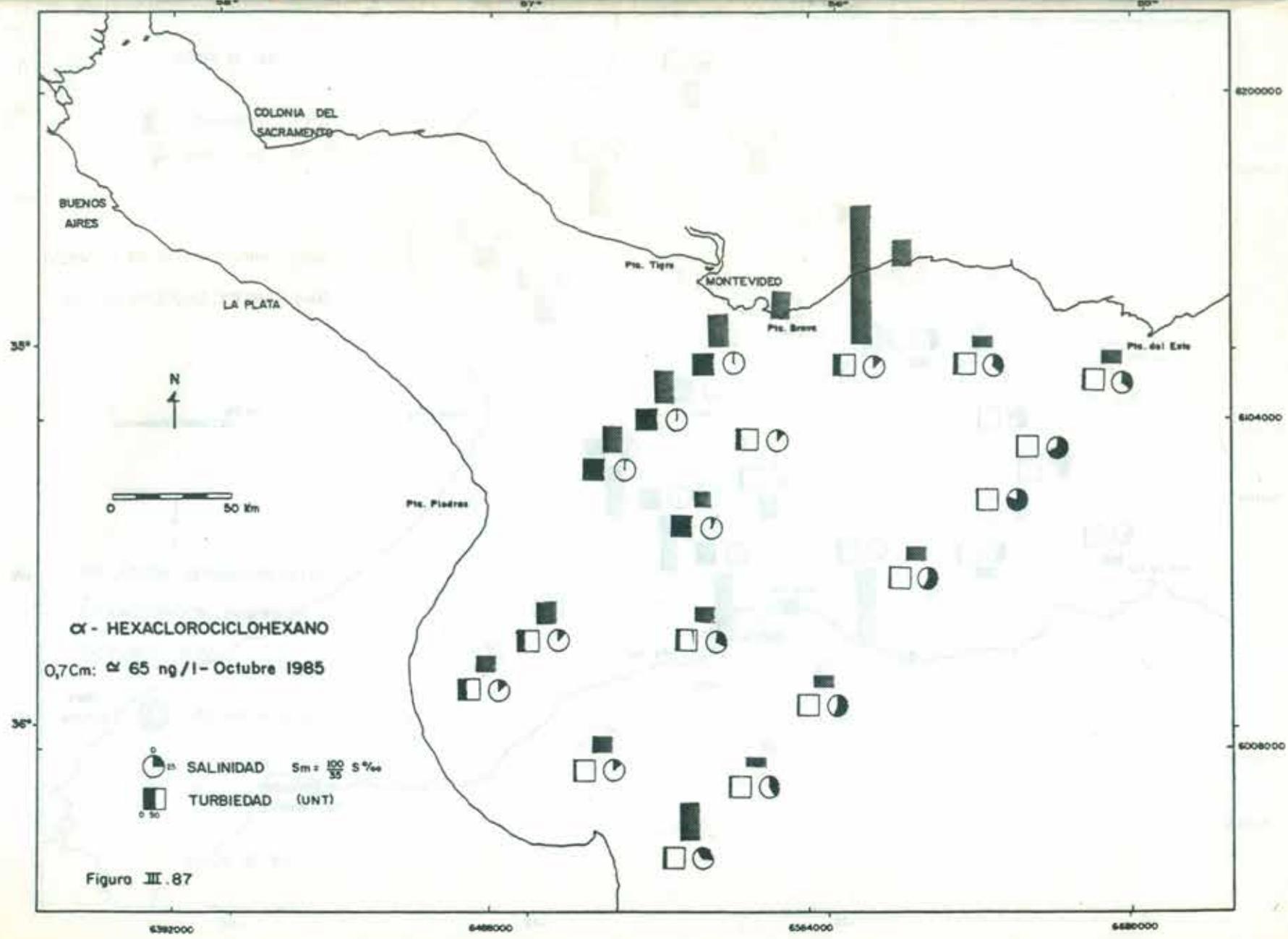
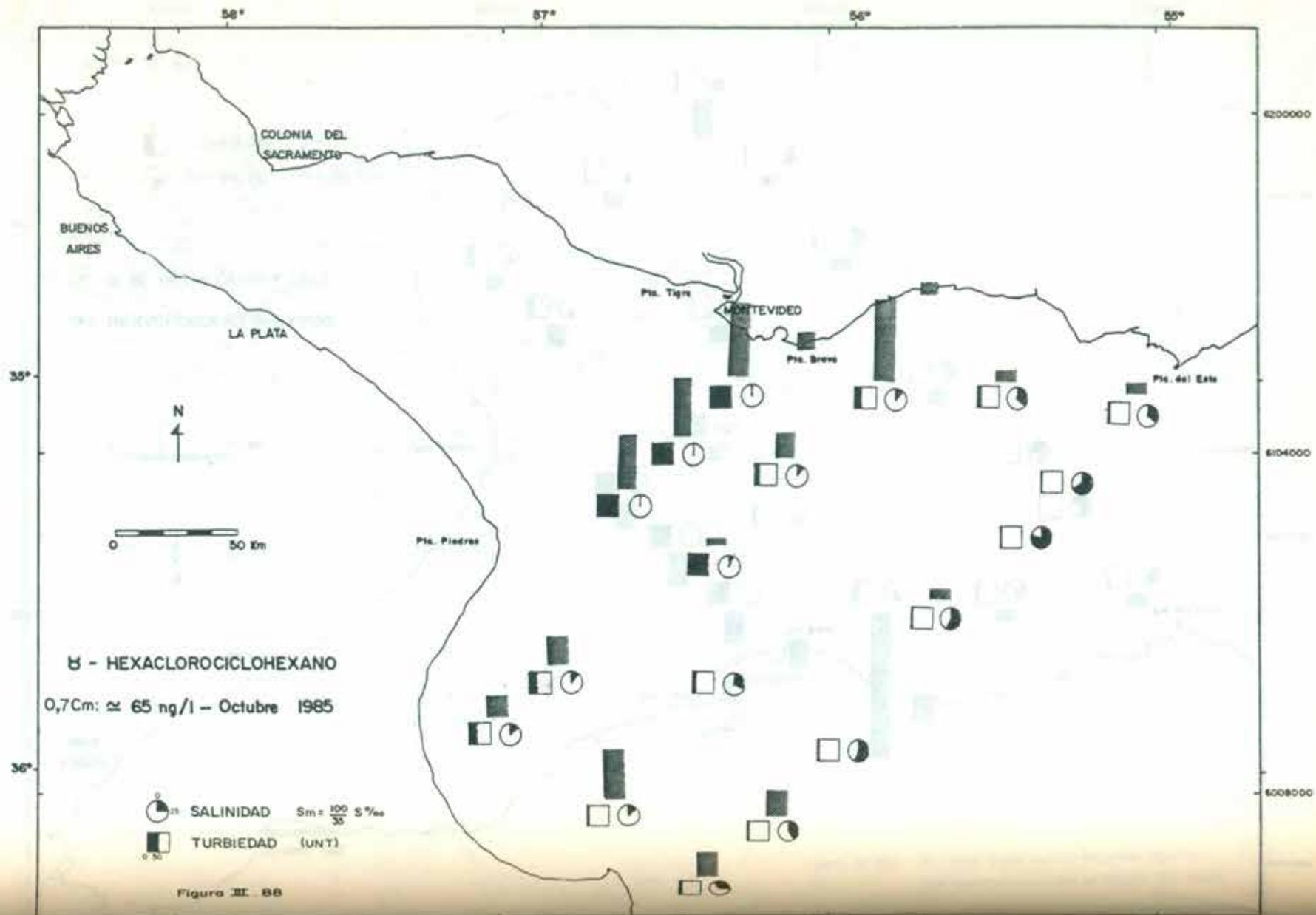
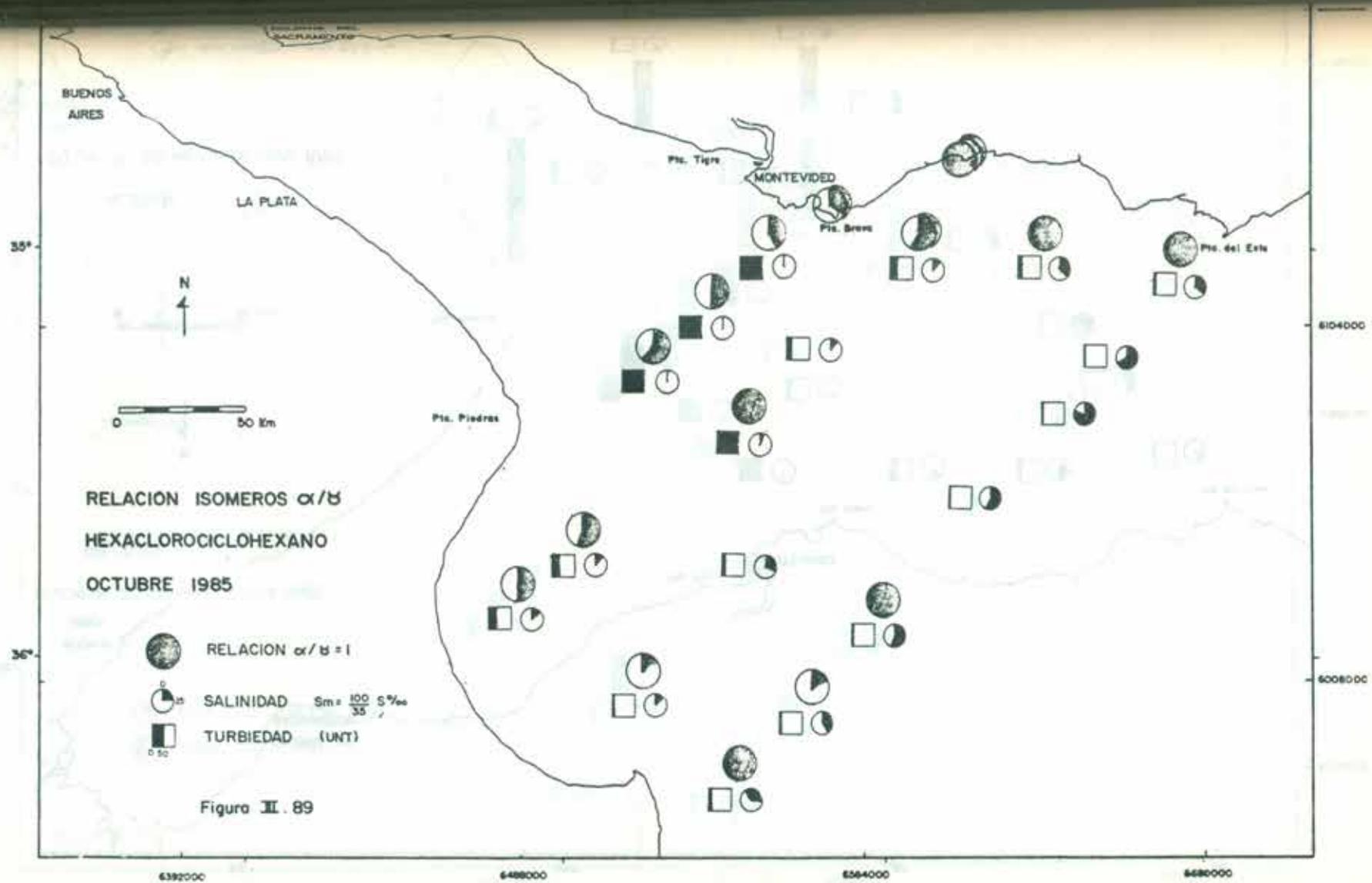


Figura III.06 - Bieidas cuyas concentraciones superan los valores guia para LA CUENCA DEL PLATA

58° 57° 56°







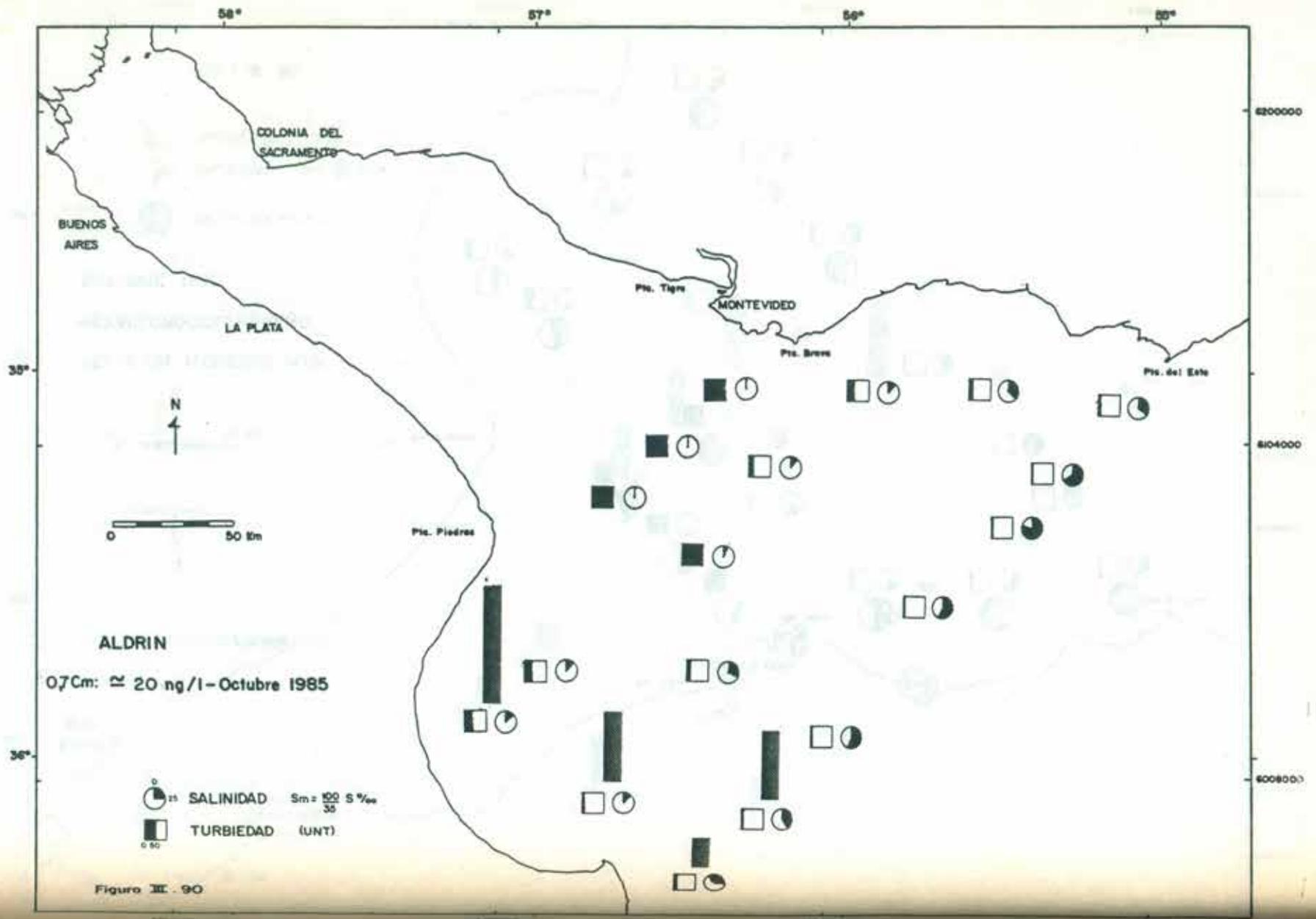
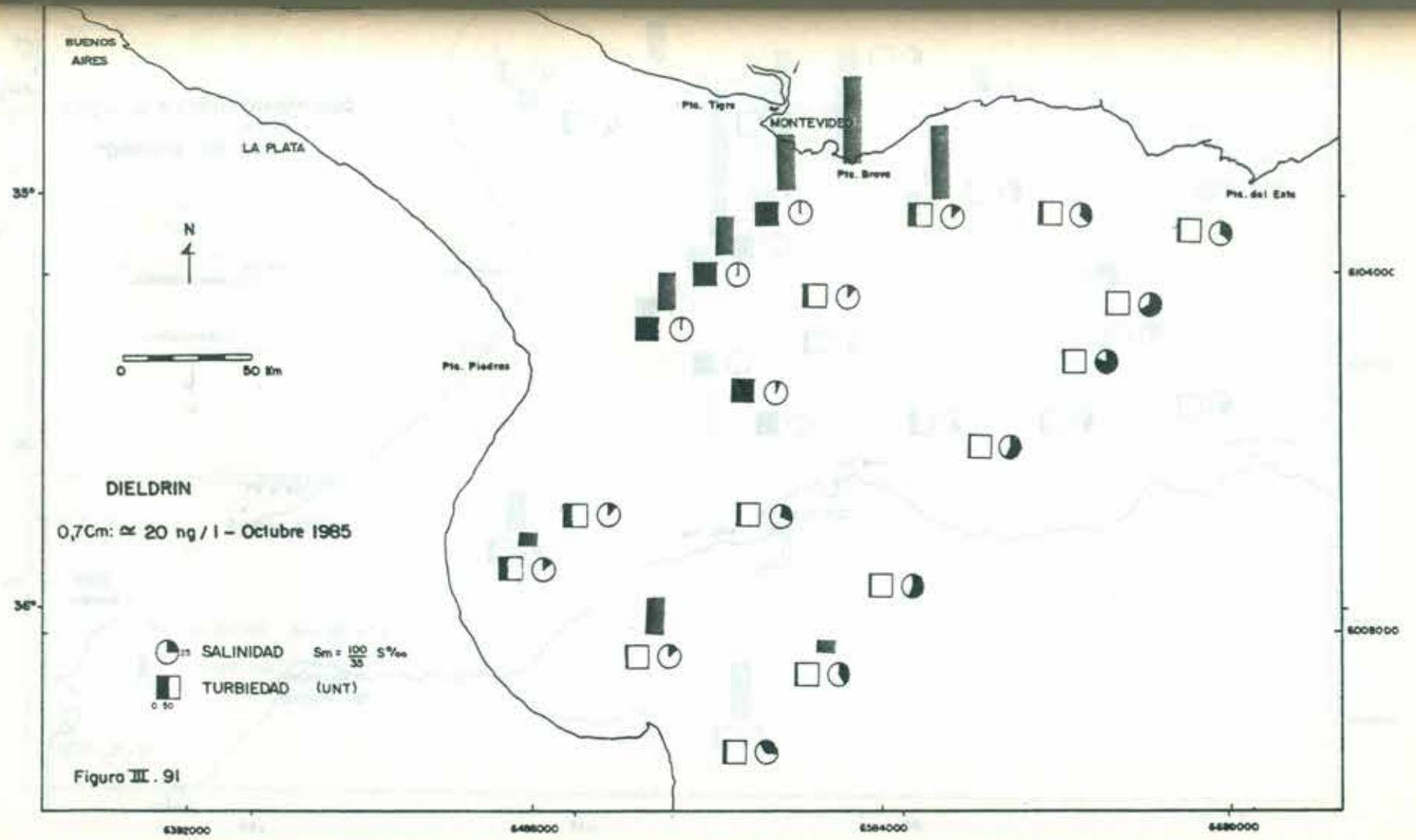
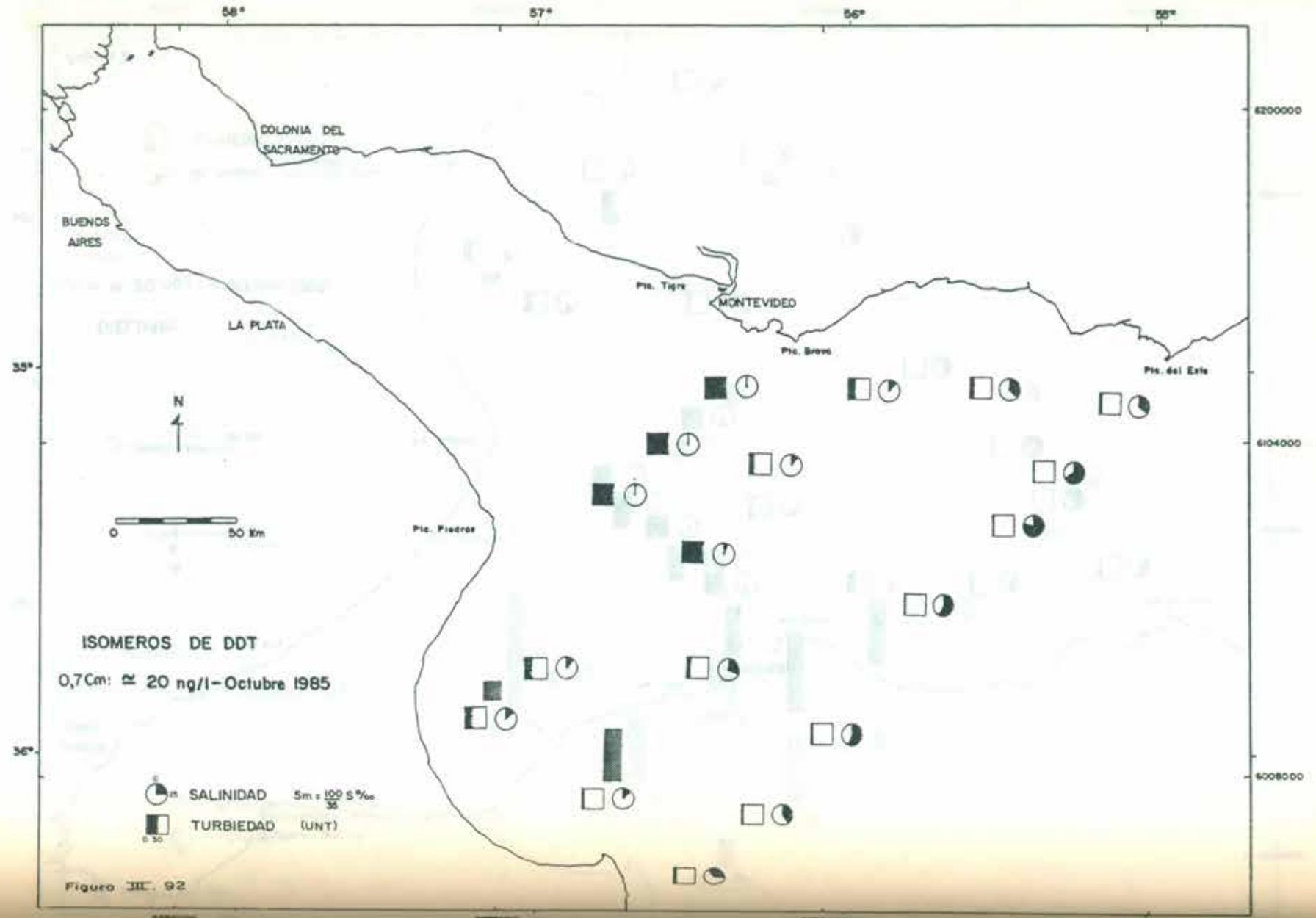


Figura III. 90





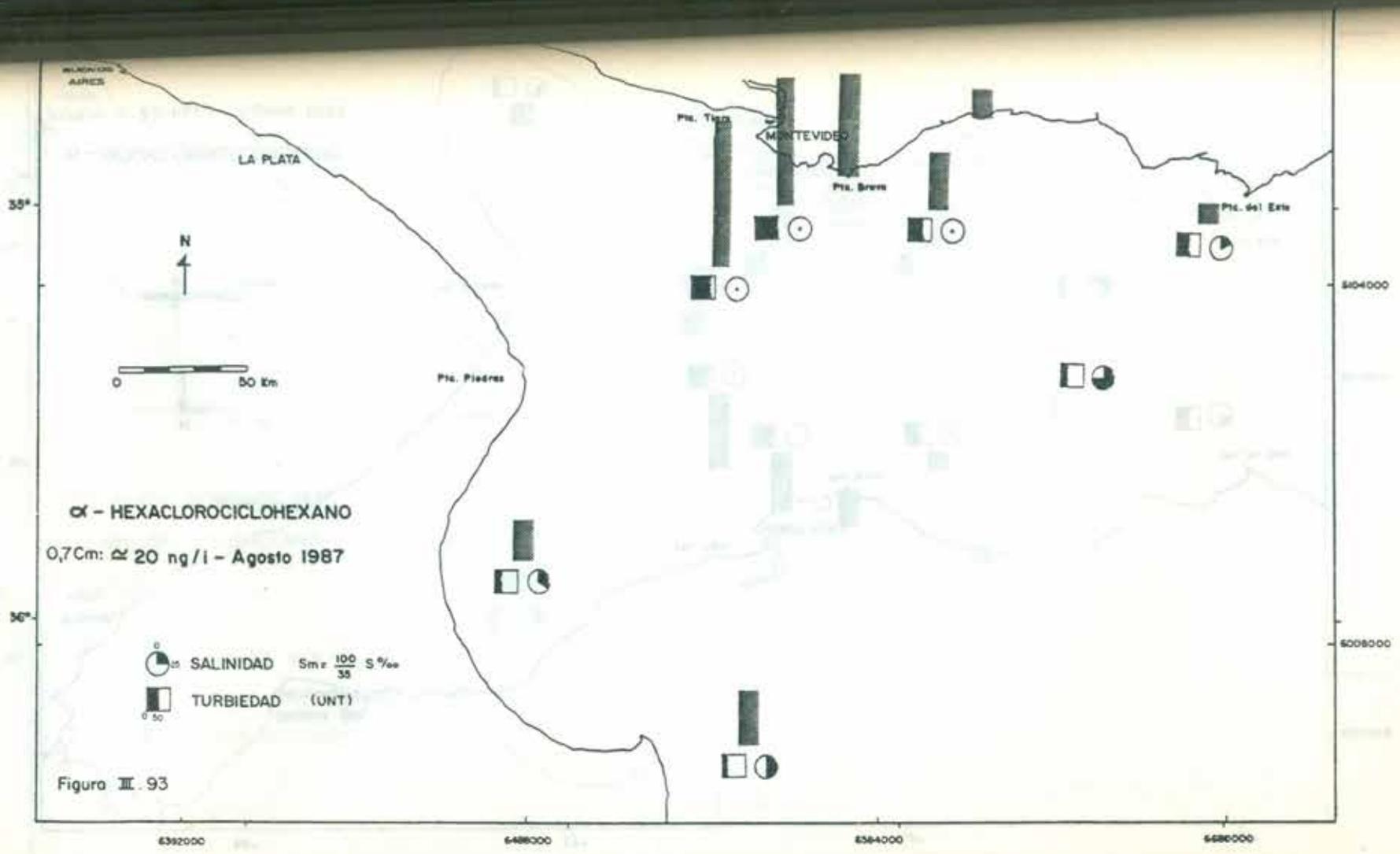


Figura III.93

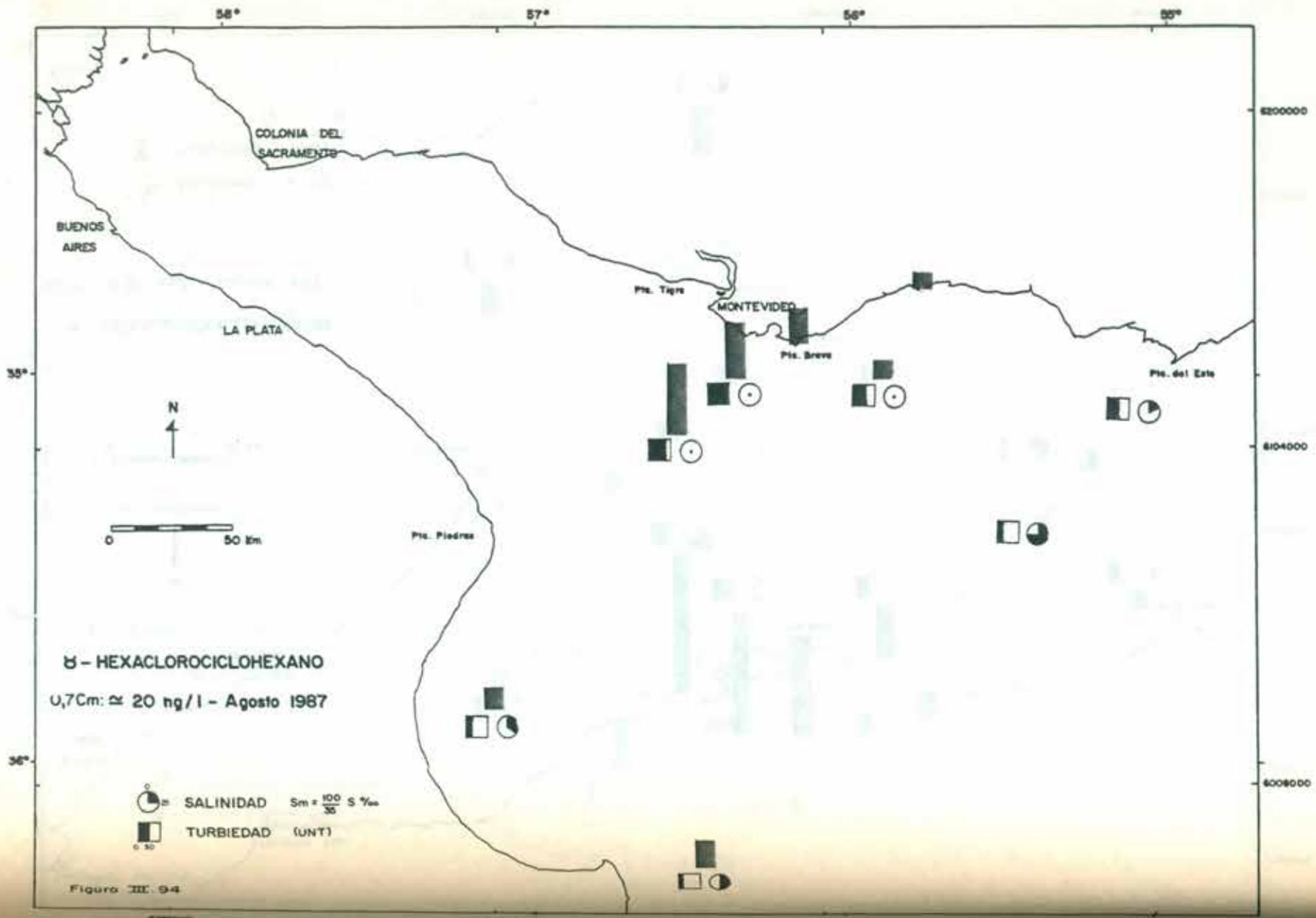


Figura III. 9-4

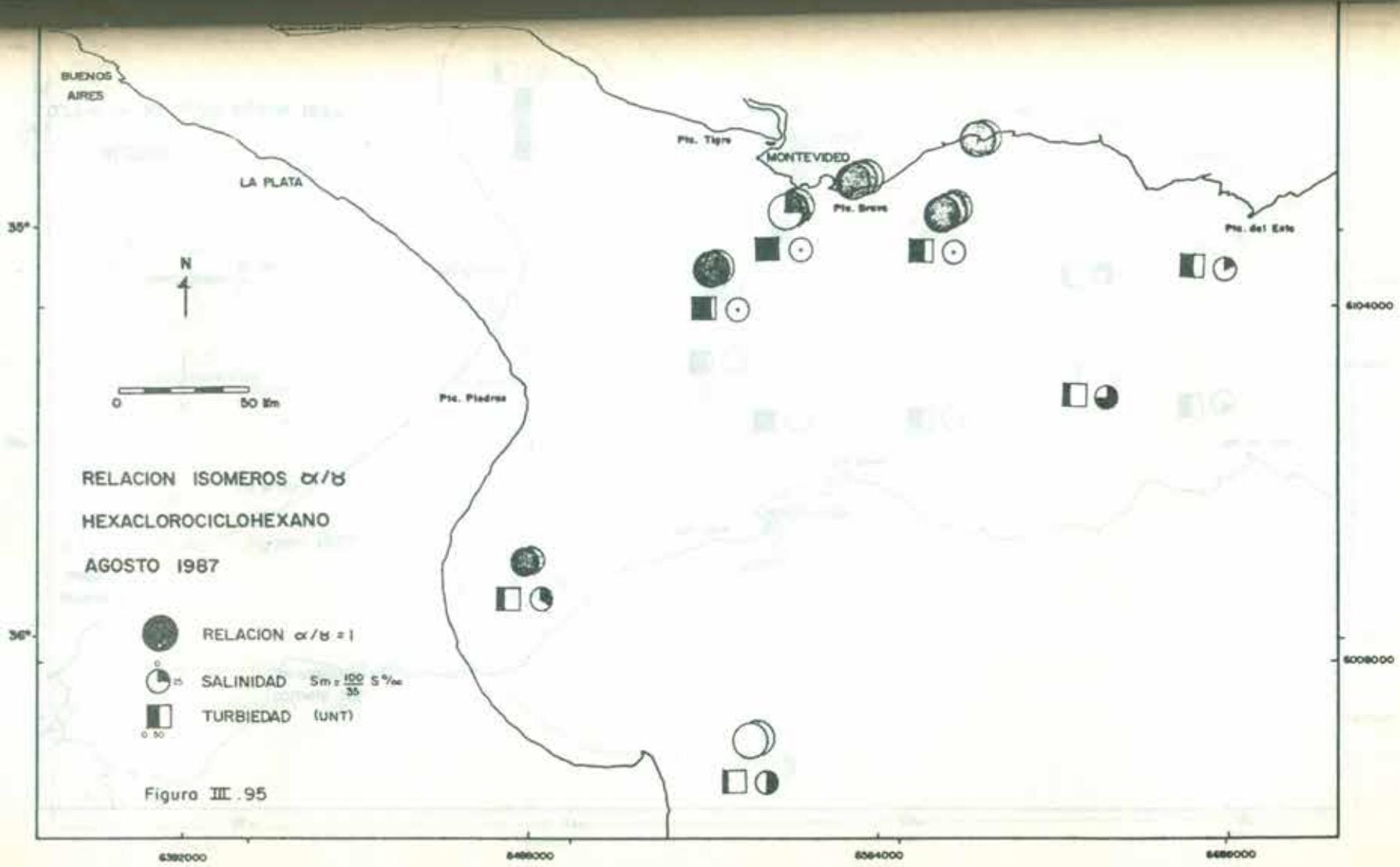
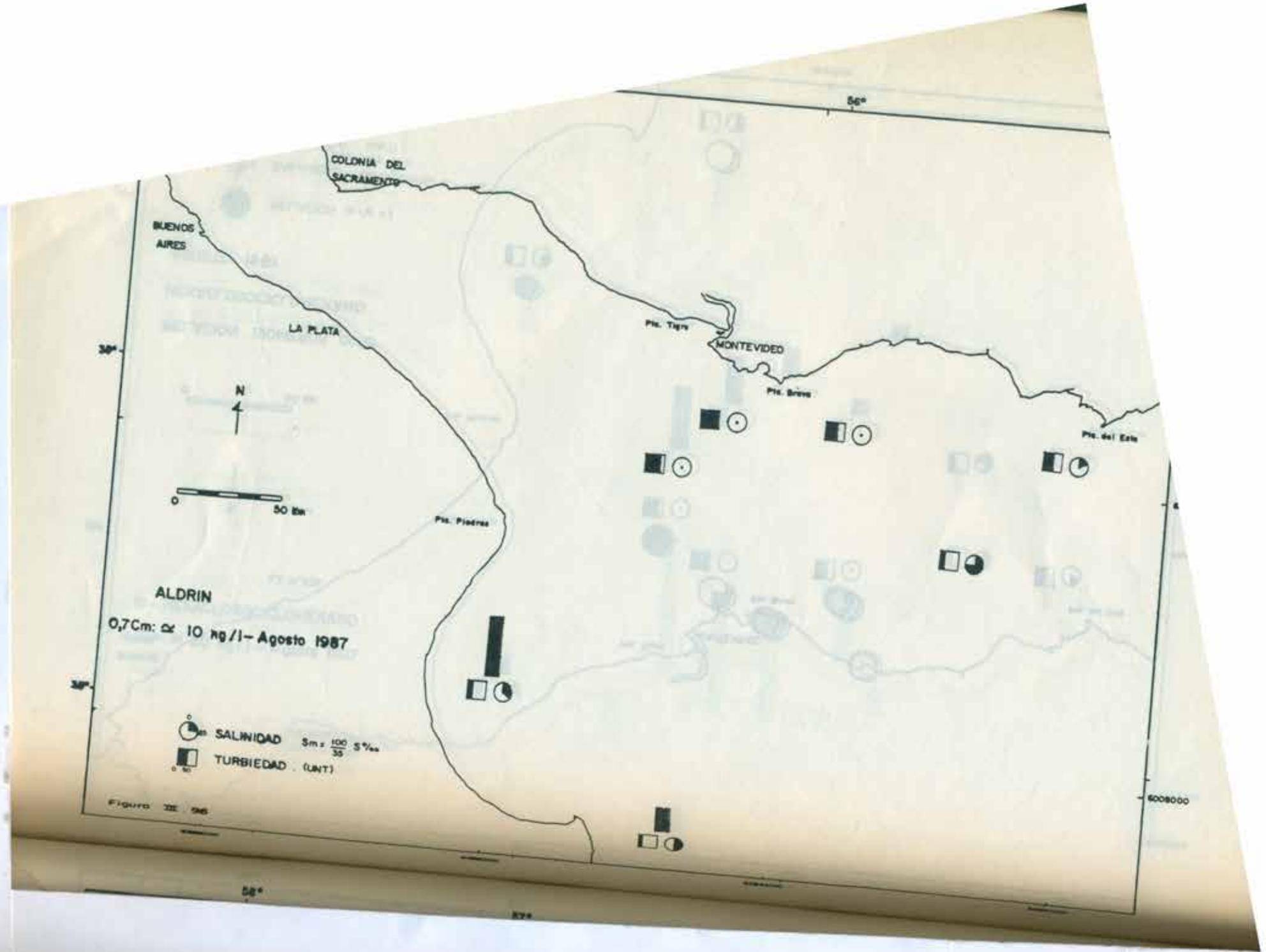
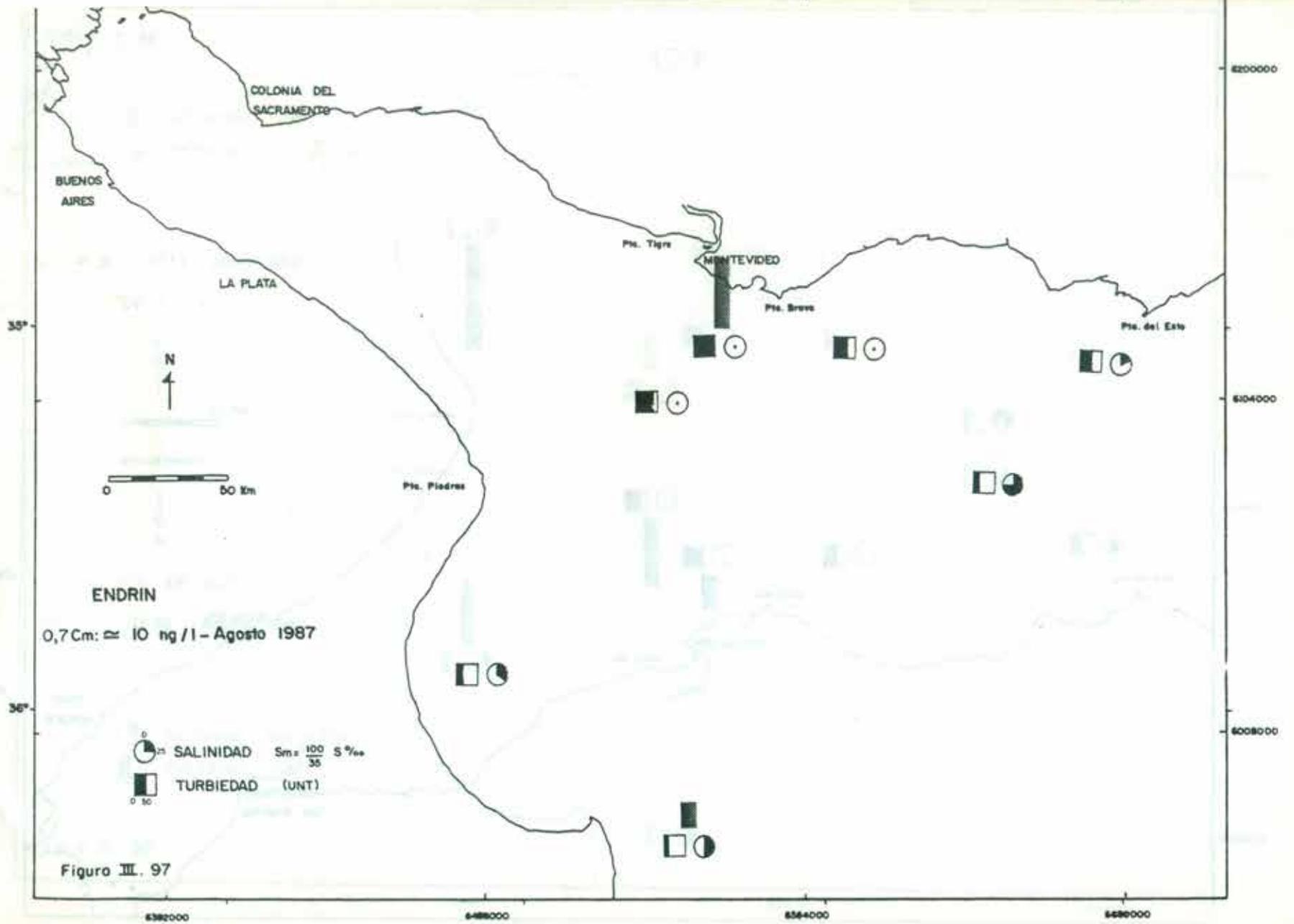


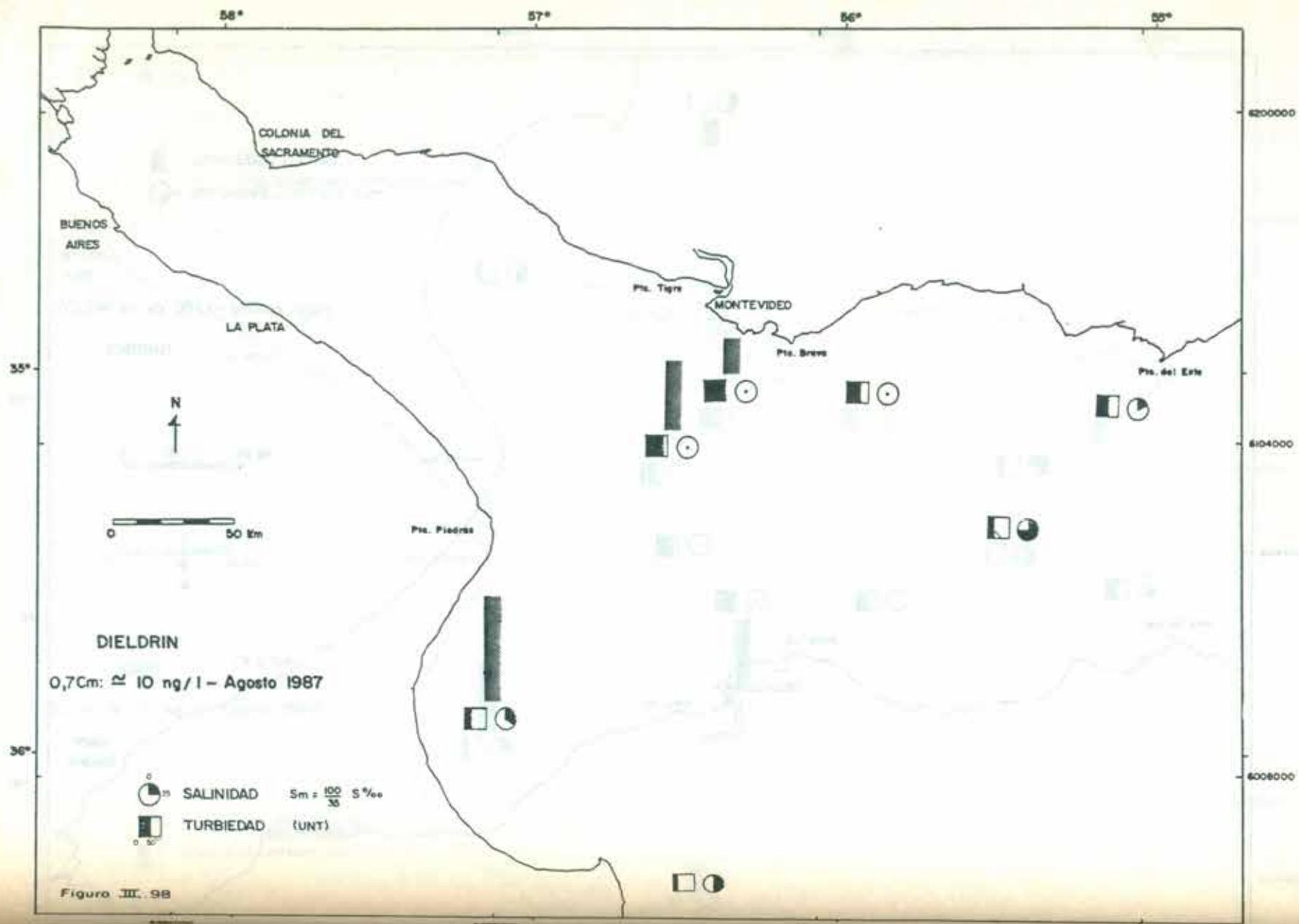
Figura III.95



ALDRIN
 0,7Cm: $\approx 10 \text{ ng/l}$ - Agosto 1987

Figura III 96

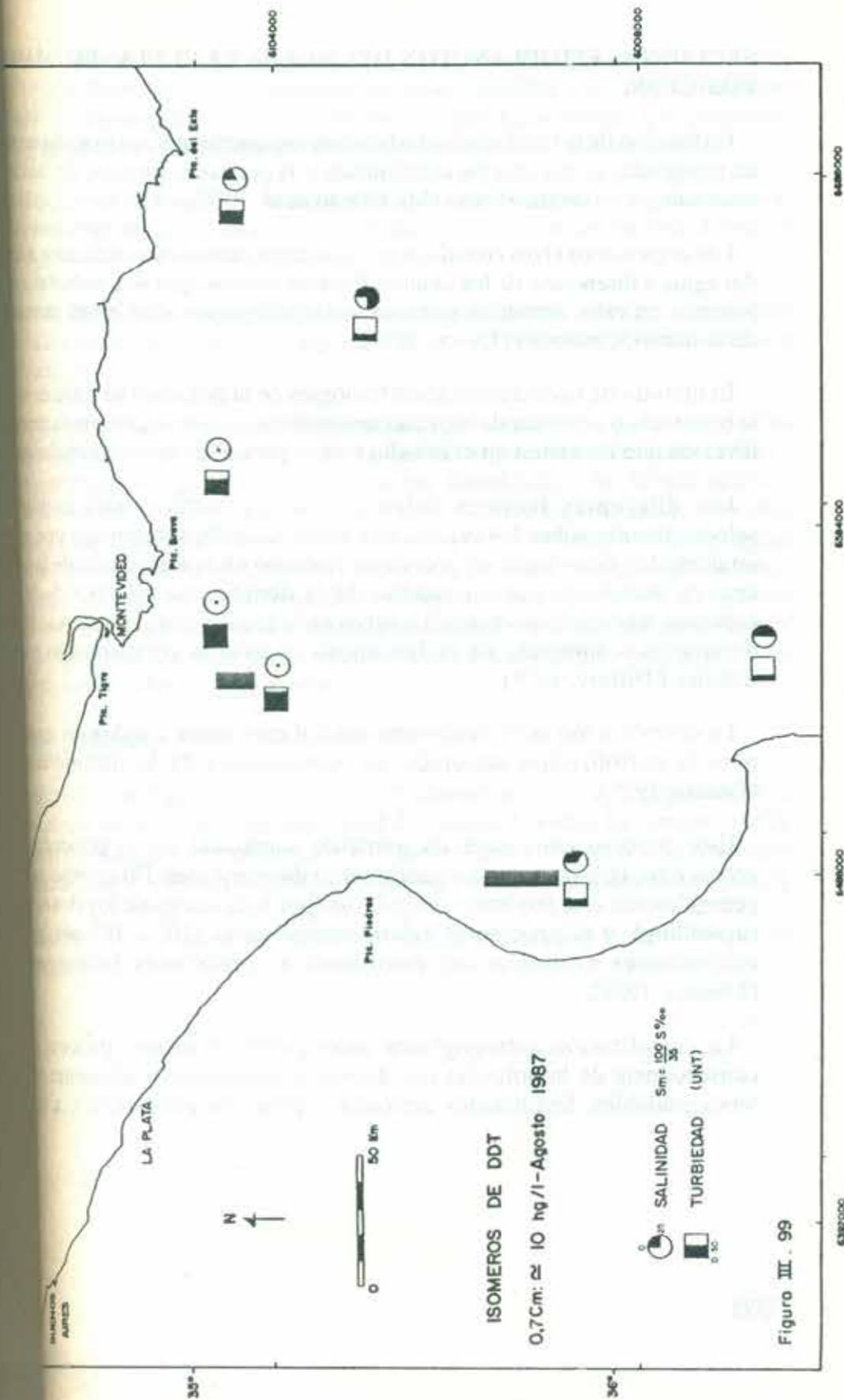




DIELDRIN
 0,7Cm: $\approx 10 \text{ ng/l}$ - Agosto 1987

SALINIDAD 5m = $\frac{100}{30}$ S‰
 TURBIEDAD (UNT)

Figuro III. 98



Figuro III. 99

SECCION 4.- FITOPLANCTON DEL RIO DE LA PLATA : BIOMASA Y COMPOSICION.

En función de la teoría de los indicadores se asume que, un organismo actúa como un integrador de los efectos ambientales y, si persiste o perece, las condiciones son tolerables o no según el caso (Mc Erlean et al., 1972).

Los organismos vivos constituyen verdaderos elementos indicadores de la calidad del agua, a diferencia de los análisis físico-químicos, que son indudablemente, más precisos en valor absoluto, pero no son significativos sino en el momento y lugar de la toma de muestra (Descy, 1979).

El método de la caracterización biológica de la polución se basa en el criterio de la presencia o ausencia de especies indicadoras, así como, en otros procedimientos diversos que consisten en el estudio total o parcial de las comunidades.

Los diferentes factores físico-químicos y bióticos del ambiente actúan selectivamente sobre los organismos vivos. Cuando sobreviene una perturbación en el medio, tiene lugar un profundo trastorno en la estructura de la población, el cual se manifiesta por un cambio de la dominancia relativa de las diferentes especies, acompañado de sustituciones en la fauna y flora, pudiendo llegar hasta la desaparición completa de la biocenosis cuando la perturbación es demasiado drástica (Tuffery, 1979).

La eutrofización es un fenómeno natural que afecta a todas las masas acuáticas, pero la eutrofización acelerada, es consecuencia de la influencia del hombre (Pesson, 1979).

Este proceso constituye un aumento sustancial de la productividad de un ecosistema, debido a un enriquecimiento de nutrientes. En condiciones naturales, generalmente este fenómeno es inducido por la descarga de los ríos o por surgencia (upwelling), y el proceso es relativamente lento (10^3 - 10^4 años) permitiendo adaptaciones evolutivas del ecosistema a condiciones tróficas más elevadas (Unesco, 1988).

La eutrofización antropogénica corresponde al mismo proceso, pero es una consecuencia de la polución por desechos domésticos y efluentes relativamente biodegradables, fertilizantes agrícolas y polución atmosférica; a menudo estos

se combinan con la carga natural de nutrientes que aportan los ríos (1988). Este proceso introduce cambios rápidos (10 años o menos) dando un desequilibrio no compensado del ecosistema, un ambiente y un posible daño sustancial a los recursos vivos. (Unesco, 1988).

Modificaciones ambientales debidas a las actividades humanas pueden resultar en cambios sustanciales de la estructura y dinámica del ecosistema (Mc Erlean y 1972).

Estuarios fluviomarinos templados son naturalmente fértiles, pero muy susceptibles a los daños por contaminación, dragado, embalsamiento, sedimentación y eutrofización.

Las principales consecuencias observadas en el ambiente pelágico de los estuarios afectados por la eutrofización, son las siguientes (Cruzado, 1988) : altas concentraciones de nutrientes, altas densidades de fitoplancton y zooplancton de otros niveles tróficos (Herbívoros, predadores, etc.), elevadas concentraciones de oxígeno disuelto próximo a la superficie y bajas o nulas en aguas profundas, presencia de "mareas rojas" o de otras floraciones algales, altas concentraciones de material particulado en suspensión y de materia orgánica, presencia de especies químicas características de ambientes reductores (sulfuro, metano, nitrito) no encontradas en áreas oligo o mesotróficas, o en cantidades muy pequeñas.

Resultados y Métodos.

La determinación de pigmentos fotosintéticos (clorofilas a, b, c y feopigmentos) se realizó según la metodología de Strickland & Parsons (1972) y Lorenzen (1967). Los análisis tricromáticos (clorofilas a, b, y c) fueron realizados con las ecuaciones de Lorenzen por SCOR-UNESCO (1968), y los monocromáticos por Lorenzen (1967).

La identificación taxonómica fue realizada con microscopios Leitz y Nikon de diferentes fases.

4.2.- Síntesis de los resultados.

Crucero Marzo/81 : los mayores valores de clorofila "a" se hallaron sobre la costa argentina (9.08mg/m^3) y en la zona media (8.82 mg/m^3), en la zona de influencia del agua dulce (salinidad : 0.0 - 2‰).

La composición del fitoplancton en las estaciones de mayor biomasa fue de carácter mixto (limnético-marino) con predominio de diatomeas. Los taxa aportados por el agua dulce estuvieron representados por las diatomeas *Aulacosira granulata* v. *granulata*, *A. granulata* v. *angustissima* f. *spiralis*, *Aulacosira crenulata*, *Pleurosira laevis*, *Surirella* spp., *Eunotia* spp. y *Synedra* spp.. Como acompañantes, podemos destacar las cianofíceas *Anabaena spiroides*, *Anabaena* spp., *Microcystis aeruginosa*; las clorofíceas *Closterium Kutzin*gii, *Cosmarium* spp., *Pediastrum simplex*, *P. duplex*. Los taxa de origen marino estuvieron constituidos fundamentalmente por las diatomeas *Coscinodiscus* spp., *Actinocyclus* spp., *Ditylum brightwelli*, *Chaetoceros* spp., *Skeletonema costatum*, *Odontella sinensis*, *Rhizosolenia calcar-avis*; los dinoflagelados *Ceratium furca*, *C. tripos*, *Dinophysis caudata* y el silicoflagelado *Dictyocha fibula*.

En este crucero son elevados los nutrientes, el seston y los feopigmentos.

Crucero Abril/81 (costera) : (Fig. III.100) se observa que los valores máximos de clorofila "a" ocurren después del mediodía : Montevideo y Pta. del Este (15.00 hs.); Colonia y J. Lacaze (18.00 hs). Valores altos fueron registrados durante la noche (Colonia y J. Lacaze) a las 03.00 hs, o a las 21.00 hs. (Pta. del Este).

Los mínimos ocurren en las primeras horas de la noche, por la ausencia de luz; al mediodía o en sus proximidades, probablemente por la destrucción de la clorofila, por la acción de intensidades luminosas altas. Como consecuencia de esto último, ocurriría una resíntesis durante la tarde. Los feopigmentos, son más variables, pues sus valores pueden estar asociados con aportes de material detrítico alóctono, o del bentos autóctono.

Los valores máximos de feopigmentos se registraron al mediodía, crepúsculo, durante la noche o en las primeras horas de la mañana (ausencia de luz), ocurriendo por lo general después de los máximos de clorofila "a".

Los mínimos son encontrados con frecuencia en los momentos en que se presume síntesis o acumulación de la clorofila, se está realizando en forma más activa después del mediodía o durante la noche).

Crucero Mayo/81 : valores elevados de la biomasa fitoplanctónica, fueron hallados en la Bahía de Samborombón y en la boca del Río de la Plata (12.03 y 9.8 mg/m³, respectivamente), sobre la costa argentina.

En la costa uruguaya los valores son inferiores, 5.0 (en profundidad) a 6.36 mg/m³ (en superficie). La zona externa presenta valores relativamente altos (3.12 - 10.12 mg/m³) a bajos (inferiores a 1.0 mg/m³).

En la zona media, los valores varían entre 4.28 y 10.69 mg/m³.

En la zona interna, de baja salinidad, fueron hallados las concentraciones más elevadas de seston y feopigmentos, debido a un aporte importante de material orgánico vegetal.

Crucero Septiembre/81 : los valores máximos (2.4 - 4.0 mg/m³) se hallaron en la zona interna, donde el aporte de clorofila detrítica fue importante (feopigmentos: 1.60 - 3.2 mg/m³).

En la zona externa, el valor más alto es 3.2 mg/m³ (profundidad media) en una estación próxima a la costa argentina.

El fitoplancton estuvo representado principalmente por diatomeas marinas como *Pseudo-nitzschia spp.*, *Thalassiosira spp.*, *Navicula grevillei*, *Nitzschia seriata*, *Chaetoceros costatum* y *Thalassiothrix frauenfeldii*.

Las especies de agua dulce se hallaron presentes en forma rara, a la altura del perfil Punta Brava (Montevideo) - Pta. Piedras (Pcia. de Buenos Aires), correspondiendo en su mayor parte a *Aulacosira granulata* y *Eunotia spp.*

Crucero Marzo/82 : (Figura III.101) la distribución de la clorofila "a" se vió afectada por el desarrollo de un "bloom" de *Microcystis aeruginosa* (cianofícea).

Los valores máximos de clorofila "a" oscilaron entre 10.0 y 20.0 mg/m³, en superficie, debido a la peculiaridad de las colonias de dichas algas, que presentan células gaseosas que les permiten flotar y mantenerse en superficie. Se observa una

correlación inversa entre la clorofila "a" y la salinidad, y directa con los fosfatos y silicatos.

En aguas costeras los valores oscilaron entre 0.31 mg/m^3 (Piriápolis) y 62.9 mg/m^3 (Pta. Brava), observándose un incremento importante de la biomasa fitoplanctónica en el área de mezcla, frente a Montevideo.

Crucero Julio/82: en el perfil frente a Montevideo, predominan las diatomeas céntricas *Coscinodiscus spp.* y *Aulacosira granulata* (agua dulce). Se destaca la presencia de clorofíceas como *Pediastrum simplex*, *Clorsterium Kutzingii* y cianofíceas como *Microcystis aeruginosa*, *Lyngbya spp.*, *Anabaena spiroides*, *A. flos-aquae*.

Crucero Septiembre/82: la biomasa varió entre 1.39 y 2.5 mg/m^3 de clorofila "a", sobre la costa argentina (en superficie), mientras que el valor máximo (10.10 mg/m^3) fué hallado en profundidad, frente a la costa uruguaya. (Figura III.102).

Crucero Noviembre/82: los valores de clorofila oscilan entre 1.39 y 1.67 mg/m^3 , en las estaciones de la Bahía de Samborombón y 4.17 mg/m^3 en la estación frente a Montevideo (Figura III.103).

Crucero Enero/83 (costera): los valores de clorofila van en aumento desde Colonia (2.40 mg/m^3) hasta Pta. Brava (81.92 mg/m^3) descendiendo luego a 3.24 mg/m^3 (Pta. del Este), alcanzando valores más bajos aún en J. Ignacio (0.96 mg/m^3) (Figura III.104)

La composición taxonómica está dominada por la diatomea *Aulacosira granulata*, acompañada por las cianofíceas *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena circinalis* y la clorofícea *Volvox aureus*. En aguas de mayor salinidad, se encuentra en forma abundante *Navicula grevillei* y *Achnantes brevipes*, ambas de hábitos bentónicos.

Crucero Mayo/83 (costera): la biomasa fitoplanctónica en Colonia es de 1.34 mg/m^3 , Cuch. Alta (1.48 mg/m^3), Pta del Este (1.27 mg/m^3) y en La Paloma (6.85 mg/m^3) (Figura III.105). En aguas dulces o de escasa salinidad, se encuentra *A. granulata* y *Pleurosira laevis* como las más abundantes, acompañadas por *Microcystis aeruginosa* y escasa clorofíceas representadas por : *Pediastrum duplex*, *Mougeotia sp.*

Junio/83 (costera): elevadas concentraciones de feopigmentos en J. (26.05 mg/m³) y Pta. Brava (25.95 mg/m³) vuelven indetectable la clorofila (Figura III.106). En Atlántida y Piriápolis los valores son 7.05 y 1.28 mg/m³ de "a", respectivamente. Se mantienen las especies que fueron relevantes en el anterior.

Julio/83 (costera): los valores de clorofila "a", de Colonia a Arazati, varían entre 2.40 y 1.50 mg/m³ respectivamente.

del Este, va decreciendo: Pta. Brava (0.43 mg/m³), recuperándose en cierta medida en Piriápolis (0.94 mg/m³) y Pta. del Este (0.90 mg/m³). En La Paloma alcanza un valor de 0.41 mg/m³.

Las especies ya citadas, aparecen en el dominio fluviomarino: *Asterionella*, *Skeletonema costatum*, *Ditylum brightwelli*, *Melosira moniliforme*, *Melosira lineata*.

Diciembre/83 (costera): valores apreciables de clorofila se encuentran en Colonia (3.46 mg/m³) hasta Pta. Pascual (4.15 mg/m³), hallándose en J. Lacaze (1.92 mg/m³). La clorofila "a" decrece en Pta. Brava (1.92 mg/m³) y se recupera hacia el Este (Pta. del Este: 4.54 mg/m³) (Figura III.107).

El fitoplancton estuvo compuesto principalmente por *A. granulata*, *Microcystis* y *Pediastrum simplex* en la localidad de Colonia.

Enero/84 (costera): los valores de clorofila "a" varían entre 3.84 mg/m³ (J. Lacaze) y 7.0 mg/m³ (pta. Brava), alcanzando 8.0 mg/m³ en Atlántida; decreciendo hacia el Este de Cuch. Alta 2.56 mg/m³ hasta 0.32 mg/m³ en la Paloma. Aumenta en Piriápolis a 1.04 mg/m³ (Figura III.108).

Enero/85 (mezcla fluvio-marina): los valores de clorofila en la zona costera varían entre 1 y 3 mg/m³, en el área de influencia marina y costera (en el río). Los feopigmentos son importantes (2.07-15.04 mg/m³) y se hallan en las mayores concentraciones en el área de influencia fluvial y de mezcla fluvio-marina (166.29 mg/m³).

La composición taxonómica estuvo basada principalmente en diatomeas céntricas (*Thalassiosira* spp.); los dinoflagelados *Ceratium furca*, *C. tripos*, *Dinophysis* y de origen marino.

El aporte de aguas continentales estuvo indicado por la presencia de **Aulacosira granulata**, **Microcystis aeruginosa**.

Crucero Abril/85 (mezcla fluvio-marina): los valores de clorofila variaron entre 0.00 y 3.20 mg/m³; en cambio los feopigmentos alcanzaron a 24.67 mg/m³ en el lugar donde los valores de clorofila fueron mínimos. La composición del fitoplancton en una estación de fondeo frente a Montevideo, revela un neto predominio marino, donde podemos mencionar : **Thalassiosira lineata**, **Coscinodiscus sp.**, **Ditylum brightwelli**, **Thalassionema nitzschioides**, **Pleurosigma sp.**, **Thalassiothrix sp.**, **Nitzschia seriata**, **Ceratium furca**, **C. tripos**, **Dinophysis caudata**, **Peridinium sp.**, **Prorocentrum sp.** y **Dictyocha sp.**

Crucero Abril/86 (costera): se muestreó en una línea paralela a la costa, la cual se extendió desde frente a las Barrancas de San Gregorio (Dpto. San José) hasta Pta. del Este (Dpto. de Maldonado). En el extremo caracterizado por la influencia de agua de origen continental, se observó la presencia de **Aulacosira granulata** en forma muy abundante.

Su abundancia fue decreciendo hacia el encuentro de aguas de mayor salinidad, destacándose la presencia conjunta de **Aulacosira granulata** y diatomeas céntricas de origen marino. Ambas se hallaban en un número relativamente bajo.

El incremento de las diatomeas marinas acompaña el sentido del aumento de salinidad, entre ellas se puede destacar la presencia de **Rhizosolenia spp.**, **Ditylum brightwelli**, **Thalassiosira spp.**, **Coscinodiscus spp.**, y diversos dinoflagelados; así como abundantes organismos zooplanctónicos (copépodos, nauplius, larvas diversas, etc.).

Cruceros Costeros (1983): Variaciones en la Composición del Microfitoplancton Costero.

Las diatomeas son el grupo taxonómico mejor representados y ampliamente distribuidos en los ambientes del sistema rioplatense, siguiéndole en importancia las cianofíceas. Estas se podrían colocar en un alto rango de tolerancia a los tensores ambientales, siguiéndoles las clorofíceas en aguas límnicas y los dinoflagelados en la zona de influencia marina; éstos, con una tolerancia menor y distribución más restringida.

de aguas continentales y su zona de influencia estuvo caracterizado por
la *Aulacosira granulata* (Ehr.) Simonsen (Figuras III.109 a 111) y la
Microcystis aeruginosa Kuetzing (Figuras III.113,114); acompañadas de
especies como *Scenedesmus cuadrada*, *Pediatrum simplex* (Figura III.112), *P.*
(Figuras III.115,116), *Eudorina elegans*, *Volvox aureus*, *Ankistrodesmus*
Staurastrum spp. (Figura III.117), *Mougeotia* sp. (Figura III.118).

A. granulata y *M. aeruginosa* se hallan presentes durante todo el año, con
fluctuaciones estacionales acordes con los requerimientos ecológicos de cada una en

A. granulata fué predominante en Colonia en los meses de enero, marzo, mayo y
septiembre, mientras que osciló de abundante a frecuente en los demás meses del año,
en octubre que fué considerada como escasa.

Respecto a su distribución espacial fué encontrada hasta Atlántida,
aumentando su abundancia al aumentar la salinidad.

A. granulata v. *angustissima* osciló de escasa a abundante de octubre a diciembre,
mientras que *A. granulata* v. *angustissima* f. *spiralis* varió de escasa a
abundante entre abril y mayo, escasa en octubre.

M. aeruginosa tiene su período de mayor abundancia entre fines de la primavera
y principios del otoño, decreciendo hasta el nivel de encontrar colonias esporádicas
a principios del año.

En zonas de mezcla, predominan las diatomeas marinas neríticas y eurihalinas,
dentro del límite de tolerancia de *A. granulata*.

En zonas presentes también cianofíceas y restos de algas superiores, procedentes
de la zona intermareal.

Entre las diatomeas nerítico-planctónicas más frecuentes, se hallan :
Melosira spp. (Figura III.119), *Coscinodiscus* spp. (Figura III.120), *Chaetoceros*
brightwelli, *Skeletonema costatum*, *Asterionella glacialis*.

En el invierno adquieren importancia algunas diatomeas de hábitos
bentónicos como : *Achnanthes brevipes*, *A. longipes*, *Melosira moniliforme*,

Navicula grevillei; a consecuencia de una mayor acción del oleaje sobre el litoral, desprendiendo y poniendo en suspensión dichos organismos.

Los dinoflagelos más frecuentes son : *Ceratium tripos*, *C. furca*, *C. fusus*, *Protoperidinium divergens*, *Glenodinium spp.*, *Prorocentrum spp.*, *Gonyaulax sp.*, *Noctiluca scintillans*, *Dinophysis caudata*.

Los géneros *Ceratium* y *Peridinium* se hallaron frecuentemente en aguas de salinidades intermedias.

4.3.- Conclusiones.

El análisis preliminar de los datos de la biomasa y composición del fitoplancton, en aguas abiertas y costera del Río de la Plata, permite inferir que la capacidad productiva del sistema varía espacio - temporalmente, de acuerdo con las condiciones dinámicas imperantes, en cada sitio y época del año; las cuales afectan tanto la distribución del fitoplancton como las características ecológicas (nutrientes, salinidad, turbiedad, pH, alcalinidad, etc) necesarias para su desarrollo.

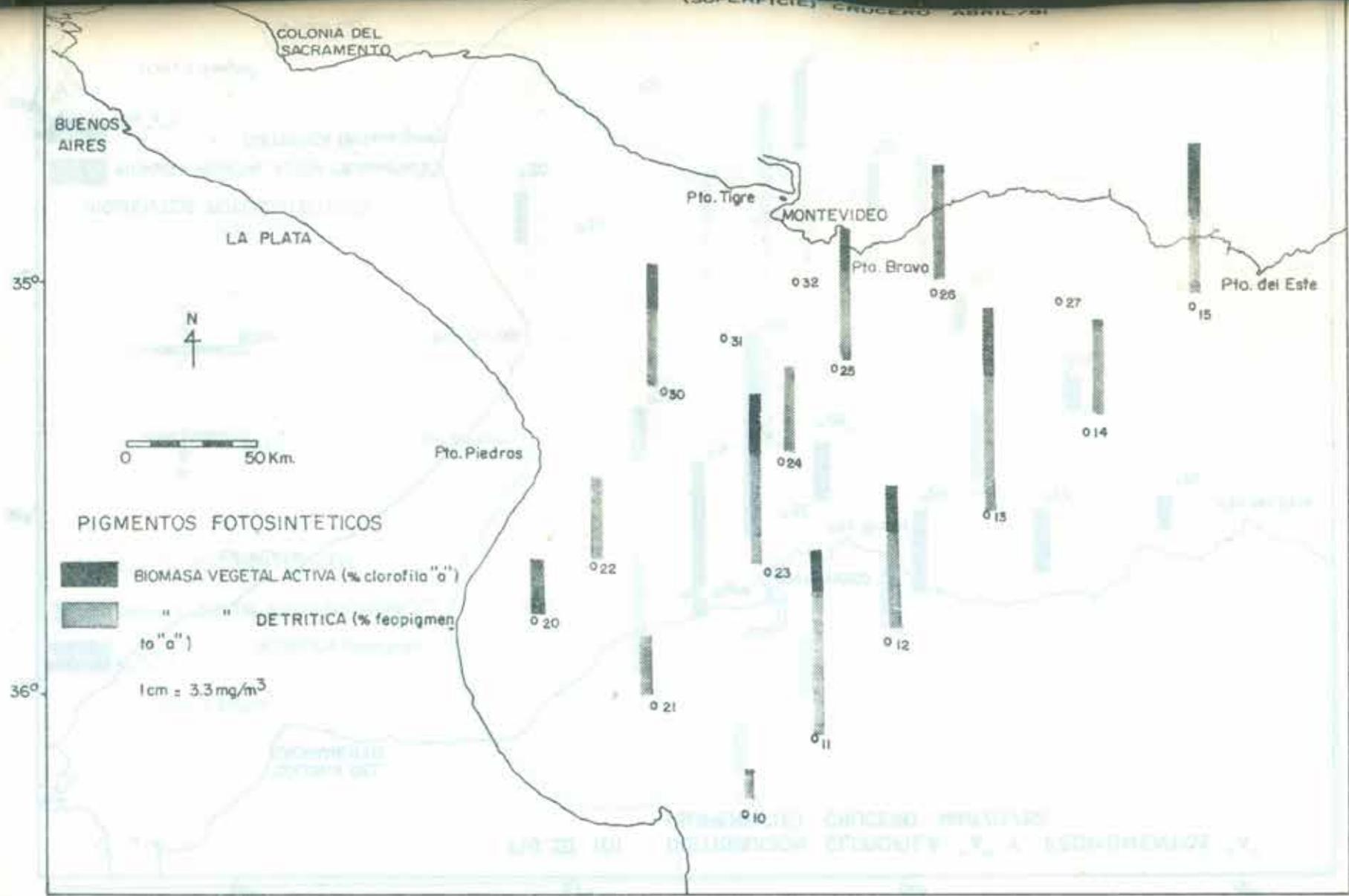
La clorofila "a" como indicador de la biomasa vegetal, varía entre 0.0 y 15.0 mg/m³, lo cual permite caracterizarlo como un sistema de productividad media a elevada. Los valores inferiores están registrados durante el período invernal y especialmente en la zona de mezcla o de interacción fluvio-marina, la que es de características altamente fluctuantes (ecotono) afectando la supervivencia de los organismos, tanto marinos como de agua dulce.

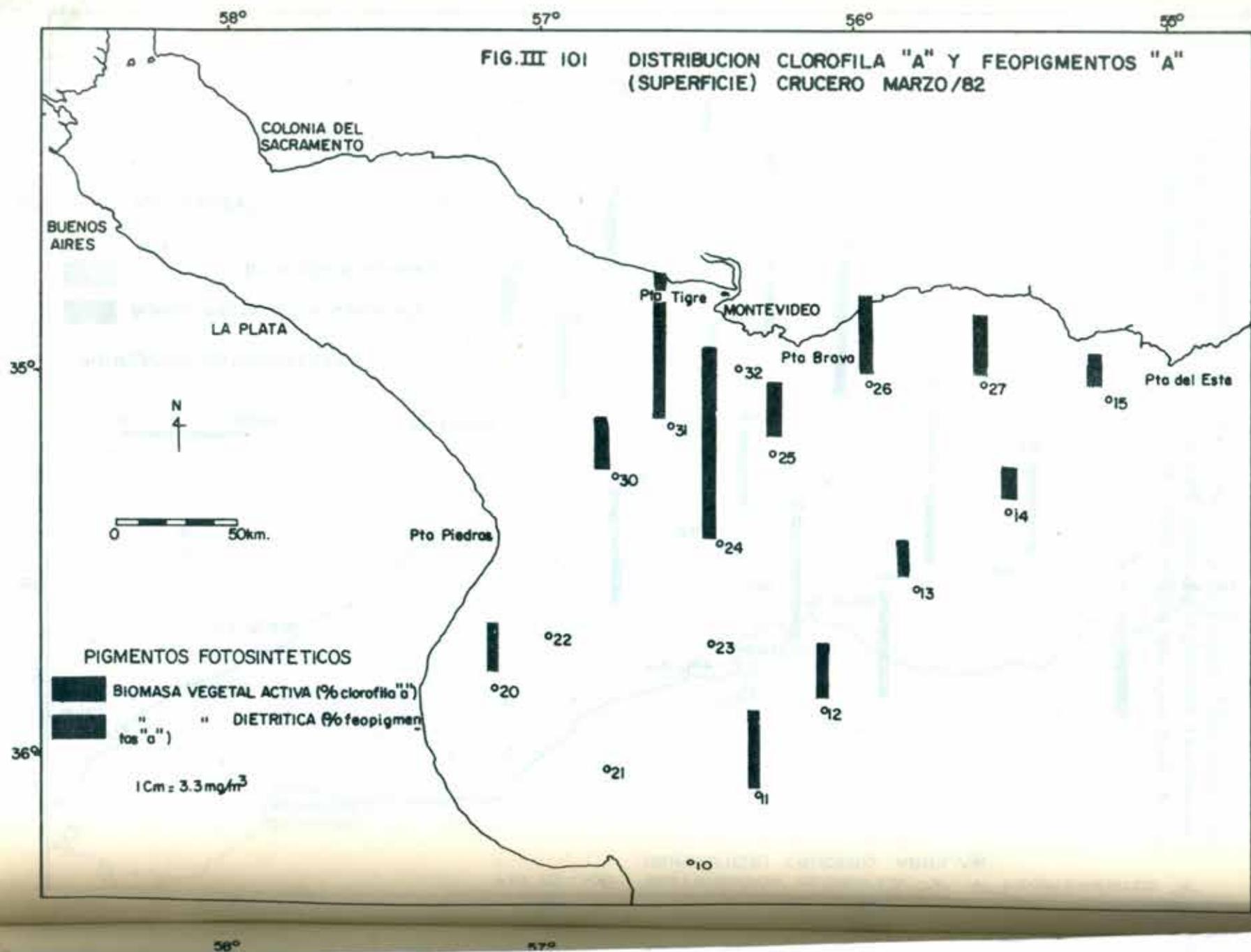
Dicha zona permite a su vez, la acumulación de abundante material detrítico vegetal, evidenciada a través de las elevadas concentraciones de feopigmentos.

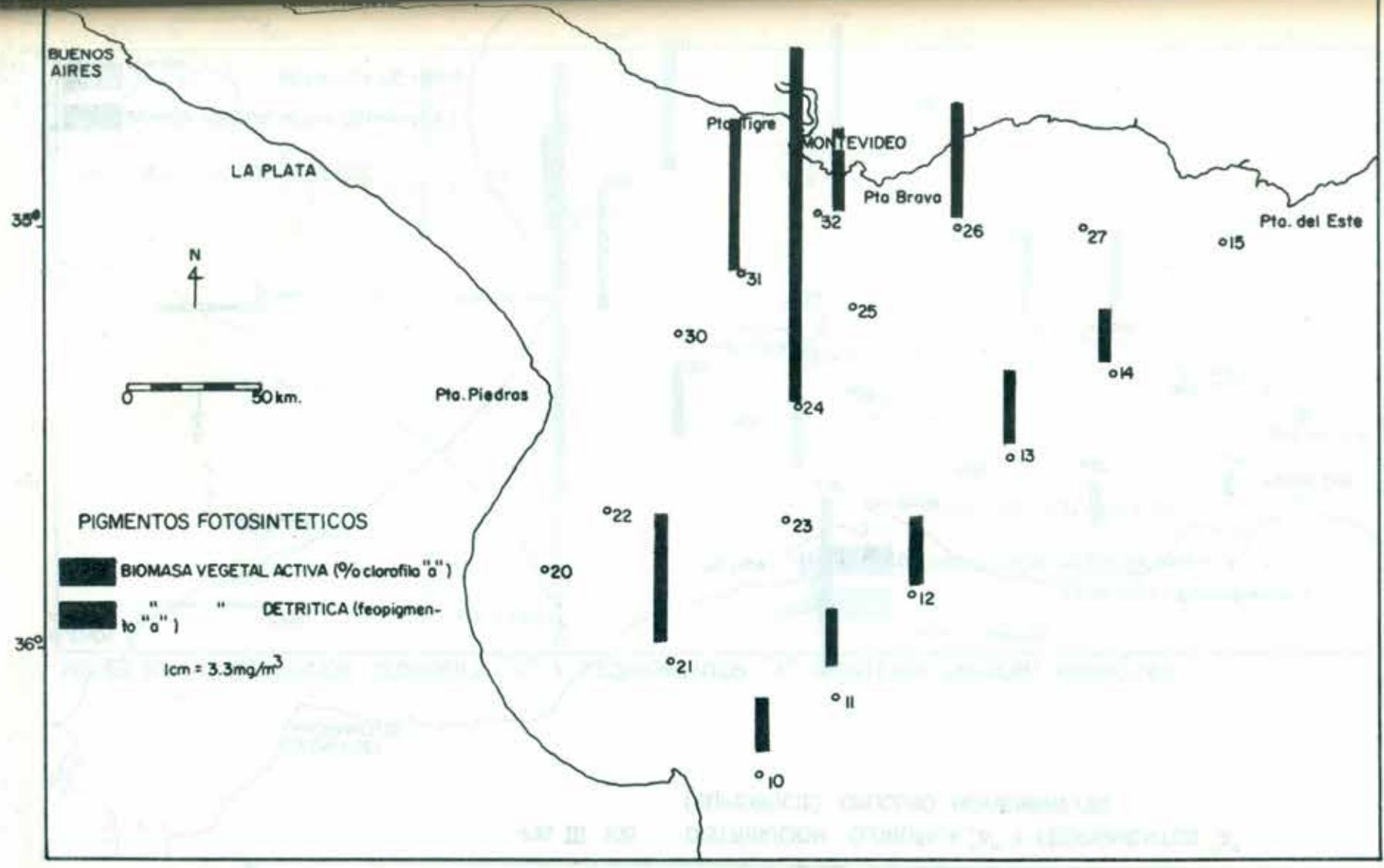
Los valores máximos de clorofila, generalmente están asociados a los "blooms" fitoplanctónicos ocurridos durante los meses en que la temperatura y radiación solar son óptimas (primavera, verano, otoño), la turbiedad del agua no es excesiva y alguno de los nutrientes (fosfato, nitrato, amonio, etc) no constituyen un limitante.

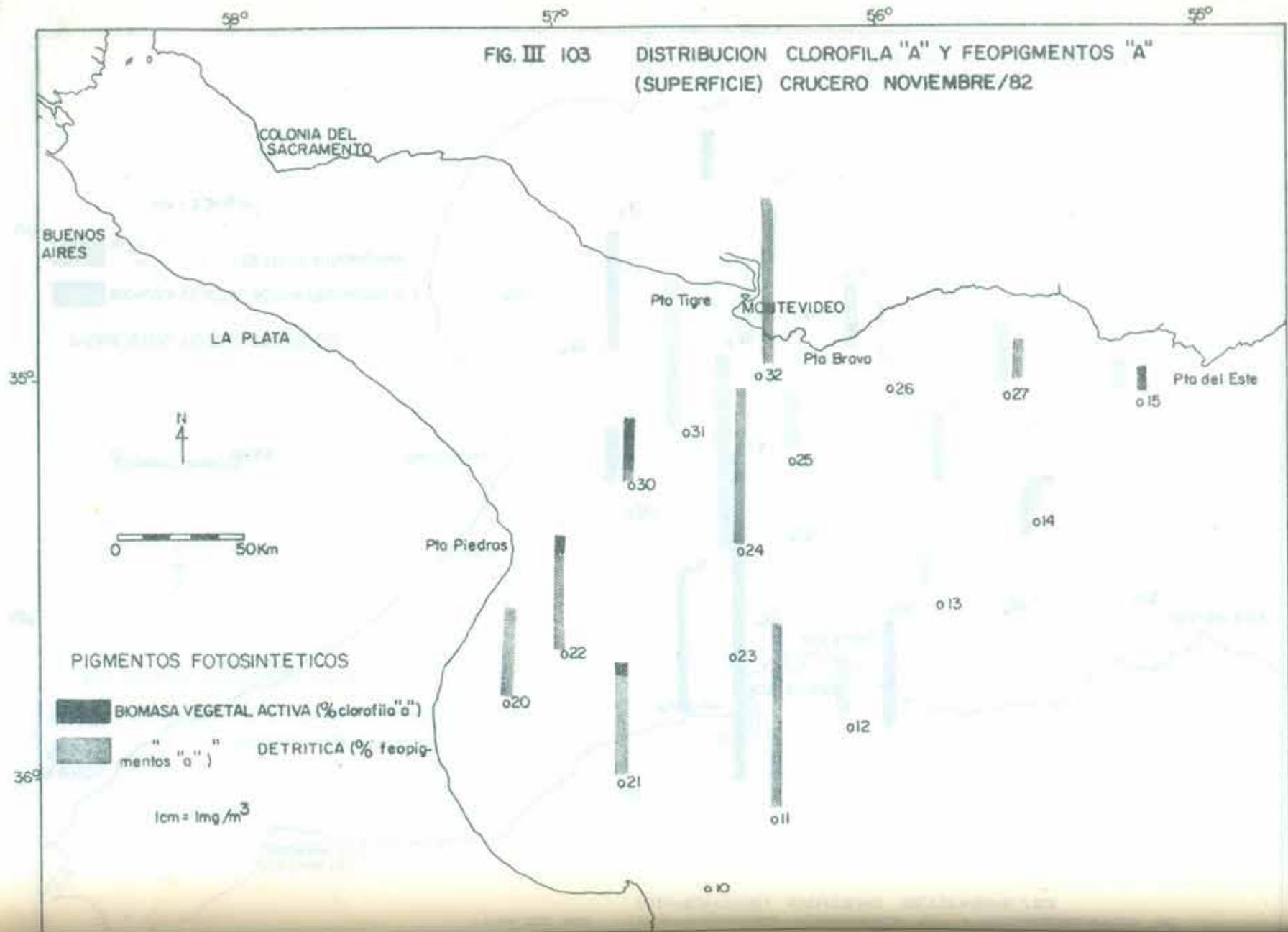
Son característicos los "blooms" de diatomeas y dinoflagelados marinos durante la primavera y otoño; los de cianofíceas (*M. aeruginosa*) durante el período comprendido entre fines de la primavera y principios del otoño.

Las especies encontradas frecuentemente, en esta zona son : **Chaetoceros spp., Ditylum brightwelli, Skeletonema costatum, Asterionella glacialis, Thalassiothrix frauenfeldii, Thalassionema nitzschioides, Rhizosolenia spp., Coscinodiscus spp.**









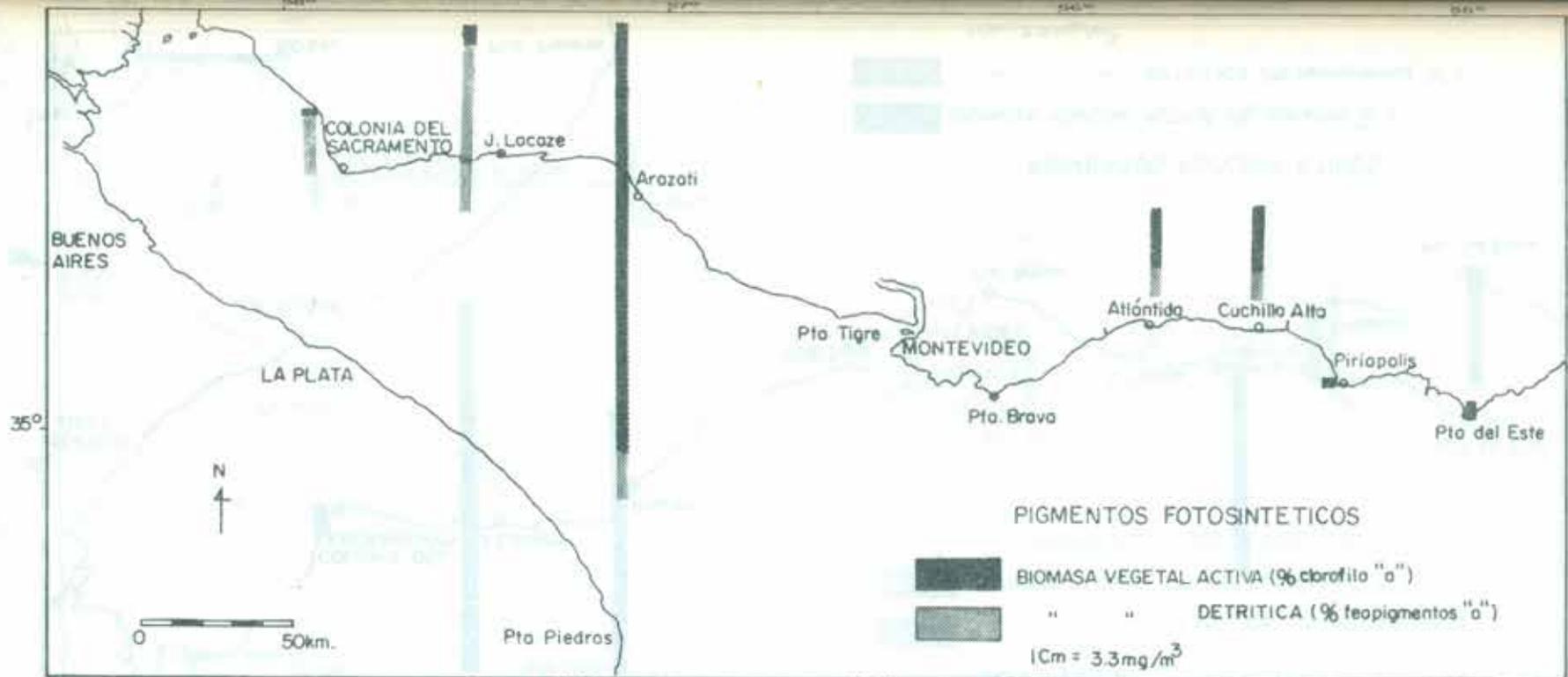


FIG. III 104 DISTRIBUCION CLOROFILA "A" Y FEOPIGMENTOS "A" (COSTERO) CRUCERO ENERO/83

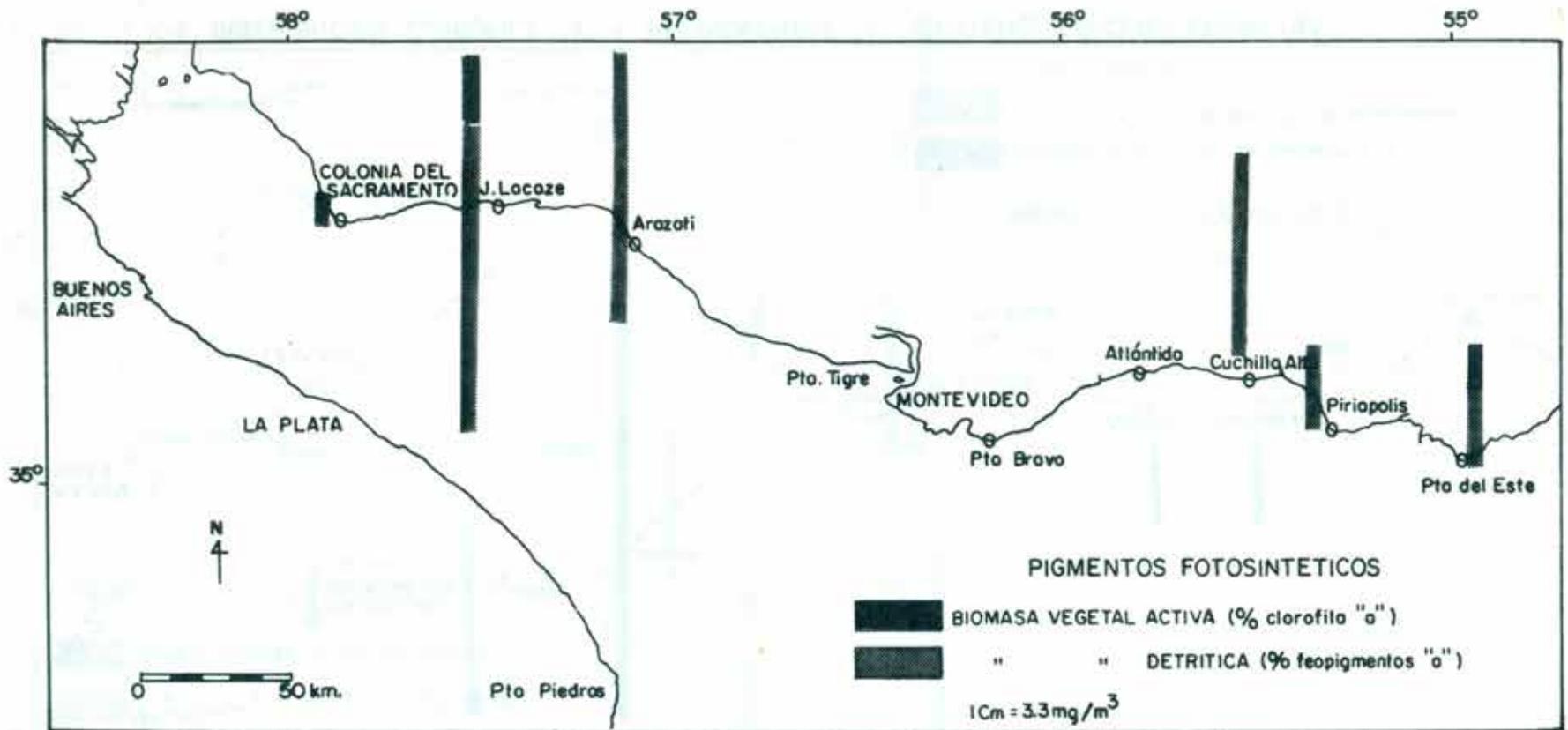


FIG. III 105 DISTRIBUCION CLOROFILA "A" Y FEOPIGMENTOS "A" (COSTERA) CRUCERO MAYO/83

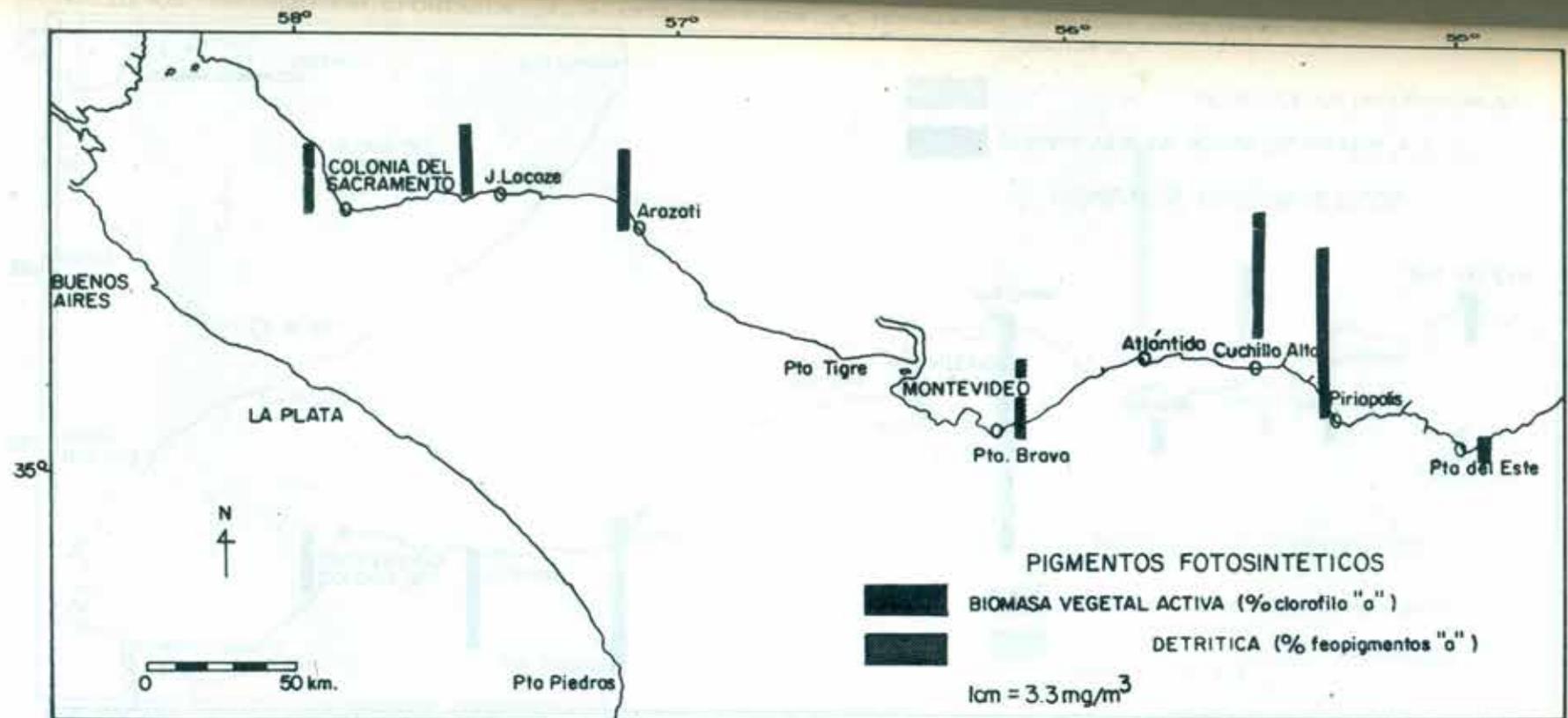


FIG. III 106 DISTRIBUCION CLOROFILA "A" Y FEOPIGMENTOS "A" (COSTERO) CRUCERO JUNIO /83

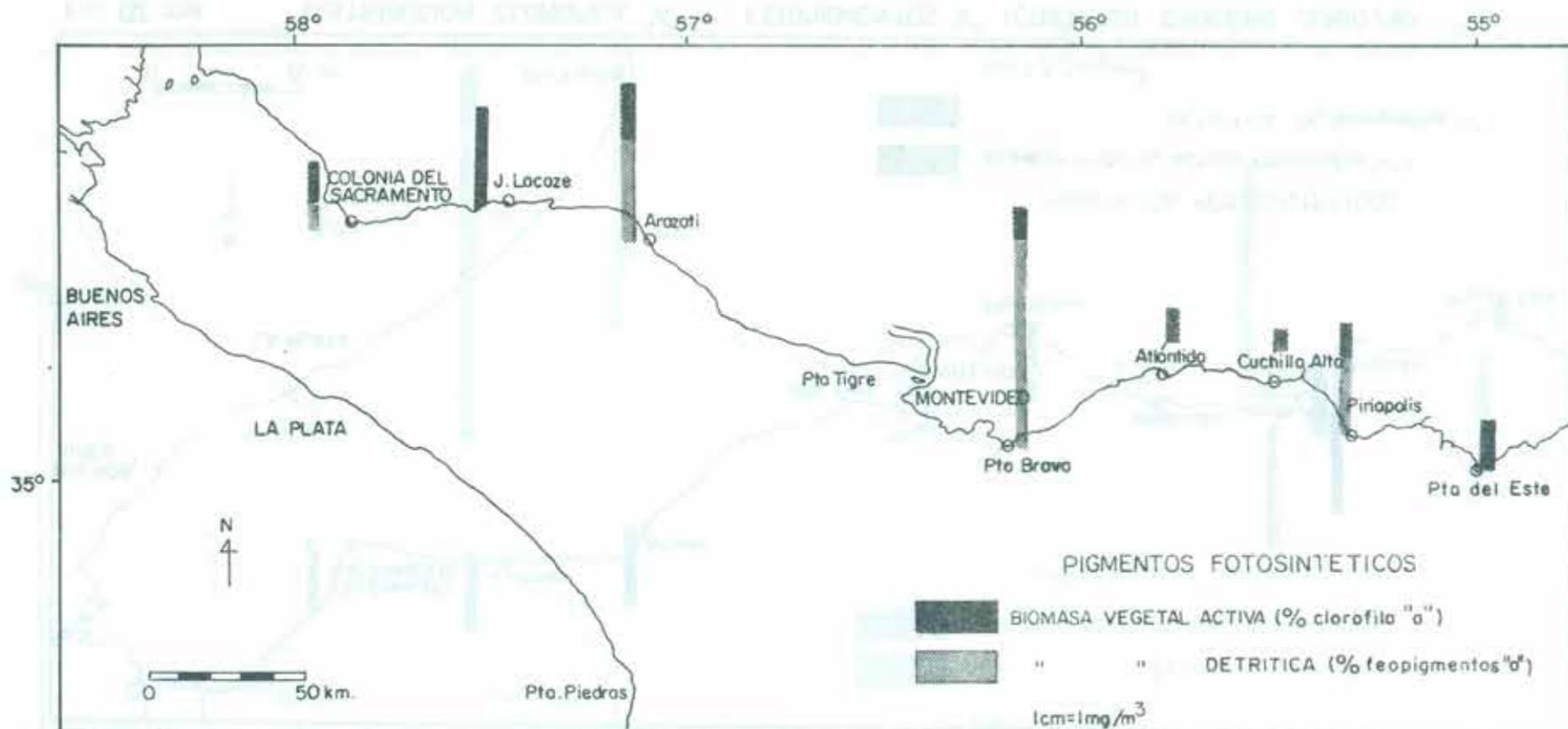


FIG.III 107 DISTRIBUCION CLOROFILA "A" Y FEOPIGMENTOS "A" (COSTERO) CRUCERO DICIEMBRE/83

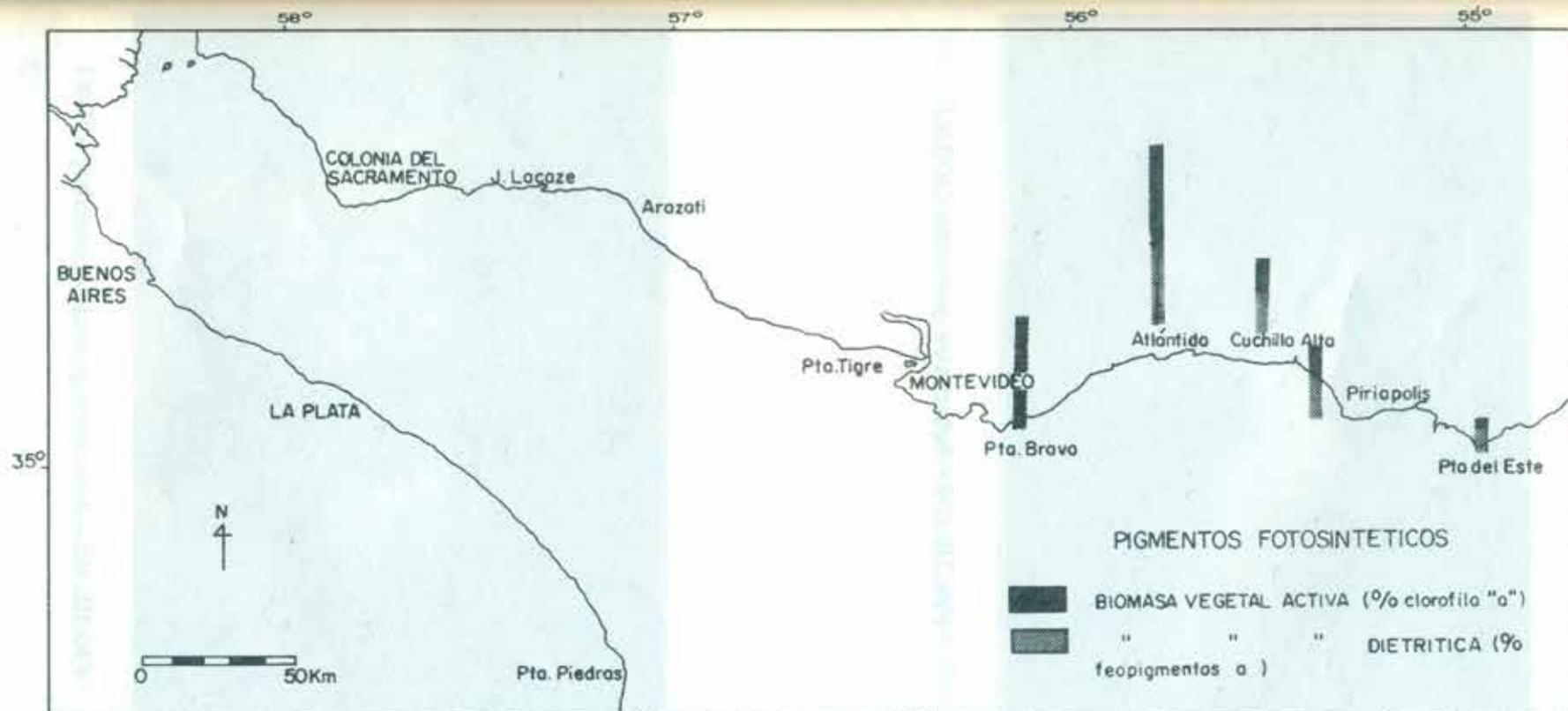


FIG. III 108 DISTRIBUCION CLOROFILA "A" Y FEOPIGMENTOS "A" (COSTERO) CRUCERO ENERO/84

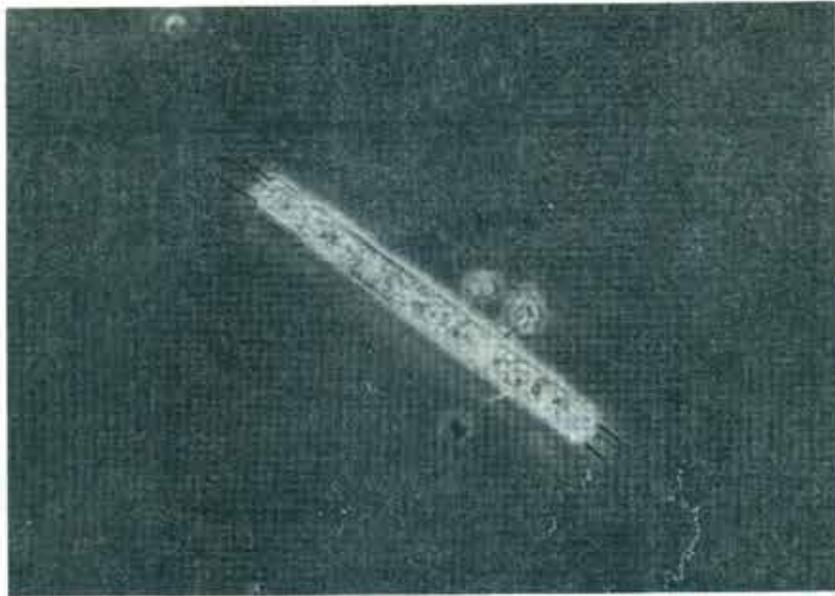


FIG.III.109 - *Aulacosira granulata* (100 X)

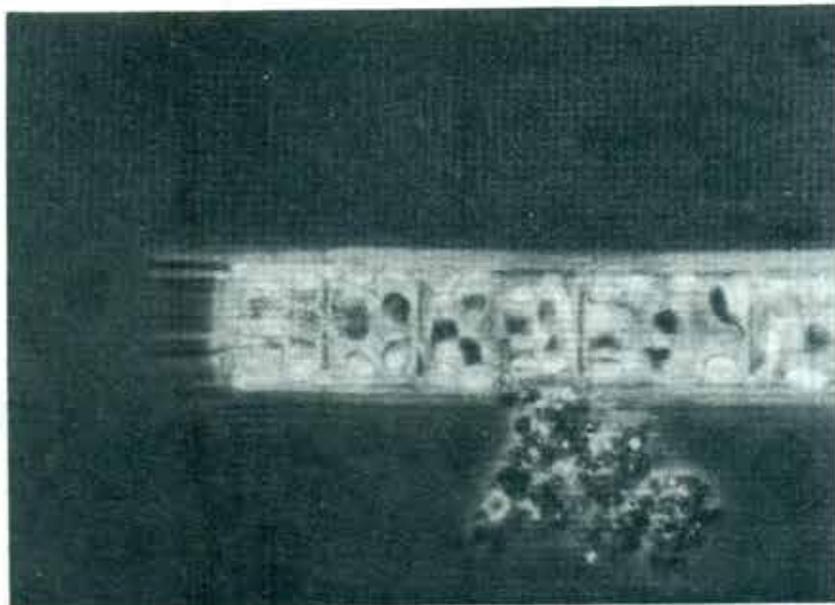


FIG.III. 110 - *Aulacosira granulata* (detalle, 400 X)

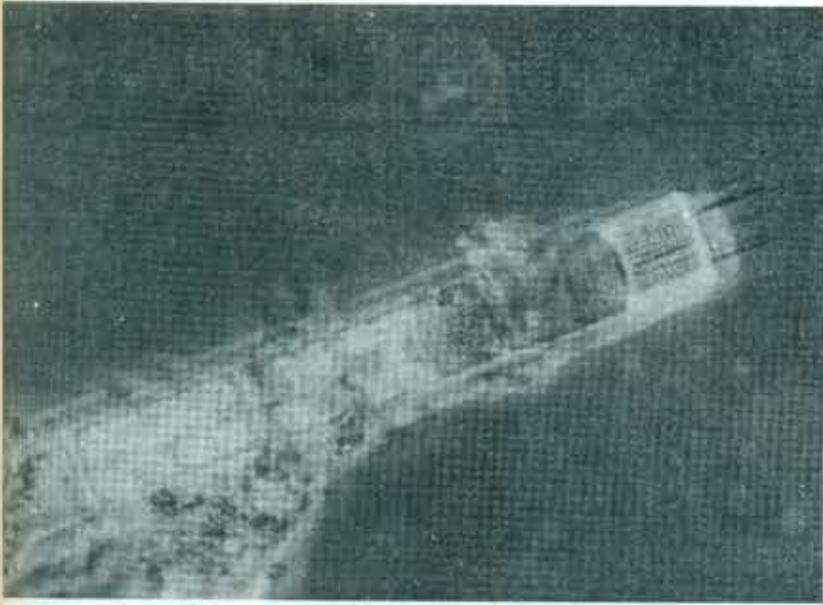


FIG. III . 111 - *Aulacosira pseudo-granulata* (con plastos, 400 X)

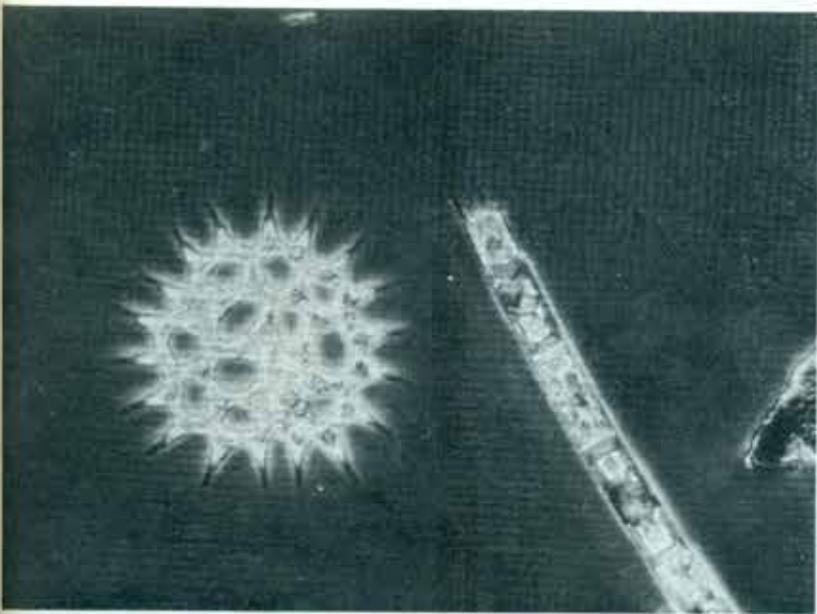


FIG. III . 112 - *Pediastrum simplex*, *A. granulata* (100 X)

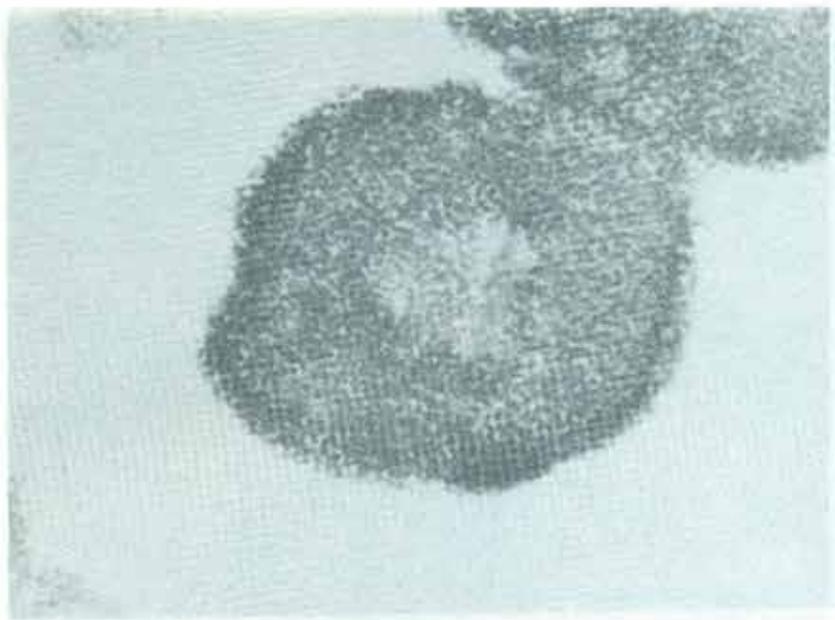


FIG.III.113 - *Microcystis aeruginosa* (400 X)



FIG.III.114 - *Microcystis aeruginosa* (1000 X)

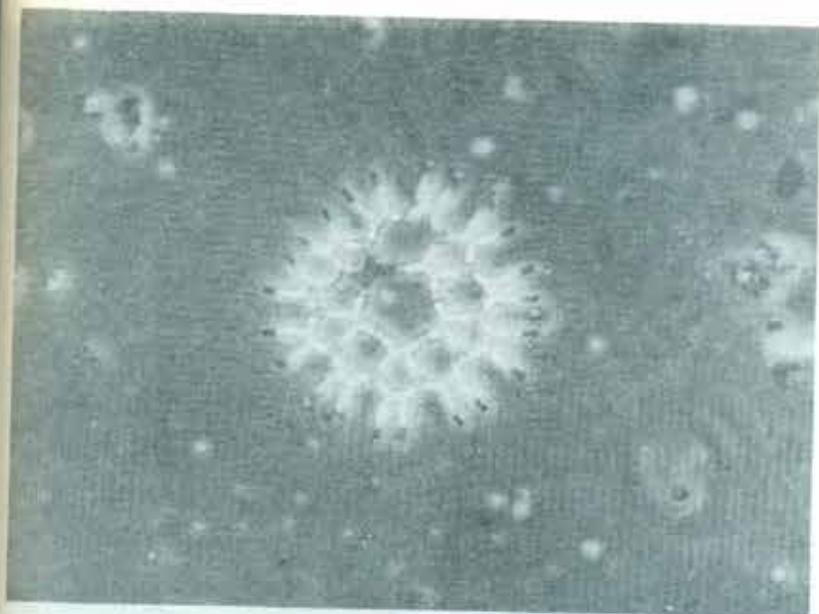


FIG. III. 115 - *Pediastrum duplex* (400 X)

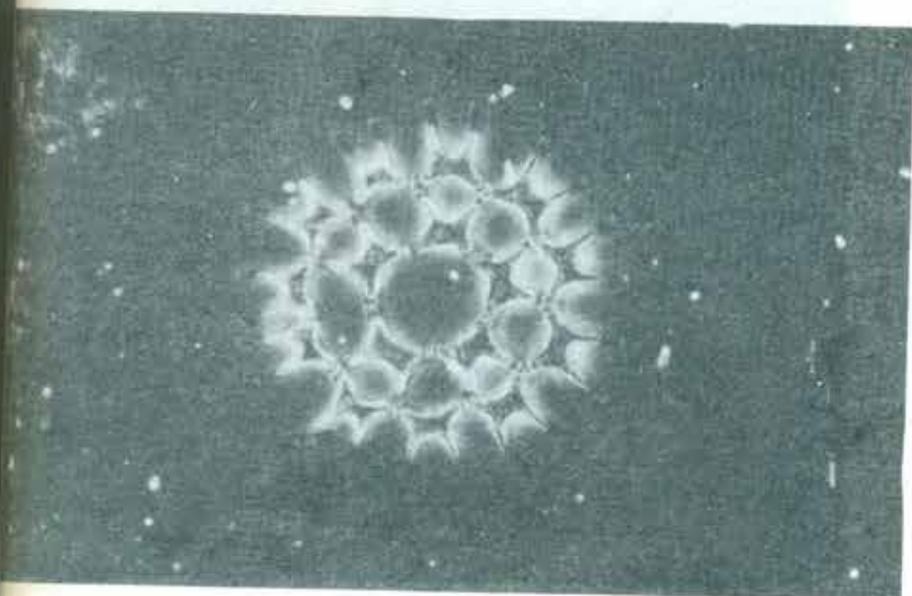


FIG. III. 116 - *Pediastrum duplex* (400 X)



FIG. III. 117 - *Staurasturm* sp. (400 X)

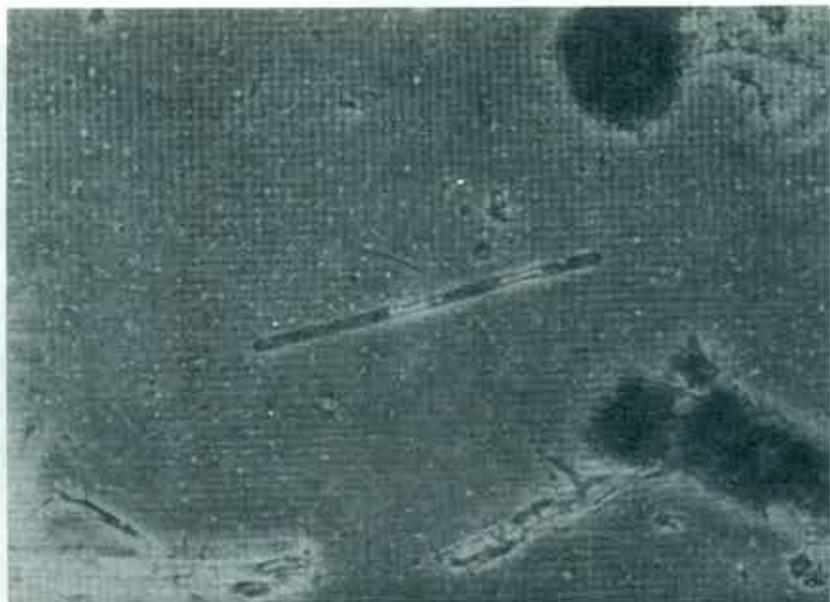


FIG. III. 118 - *Mougeotia* sp (400 X)

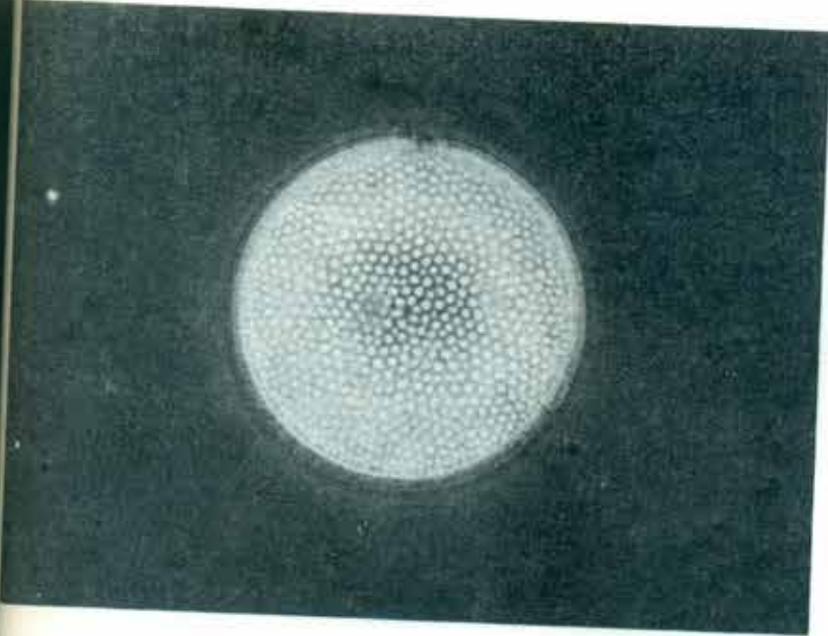


FIG. III. 119 - *Thalassiosira* sp (400 X)

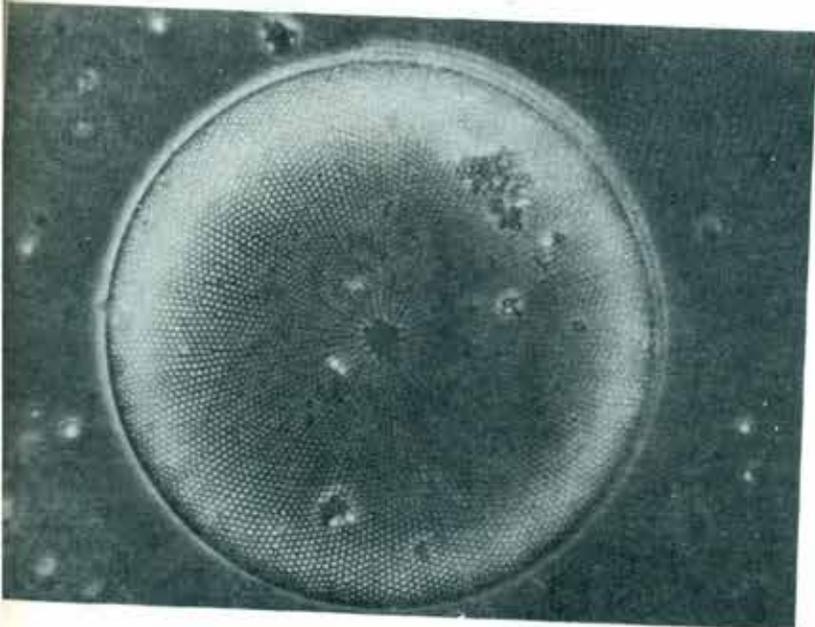


FIG. III. 120 - *Cossinodiscus* sp (400 X)

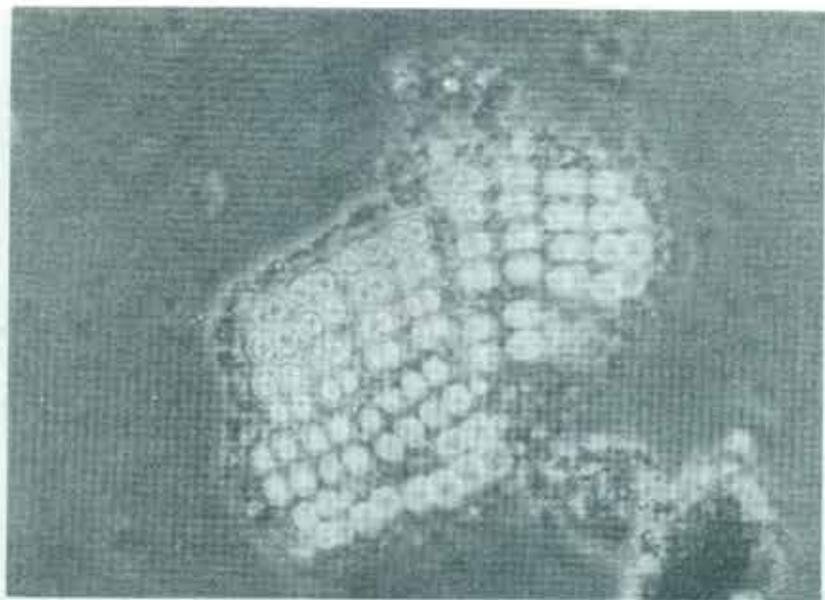


FIG.III. 121 - Merismopedia sp (400 X)



FIG.III. 122 - Lyngbya sp (400X)

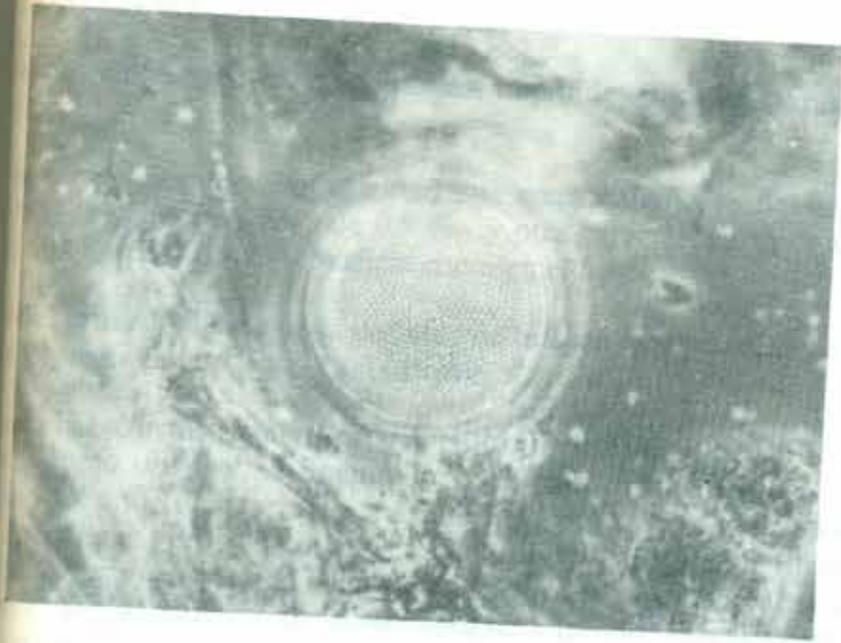


FIG. III. 123 - *Actinocyclus* sp (400 X)

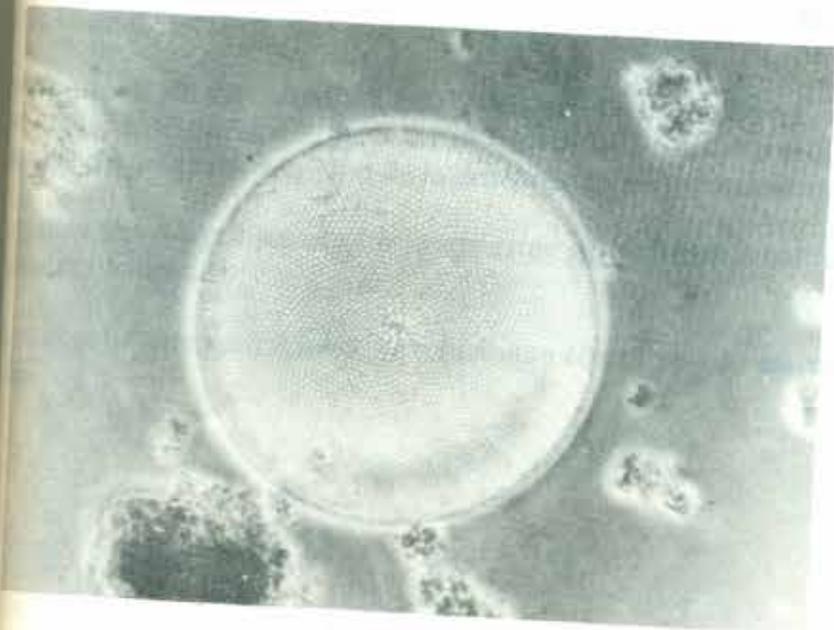


FIG. III. 124 - *Coscinodiscus* sp (400 X)

5.- SINTESIS.

Se realiza una síntesis de las conclusiones obtenidas para los parámetros más relevantes.

Claridad: se diferencia con claridad una zona netamente fluvial, donde la turbidez rara vez supera el valor de 0,5 %_o, y otra caracterizada por variaciones de 0 a 33 %_o tanto en la superficie como en el fondo.

El tipo de intrusión salina queda definido en la zona comprendida en la sección transversal del eje de Punta Tigre-Punta Brava.

Respecto a la estructura salina vertical, el Río de la Plata Exterior o Inferior se define como un sistema fluviomarino parcialmente mezclado, si bien en algunas épocas del año se observan situaciones de homogeneidad y estratificación. El gradiente vertical aumenta con la profundidad y se manifiesta por una haloclina. Para romper esta haloclina se requieren fuertes vientos (sudestadas o nortes). El efecto conjunto de la morfología, amplitud mareal, predominio de las corrientes del sur, canalización de las descargas fluviales, la fuerza de Coriolis, el ingreso de agua dulce y la descarga neta, determinan una dinámica de transporte mucho más activa en el Río de la Plata Uruguaya y sector medio externo al norte del Banco Rouen.

Temperatura: En el Río de la Plata Medio o Intermedio la temperatura está fuertemente influenciada por los factores ambientales y por los aportes fluviales.

En el Río de la Plata Exterior o Inferior sólo el agua superficial (sobre la haloclina) está influenciada por los factores atmosféricos, ya que la temperatura del agua de fondo depende de la masa de agua de mar que ingresa al sistema.

Oxígeno disuelto, pH y alcalinidad: en el Río de la Plata Medio o Intermedio se observan valores de subsaturación (hasta un 85%) debido al consumo requerido para la oxidación de materia orgánica proveniente de la descarga de efluentes urbanos.

En las regiones meso y polihalinas las aguas están generalmente sobresaturadas, favoreciendo la actividad fotosintética.

En la columna vertical las concentraciones se relacionan con el tipo de estratificación y la profundidad.

En cuanto al pH y alcalinidad en el Río de la Plata Medio o Intermedio, están íntimamente asociados a la salinidad, observándose una gran dispersión en el aporte fluvial con valores típicos de los tributarios.

En el Río de la Plata Exterior o Inferior el pH se comporta cualitativamente como la saturación de oxígeno, como consecuencia de los fenómenos de óxido-reducción biológica a los que responden. El potencial redox en la columna de agua indica: fotosíntesis-respiración con balance positivo, en superficie; y negativo cerca del fondo por oxidación de la materia orgánica que conduce a la regeneración de nitrato y fosfato.

d) Nutrientes del Nitrógeno: En el Río de la Plata Medio o Intermedio se pueden definir dos zonas de máxima concentración de ion nitrato, ubicadas sobre ambos márgenes del río. En la margen norte de Colonia a Punta Tigre y en la margen sur de La Plata hasta Punta Piedras. Esta distribución está relacionada con las zonas de descarga de los emisarios de Obras Sanitarias de la Nación y de O.S. de la Prov. de Buenos Aires que reúnen los líquidos cloacales de grandes centros urbanos.

A partir de salinidades del orden de 1‰ la concentración de nitrato se hace menor y más homogénea.

El ión amonio también se distribuye en concordancia con la ubicación de los grandes centros urbanos y con los sedimentos superficiales de fondo (desorción).

En cuanto a la concentración de ión nitrito (relativamente baja) es coherente con los porcentajes de saturación de oxígeno hallados.

En el Río de la Plata Exterior o Inferior los nitratos tienen un comportamiento conservativo en superficie, mientras que en el fondo las concentraciones se relacionan con los procesos de óxido-reducción.

e) Fosfatos: En el Río de la Plata Medio o Intermedio la concentración de los fosfatos se incrementa desde Playa Honda con un valor de aproximadamente $1.0 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ hasta 1,5 en la zona en que se mezclan los aportes urbanos, combinado con la zona del límite móvil de la intrusión salina, donde coexisten fenómenos de aporte antropogénico, interacción agua-material en suspensión y zonas de depósito de arcillas.

Río de la Plata Exterior o Inferior el comportamiento de los fosfatos puede ser tres patrones diferentes:

1. Relación negativa con la salinidad sobre la haloclina.

2. Gran dispersión de valores con tendencia decreciente.

3. Distribución de valores con media próxima a $1 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$.

Silicatos: este nutriente presenta un comportamiento conservativo, ya que la relación de la mezcla de agua dulce y salada gobierna la concentración del ión silicático. No es posible definir un valor representativo del agua fluvial debido a la gran variabilidad del aporte de sílice. Esta variabilidad disminuye al aumentar la salinidad, por lo que es posible extrapolar (para salinidad cero) un valor comprendido entre 120 y 180 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$.

En términos generales, de abril a agosto, el Río de la Plata es fuente de importantes silicatos que fertilizan la plataforma, cubriendo el déficit de agua subtropical.

En períodos de alta productividad se ha apreciado una disminución en la concentración de silicatos (remoción biológica).

Material en suspensión y Turbiedad: La importancia de este parámetro reside fundamentalmente en la capacidad de la fracción arcillosa de adsorber, transportar y liberar diversas especies químicas (contaminantes y nutrientes) así como su papel regulador de la penetración de la luz y por tanto regulador de la producción primaria.

Se pueden definir áreas de máximo contenido de material en suspensión en la zona costera, antes del límite de intrusión salina, en las que por aumento de la fuerza de las corrientes se levanta el material flocculante, formándose depósitos arcillosos que son áreas especialmente críticas para el estudio de pesticidas y contaminantes metálicos.

Hidrocarburos: El petróleo y sus derivados que ingresan al sistema sufren la acción del viento, las corrientes, del material en suspensión, la energía radiante, la actividad bacteriana etc. Por ello de inmediato está expuesto a los procesos de emulsión, disolución, emulsificación, sedimentación, oxidación y degradación biológica.

La distribución de hidrocarburos en superficie no presenta variaciones estacionales ni es función de la salinidad. Cuando las condiciones meteorológicas fueron muy desfavorables las concentraciones halladas en superficie fueron muy bajas, debido a la intensa muestra vertical provocada por el viento.

Puede definirse una zona de mínima concentración (entre 2 y 3 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$, expresado en unidades crisenó) en la margen norte, y una zona de máxima en la margen sur, donde se han hallado las mayores concentraciones (entre 15 y 25 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$). Esto está asociado a los canales de acceso a los puertos de Buenos Aires y La Plata, y a las pequeñas pero permanentes descargas de embarcaciones menores que transitan por la zona. En cercanías de La Plata, los valores hallados tienen su explicación en la existencia de tres plantas petroquímicas y una gran destilería.

Si bien las concentraciones no exceden del orden de microgramos por litro, se ha comprobado la presencia de hidrocarburos en todos los puntos de muestreo.

i) Metales: La concentración de metales en agua, en el Río de la Plata Medio o Intermedio, depende principalmente del equilibrio con el material en suspensión. En determinadas condiciones físico-químicas, (salinidad, pH, potencial redox, temperatura, etc) y dinámicas pueden liberarse algunos iones metálicos que se encontraban inmovilizados en el sedimento. Estas especies pasan al agua intersticial y de ella al agua superficial.

Un aumento de la fuerza iónica (por intrusión salina) produce la movilización de algunos metales como plomo y cadmio, según la estabilidad relativa de los complejos metálicos. Por el contrario, otros metales como el hierro, cobre, cinc y manganeso presentan una distribución homogénea en casi toda la zona fluvial.

En el Río de la Plata Exterior o Inferior no se observan variaciones importantes de concentración de metales pesados en sedimentos. Las variaciones encontradas están asociadas a la distribución granulométrica del sedimento.

j) Biocidas organoclorados: Los biocidas organoclorados constituyen un grupo importante de contaminantes por su amplia utilización y por su persistencia en el medio ambiente.

El mecanismo de transporte depende de las propiedades físicas y químicas, y de la forma de utilización agrícola de las biocidas. Dado su carácter hidrófobo tienden

orbidos por el material arcilloso y así son transportados en suspensión por asociados a los procesos de movilización de los sedimentos finos en el sistema.

biocidas evaluados en todos los puntos de muestreo fueron: isómeros alfa, beta del hexaclorociclohexano, Aldrin, Dieldrin y Endrin; Heptacloro y Epóxido de Heptacloro, isómeros del DDD, DDE y DDT.

Para efectos de evaluar el impacto que estos plaguicidas puedan tener sobre el ambiente se compararon los valores obtenidos con diversos estándares de calidad, tales como criterios de calidad como ser: Valores Recomendados para la Cuenca del Plata, Criterios de Calidad de Aguas propuestos por la E.P.A.(USA), Valores de Calidad de Agua en Canadá, Estándares de Calidad de las Aguas del Río

Para determinar los valores numéricos de los parámetros indicadores de calidad de las aguas que han sido activamente medidos, se han tenido en cuenta los usos legítimos de las aguas que se definen de la siguiente manera:

1. Aguas crudas o brutas destinadas al abastecimiento público con tratamiento convencional.

2. Aguas destinadas a actividades de recreación con contacto directo.

3. Aguas destinadas a actividades agropecuarias.

4. Aguas destinadas a la conservación de la Vida Acuática.

Los valores máximos hallados para cada biocida (en el Río de la Plata Medio o Superior) son:

Aldrin, Dieldrin y Endrin: el único que supera el valor recomendado para aguas destinadas a actividades de recreación ($< 5 \text{ ng/l}$) es el Dieldrin con 6 ng/l , frente a la ciudad de Colonia del Sacramento.

El isómero gamma del hexaclorociclohexano el valor máximo hallado que supera el valor recomendado de 20 ng/l (Uso IV) está ubicado frente a la ciudad de Colonia.

Heptacloro y Heptacloroepóxido: el primero supera sólo ligeramente el máximo recomendado con un valor de 12 ng/l ; y el epóxido alcanza un valor de 45 ng/l cerca de

la ciudad de La Plata, probablemente debido a la intensa actividad frutihortícola de la zona. (Valor Guía: Heptacloro + Epóxido < 10 ng/l).

d) D.D.T (diversos isómeros): en todos los casos en que se superan los valores recomendados para el uso IV (< 2 ng/l) se trata de muestras cercanas a la costa y a las zonas de descarga de los emisarios de Obras Sanitarias de la Nación y de la Prov. de Buenos Aires. Ello ocurre en las estaciones 750 (Colonia), 630 (Juan Lacaze), 440 (desembocadura del río Santa Lucía) 700, (Buenos Aires) y 600 (La Plata).

03.1 - BIBLIOGRAFIA

- Amiot, A. & Chaussepied M. 1983. Manuel de analyses chimiques en milieu marin. pp 385.
- Arillaga, B y M Orezzaoli. 1983. Plancton del Río de la Plata. Dptos. Botánica y Biología, Fac. Química. Inédito.
- Arillaga, B. y C.López. 1983. Fitoplancton del Río de la Plata: caracterización de los diversos ambientes. Estudio taxonómico vinculado a las condiciones ecológicas. Res. VIII Simp. Latinoam. Oceanografía Biológica. Montevideo. Uruguay.-
- Barp, R. 1986. Comportamiento dos sedimentos en suspencao no Río de la Plata Exterior e proximidades. Pesquisas, Inst. Geociencias. UFRGS. 18: en prensa.
- Bilay, M.A. 1961. El Río de la Plata; entre la atmósfera y el mar. Bol. SIHN, H-641, 153p.
- Brazón, J.M y A.M. Orlando. 1988. Determinación de ión nitrato en aguas naturales. Método por reducción con Cadmio Cobre. SIHN. Inf. Técnico Nº 47/88. 1988.
- Brazón, J.M. y A.M. Orlando. 1987. La Escala de Salinidad Práctica de 1978 y la Ecuación Internacional de Estado del Agua de Mar de 1980. SIHN. Inf. Téc. 43/87.
- Brazón, J.M. y A.M. Orlando. 1985. El Sistema Internacional de Unidades y sus Aplicaciones a las Ciencias del Mar. SIHN. Publicación Nº H.656. 1985
- Brazado, A. 1988. Eutrophication in the pelagic environment and its assessment. pp 57-66. In: Eutrophication in the Mediterranean Sea: Receiving capacity and monitoring of long-term effects. UNESCO Rep. Marine Science N. 49.1988.
- De Buen, F. 1950. Oceanografía frente a las costas del Uruguay. An. Mus. Hist. Nat. Montevideo. VI.(1) 37 p.
- Deacy, J.P. 1979. Utilización de las algas bentónicas como indicadores biológicos de la calidad de las aguas corrientes. pp 175-201. En: La Contaminación de las aguas continentales. P. Pesson 1979, 335 pp. Ed. Mundi Prensa.

- Francois, A.* 1982. Características de la mezcla del Río de la Plata para los parámetros normales. En SOHMA : " Plan para la Evaluación de la Contaminación del Río de la Plata". Actividades 1981. Tomo I.
- François, A y R.Riso.* 1982. Efecto de la estratificación de las aguas del Río de la Plata sobre los parámetros normales. En SOHMA: " Plan para la Evaluación de la Contaminación del Río de la Plata. Actividades 1981. Tomo I.
- Frenquelli J.* 1937. Diatomeas del Río de la Plata. Rev. Museo de La Plata. Tomo III, Botánica, Nº 15.
- FWPCA (Federal Water Pollution Control Administration USA)* 1968 "Water Quality Criteria".
- Giese G., H.Wilder y G.Parker* 1985 "Hidrology of major estuaries and sounds of North Carolina".USGS. Water-Supply . Paper 2221.
- Goulding K. y S.Ellis* 1981 "The interaction of DDT with two species of Freshwater algae" Pollut. 25, 271-290.
- Goldberg Edward,* 1976. "The health of the oceans" The UNESCO Press. Paris 1976.
- IOC/WHO/UNEP.* 1980. Workshop on the Intercalibration of Sampling procedures. Pilot Project on Monitoring Background Levels of selected Pollutants in Open Ocean Waters. Bermuda.
- Klein W.* 1982. "Bound pesticide residues in soil, plants and food". IAEA SN 263/38 pp.177.
- Koroleff Folke.*1968. Direct determination of Ammonia in Natural Waters as Indophenol Blue. ICES, C.M. 1969/C:9 Hydr. Comm.
- Kuhnemann O. y S. Guarrera.* 1948. Limnoplankton del Río de la Plata. Rev.Obras Sanitarias de la Nación Nº 141 (Abril-Junio) 35 p.
- Kurucz A.* 1987 "Evaluación preliminar acerca de la presencia de Pesticidas organoclorados en el Río de la Plata Exterior". Inv. Ocean. VI Nº 1 (en prensa).
- Liebmann H.* 1962. Handbuch der frischwasser und abwasser-biologie R. Oldenbourg Munchen. 571p.

- e. C. 1983. Variación diaria de la clorofila "a" y feopigmentos del fitoplancton costero del Río de la Plata. Res. 2º Jorn. Cs. Naturales, IIBCE (Montevideo). Uruguay.
- e. C. 1983. Fitoplancton del Río de la Plata: caracterización Biológica de los diversos ambientes. Inf. Trimestral O.E.A. (Inédito).
- e. C. 1986. Distribución de la biomasa y composición del fitoplancton del Río de la Plata (período 1981-85). Informe Preliminar. (Inédito).
- e. C. 1987. Importancia ecológica de *Aulacosira granulata* (Ehr.) Simonsen (Bacillariophyceae) en el Río de la Plata. Res. IIº Jorn. Urug. Botánica. Fac. Agronomía. Montevideo.
- e. C. 1987. Distribución de la clorofila "a" y parámetros hidroquímicos durante un "bloom" de *Microcystis aeruginosa* Kutz. en el Río de la Plata. Res. VIIº Jorn. Cs. del Mar. Concepción. Chile.
- e. C. 1988. Desarrollo masivo de microalgas en el Río de la Plata (con especial referencia al fenómeno ocurrido durante el verano de 1988). Informe Div. Sancam. Ambiental. (Dir. Nac. Hidrografía) Inédito.
- e. C. 1988. Eutrofización en aguas naturales (especial referencia al Río de la Plata) Poster Jorn. de Ecología en el Uruguay. Montevideo.
- e. Laborde, J. 1987. Distribución de sedimentos superficiales de fondo en el Río de la Plata Exterior y Plataforma adyacente. Inv. Oceanol. 1(1): 19-30
- son, C.J. 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments Spectrophotometric equations. Limnol. Oceanog. 12
- and, M. 1985. "Dosage des pesticides et des polychlorobiphenoles dans l'eau, les sédiments et les organismes marins par chromatographie gazeuse". Aminot A. "Manuel des analyses chimiques en milieu marin" pp. 367.
- os, H y V. Melgar. 1983. Estudio de parámetros hidrológicos en la costa uruguaya del Río de la Plata. VIII Simposio Latinoamericano sobre Oceanografía Biológica. Montevideo. Res.11.

- Mouchet, P.* 1986. "Revue des reactions des algues aux micropolluans minéraux et organiques, ecologiques et possibilités d'application industrielles".
- Nagy, G.* 1983. Caracterización de los procesos hidrológicos del Río de la Plata. Univ. de la República. Fac.Hum. y Ciencias. Tesis. (Inédita).
- Nagy, G y A. Perdomo.* 1983. Estudio Preliminar de la influencia de la dilución fluvio-marina sobre los parámetros hidrológicos del Río de la Plata. VIII Simposio Latinoamericano de Oceanografía Biológica. Montevideo. Res. 15.
- Nagy, G, J.López Laborde y L.Anastasia.* 1987 "Caracterización de ambientes del Río de la Plata Exterior". *Inv.Oceanol.* V 1 N° 1 (SOHMA.Uruguay) en prensa.
- Nagy, G, J.López Laborde y L.Anastasia.* 1987. Caracterización de ambientes del Río de la Plata Exterior. (Salinidad y Turbiedad). *Inv.Oceanol.* 1(1): 36-56.
- Nagy, G y A. Blanco.* 1987. Balance de silicatos disueltos de superficie en el Río de la Plata.
- Odum, H.* 1972. "An energy circuit language for ecological and social systems, its physical basis" *System analysis and simulation in ecology.* 2 Academic Press. New York.
- OPS (Organización Panamericana de la Salud)* 1985 "Guía para la Calidad de Agua Potable".
- Orlando, A.M. y L.J.Janiot.* 1982. "Pesticidas clorados en el Río de la Plata. XVI Congreso Argentino de Química. Córdoba. República Argentina.
- Orlando, A.M. y E.Sik.* 1983."Metales pesados en el Río de la Plata".VI Congreso Argentino de Saneamiento. Asociación Argentina de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (AIDIS).
- OSE (Obras Sanitarias del Estado.Uruguay).* 1986 "Normas de Calidad de agua potable". Pub. científica N° 481.
- Ottmann, F y C.M.Urien.* 1966. Sur quelques problemes sedimentologiques dans le Río de la Plata. *Rev. Geographic, Phys. et Geol. Dynam.* VIII (3): 209-224.

G., et al. 1985. Distribución de sedimentos en la superficie del fondo del Río de la Plata. En SOHMA (División Geología Marina) "Estudio para la Evaluación de la Contaminación del Río de la Plata".

no A. y G. Nagy. 1987. Conservatividad y Asimilación/Regeneración de nutrientes en el Río de la Plata Exterior para 1982. SOHMA. Inf. Tec. 87/03. 11p.

P. 1979. La contaminación de las aguas continentales. Incidencia sobre las biocenosis acuáticas. Ed. Mundi-Prensa. 335 p.

M. y A. Orlando. 1984. Distribución de fósforo, nitrógeno y silicio disueltos en el Río de la Plata. Pub. H-625 del Servicio de Hidrografía Naval. Bs.As. Argentina.

ski, R. 1983. Introducción al estudio de la variabilidad temporal de la salinidad en la costa uruguaya. Univ. de la República. Fac. Hum. y Ciencias. Tesis.

ni O.J. 1987. "Comentarios sobre Criterios y Estándares de Calidad de Aguas". CTUA-INCYTH. Buenos Aires.

J. y K. Shieh. 1986. "Biological fate of organic priority pollutants in aquatic environment". Water Research 20, 1077-1090.-

ons, W. y P. Baccini. 1986. The importance of Chemical Speciation in environmental process. Bernhemol M., F.J. Brunckmann (Ed.). Springer Berlin Heidelberg, New York.

ss, W et al. 1988. "Behavior and Impact Assessment of Heavy Metals in Estuarine and coastal zones". Springer-Verlag.

r, U. L. D. De Lacerda., S.R. Patchineelam. 1988. Metals In Coastal Environments of Latin America". Springer-Verlag.

and, J.D.H & T.R. Parsons. 1972. A Practical manual of Seawater analysis. Fish.Res. Board of Canada. Bull. N° 167. Queens Printer, Ottawa, Ont. Canada.

rk, V. 1973. System of water quality from the biological point of view. Arch. Hydrobiol. Beih. (Ergebn. Limnol.) 7: I-IV, 1-218p.

- Teixeira, J.* 1988. Estudio temporal de la salinidad costera en la desembocadura del Río de la Plata. IIIª Semana Universitaria de Oceanografía (SUOCEAN). (En prensa).
- Tuffery, G.* 1979. Incidencias ecológicas de la polución de las aguas corrientes. Reveladores biológicos de la polución. pp 215-255. Inc: La Contaminación de las Aguas Continentales. P. Pesson, 1979. pp 335. Ed. Mundi Prensa.
- UNESCO.* 1969. Determination of Photosynthetic Pigments in Sea Water. Rep. SCOR-UNESCO WG 17. UNESCO Monog. in Oceanographic methodology. pp 69.
- UNESCO.* 1988. Eutrophication in the Mediterranean Sea: Receiving Capacity and Monitoring of Long-Term Effects Rep. and Proceed. of a Scientific Workshop. Bologna. Italy. 1987. UNESCO Report in Marine Science Nº 49.
- Urien, C.M.* 1972 Río de la Plata Estuary environments. Geol.Soc. of Am. Memoir 133: 213-234.
- USGS (United States Geological Survey).* 1985. "Pesticides in the Nation's rivers. 1975-1980, implications for future monitoring". USGS Water Supply Paper 2271.
- Zeep, R.,P. Schlotzhauer.* 1983. "Influence of algae in photolysis rates of chemical in water". *Envir.Sci.Tech.* ,17 462-468.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

de la Plata, de longitud aproximada a los 320 km y de ancho variable entre 100 y 200 km, tiene forma de embudo con una superficie del orden de los 30.000 km² y eje de descarga según la dirección NW-SE. Debido al aporte de sus dos ríos más importantes, el río Paraná y el río Uruguay, su caudal puede estimarse en 100 km³/s, tercero en el mundo, detrás del de Amazonas y Congo.

Desde el punto de vista morfológico el Río de la Plata puede ser dividido en dos zonas principales: la fluvial ("Rada Interior") que abarca los sectores actuales denominados Interior o Superior y Medio o Intermedio, y la zona Exterior o Inferior ("Rada Marítima"), ambas separadas por una geoforma de agradación denominada "Llanura del Indio".

Esta división coincide con el límite natural de dispersión de sedimentos actuales o recientes, la que trasciende a lo largo de la zona costera de la Bahía de Samborombón, Bahía Costera Sur, y además coincide con la zona de máximo gradiente de pendiente.

Una de estas áreas contiene grandes unidades morfológicas de acumulación, de tipo relicticas.

Los sedimentos del Río de la Plata gradan desde arenas en su cabecera, limos en la zona intermedia y limos arcillosos en su desembocadura.

Las zonas interior o superior y media o intermedia se diferencian por sus facies texturales interconectadas, ubicadas a lo largo de las costas cuyos espesores son decrecientes al SE; hacia el Este se confunden en un arco arcilloso que se extiende hacia el Sur bordeando la Rada Marítima.

Este manto está formado por los sedimentos actuales del río que se extienden casi sin solución de continuidad desde el Delta del Paraná hasta la Barra del Indio y Franja Costera Sur, en la Bahía de Samborombón. Sólo está ausente en depresiones erosivas tales como, Sistema Fluvial Norte, Paso del Farallón, Gran Hoya del Canal Intermedio, y Zona Oeste del Canal Oriental, donde afloran sedimentos arcillosos de un ciclo anterior.

Hacia el Este se enfrenta a sedimentos arenosos, también de un ciclo anterior o relicticos, cuya presencia señala el límite exterior hasta donde se extienden los sedimentos actuales del río.

El transporte neto de los sedimentos, a excepción de la franja costera, responde a un modelo de flujo fluvial, en el sentido de un desplazamiento desde la cabecera hasta el extremo Este en la Zona Fluvial (Barra del Indio y Franja Costera Sur en la Bahía de Samborombón). La Barra del Indio es una unidad morfológica o geoforma de acreción genéticamente vinculada a la zona de máximo gradiente salino, en donde por procesos físico-químicos se produce la floculación de las arcillas transportadas en suspensión a lo largo de la zona fluvial, y también por extensión en la zona costera de la Bahía de Samborombón. En la Rada Marítima existen tres direcciones de transporte dominantes, en áreas restringidas:

- Las arenas relicticas, ubicadas al Este, tienen un desplazamiento tractivo, hacia el NW.

- Los sedimentos en suspensión que superan la Barra del Indio se desplazan predominantemente al SE, a lo largo del Canal Marítimo, asociados a la descarga de refluo.

- En el sector comprendido entre Montevideo y Punta del Este existen aportes de material en suspensión de origen litoral que se desplazan al SE.

- En Punta Rasa, el desplazamiento es hacia el N, como consecuencia de la acción residual de la deriva litoral.

Este esquema permite suponer que la evacuación de contaminantes fuera del río, sólo se produciría en estado de solución en todo su frente, y adsorbido en el material en suspensión, hacia el SE.

Considerando a los sedimentos como receptores de contaminantes y a las formas de gradación que construyen, como consecuencia de la dinámica fluvial, éstas se sitúan en depósitos permanentes de aquéllos, de allí la importancia de su captación.

Como tales se han detectado las siguientes áreas:

Playa Honda: con arenas y arenas limosas.

Blanco Grande de Ortiz: con limos.

Barra del Indio: con limos arcillosos.

Franja Costera Sur: con arenas y limos arcillosos.

Además, aún no se conoce la relación existente entre familias de sustancias contaminantes y tamaño de grano, debe esperarse una mayor capacidad de adsorción en los sedimentos más finos, de allí que entre las áreas de mayor captación de contaminantes, se encuentre la Franja Costera Sur y muy especialmente la Barra del Indio.

La onda de marea proveniente del Océano Atlántico genera una corriente asociada que pauta la circulación general de las aguas dentro del río; por ello la corriente muestra las características de flujo (hacia el delta) y de reflujos (hacia la desembocadura) en la dirección de descarga, ocurriendo estos máximos de intensidad a las 6 hs. aproximadamente, de acuerdo con el régimen mareológico de las localidades diurnas presente.

En el curso inferior ocurre el proceso de adaptación de la onda de marea a la configuración geográfica de tipo fluviomarino hasta la zona Punta Arenas-Montevideo; a partir de allí y hasta el delta, la onda se regulariza, o sea que se conservan las relaciones de amplitudes y fases entre sus componentes fundamentales. Por la característica de la propagación en aguas bajas, con amplitudes en la margen argentina menores que en la uruguaya, hay una marcada atenuación de la onda desde ésta hacia aquélla, adaptándose a la topografía del río. Consecuentemente, las corrientes de marea son algo mayores en la costa argentina.

Se distinguen dos celdas de circulación, una ubicada en la parte inferior o exterior, y otra en la superior o interior del río, separadas por el abrupto estrechamiento en la línea Punta Piedras- Montevideo, apareciendo aquí corrientes en dirección transversal al eje.

La intrusión de agua salada en sistemas fluviomarinos es un factor importante en la hidrodinámica de los mismos, por ser un modificador del régimen de flujo. Obviamente, el valor medio de la corriente de marea en un ciclo de marea es cero; sin embargo, para cualquier instante existe un flujo cortante (variación de la corriente con la profundidad), que constituye uno de los mecanismos responsables del proceso de mezcla entre agua dulce y salada. El Río de la Plata puede considerarse un sistema parcialmente mezclado, en el cual las corrientes de marea son suficientes para producir una apreciable mezcla vertical y en la que el agua salada avanza y retrocede con cada creciente y bajante de la marea.

Aunque las corrientes de marea son mucho más intensas que las de densidad (originadas por los gradientes de salinidad longitudinal y vertical), éstas son relevantes en el proceso de difusión. La región de la intrusión salina puede situarse entre las secciones transversales al eje en Punta Tigre y Punta Brava, o sea, la ya mencionada región de bruscos cambios dinámicos.

En la zona de aguas arriba de la intrusión, a pesar de haber inversión del flujo con la fase de la marea, la corriente de refluo predomina sobre la de flujo en toda la vertical debido a la descarga de agua dulce. En las regiones de alta salinidad, o sea aquellas ubicadas en la parte inferior del río, las corrientes en el fondo tienen una intensidad en la dirección de flujo, ligeramente mayor que las de refluo.

El efecto de las olas es un mecanismo importante en la iniciación de arrastre del sedimento y un eficaz generador tanto de las condiciones turbulentas que permiten la suspensión del mismo, como de una corriente paralela a la costa, para el caso de incidencia oblicua a ella. El viento tiene un rol preponderante en la generación de corrientes perpendiculares a la costa, originando una corriente superficial en igual sentido a aquél, y provocando consecuentemente, una contracorriente de fondo compensatoria.

La corriente generada por olas, sumada a la producida por efectos del viento y a la descarga natural del río, es responsable del transporte litoral de sedimentos.

Los ciclos biogeoquímicos asociados a la contaminación están vinculados directamente o indirectamente a la distribución y variación espacio-temporal de la salinidad, a la dinámica sedimentaria, a la acción de la marea como generadora de corrientes y a la morfología del río.

Para poder evaluar la calidad de las aguas del río es necesario determinar previamente los niveles base de las variables consideradas, así como su rango de variación espacio-temporal; o sea definir los procesos involucrados a efectos de determinar cuál deberá ser la estrategia de muestreo (frecuencia temporal y distribución espacial, vertical y horizontal).

La aspiración de conocer la calidad natural de las aguas puede ser inalcanzable en muchos casos, de allí que los objetivos de calidad deban partir del estudio de los niveles actuales (no necesariamente exentos de influencia antropogénica).

En países en desarrollo debe establecerse claramente un balance entre el desarrollo regional planificado y los criterios de calidad a adoptar de acuerdo con los distintos usos del agua (consumo humano, protección de la vida acuática, etc.).

Los criterios de calidad se establecen en general en base a las características de las sustancias contaminantes, su grado de persistencia en el ambiente, el riesgo que representan y las características del cuerpo receptor (bióticas y abióticas). De allí que existen diferentes normas o recomendaciones con distinto grado de exigencia. Para algunos parámetros se puede establecer un nivel de cumplimiento del orden del día, para otros puede especificarse un grado de cumplimiento para su valor medio y para los valores máximos.

Teniendo en cuenta estos antecedentes se evaluaron los siguientes grupos de parámetros:

Temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación, pH y acidez total, nutrientes (amonio, nitrito, nitrato, fosfatos, silicatos), material en suspensión.

Metales pesados y biocidas organoclorados.

Hidrocarburos solubles y dispersos.

La salinidad en sí misma, puede considerarse como primer causa de alteración ambiental, ya que variaciones extraordinarias o tendencias temporales moderadas pueden ser causales de alteraciones en las concentraciones de contaminantes en zonas alejadas de los grandes centros urbanos.

En el sentido físico-químico y dinámico puede considerarse al Río de la Plata Medio o Intermedio como una zona fundamentalmente fluvial (Salinidad < 0,4‰) y al Exterior o Inferior como un sistema parcialmente mezclado (Salinidad entre 0 y 33 ‰), aunque se han constatado situaciones de homogeneidad total y estratificación marcada, así como diferencias salinas laterales.

El porcentaje de saturación de oxígeno y las concentraciones de nitratos y fosfatos dan una medida de la capacidad de autodepuración del río, (en lo que respecta a estas variables), habida cuenta del brusco descenso de las concentraciones de amonio y nitrito a relativamente corta distancia de la zona de vertimiento de los efluentes industriales y municipales. Por otra parte los silicatos presentan un comportamiento conservativo, ya que la mezcla de agua dulce y marina gobierna las concentraciones de este nutriente.

La distribución, características y comportamiento del material en suspensión es de gran importancia por la capacidad de la fracción fina de adsorber, transportar y liberar contaminantes y nutrientes mediante mecanismos de adsorción-desorción y por su papel regulador de la absorción de la luz y sus efectos sobre la productividad primaria. El material en suspensión y los sedimentos de la costa argentina desde la zona Norte de la ciudad de Buenos Aires hasta Atalaya, están en gran parte afectados por los efluentes del Paraná de las Palmas-Luján, y por los que se vierten a lo largo de su recorrido hasta la ciudad de La Plata. El comportamiento sobre la costa uruguaya es similar, con influencia del Paraná -Guazú y Uruguay.

La carga de material en suspensión aumenta hacia la región media o intermedia y al entrar en contacto con los electrolitos del agua de mar se produce la floculación de gran parte del material en suspensión. A partir de la zona media o intermedia, los procesos sedimentarios pueden determinar la formación de un reservorio de contaminantes.

Así las áreas identificadas como potencialmente críticas para la acumulación de contaminantes, serían:

las concentraciones arcillosas de Punta Piedras-Bahía de Samborombón, reservorio de los contaminantes propios de los efluentes costeros argentinos.

la zona costera uruguaya, reservorio de contaminantes del Río Santa Lucía y Pevideó.

la zona central de la Barra del Indio con aporte del Canal Norte.

En estas zonas críticas y en determinadas condiciones físico-químicas (salinidad, potencial redox, temperatura, etc.) y dinámicas, pueden liberarse algunas especies químicas contaminantes (metales pesados y biocidas) que se encontraban adsorbidas en el sedimento. Estas especies pasan así al agua intersticial, y de ella al agua superficial y al material en suspensión, por fenómenos de difusión, dispersión y/o bioturbación.

Al producirse un aumento de la fuerza iónica de la solución acuosa (intrusión de agua salada) se produce la movilización de determinados iones metálicos (en especial plomo y cadmio), según la estabilidad relativa de los complejos metálicos. Por el contrario otros metales como el hierro, cobre, cinc y manganeso presentan una distribución homogénea en casi toda la zona fluvial.

Como era de esperar se han encontrado mayores concentraciones de metales pesados en las proximidades de las zonas de vertimiento de efluentes de los grandes centros urbanos.

El origen diferente son los valores anormalmente altos hallados en las estaciones 20 y 430, donde existe una ajustada relación entre la salinidad, el material en suspensión y la concentración de Plomo en solución. Por ello se considera que no se trata de contaminación antropogénica reciente, sino que es resultado de factores geológicos y dinámicos que tienen lugar en la zona.

En el Río de la Plata Exterior o Inferior no se observan variaciones importantes de concentración de metales pesados en sedimentos superficiales de fondo. Las variaciones observadas están asociadas a la distribución granulométrica de los sedimentos. En base a los valores observados no puede discernirse si el origen de las variaciones es natural o antropogénico.

En cuanto que respecta a los biocidas organoclorados, por su carácter hidrófobo tienden a ser adsorbidos por las arcillas. Las concentraciones están asociadas a las condiciones

hidrodinámicas del sistema, en particular a los caudales de los ríos Paraná y Uruguay, a la dilución en la zona de mezcla y, también, a las condiciones meteorológicas prevalentes en el período previo a las campañas de muestreo, ya que el ingreso al sistema es probablemente debido al lavado y escurrimiento superficial.

La evaluación del riesgo que significan estos biocidas en la fase acuosa implica un estudio detallado de los ciclos biogeoquímicos involucrados, sobre todo en lo que respecta a la forma de ingreso al sistema, y su transformación dentro del mismo.

La concentración de hidrocarburos solubles y dispersos muestra un comportamiento diferente al de los metales pesados y de los biocidas clorados. No presenta variaciones estacionales, ni guarda relación con la salinidad. La mayor concentración está asociada a la ubicación de los canales de acceso a los puertos de Buenos Aires y La Plata, y a la zona de descarga del emisario principal de Obras Sanitarias argentinas (Berazategui).

La margen Norte presenta concentraciones menores que la margen sur, donde se pone de manifiesto la marcada influencia del funcionamiento de un gran polo petroquímico (Ensenada), no sólo por los efluentes líquidos, sino también por los procesos de transporte atmosférico dada la vecindad de aquél con el río.

La evaluación efectuada sobre la información obtenida en el Río de la Plata Medio ha sido útil para poner de manifiesto, a través de la comparación con diversas Normas de Calidad o Niveles Guía, el mantenimiento de las buenas condiciones generales del río en su cauce principal con relación a las especies químicas evaluadas, lo que denota una adecuada capacidad autodepuradora en las condiciones actuales de vertimiento de efluentes. Debe tenerse en cuenta, que los resultados obtenidos y las conclusiones que de ellos se derivan, provienen de muestreos realizados sobre 28 puntos ubicados en el curso principal del río, no estando ninguna estación de muestreo a menos de 5 km de la costa. En una etapa posterior se realizarán estudios tendientes a evaluar el aporte de contaminantes y otras especies químicas provenientes de los numerosos afluentes y emisarios que vierten sus aguas a lo largo de la costa.

A efectos de definir la calidad de las aguas del Río de la Plata Medio o Intermedio, se consideran Usos Legítimos los siguientes:

Abastecimiento público para bebida y usos comunitarios.

Recreación.

Actividades agropecuarias.

Conservación y desarrollo de la Vida Acuática.

Pesca.

Abastecimiento industrial.

Navegación.

Generación de energía.

do que en la bibliografía disponible existen numerosos criterios, valores guía
mendados, o estándares de calidad de aguas, se ha optado por comparar los
es obtenidos con los Estándares de Calidad de las Aguas del Río Uruguay.
os valores se comparan con los datos de la zona fluvial. En la zona fluvio-marina
ueden aplicarse las mismas normas o criterios de calidad. La dinámica de estos
entes involucra diversos procesos (dilución por mezcla, lixiviación, adsorción,
lación, etc.) que determinan una gran variabilidad de las concentraciones de
ancias contaminantes. Esto implica la necesidad de establecer criterios de calidad
niados en base a ciertos parámetros, entre otros la variación salina.

acuerdo con el Digesto, las aguas del Río Uruguay se clasifican atendiendo a
os legítimos preponderantes en:

Uso 01: Aguas crudas o brutas destinadas al abastecimiento público con tratamiento
nacional.

Uso 02: Aguas destinadas a actividades de recreación con contacto directo.

Uso 03: Aguas destinadas a actividades agropecuarias.

Uso 04: Aguas destinadas a la conservación y desarrollo de la Vida Acuática.-
resultados obtenidos indican un grado de cumplimiento entre el 96 y el 100 %
el Uso 1 y entre el 92 y el 100 % para el Uso 4. Las especies químicas que

muestran un grado de incumplimiento entre el 8 y el 4 % son: plomo, cadmio y oxígeno disuelto para los Usos 1 y 4, y Pesticidas Organoclorados para el Uso 4.

Las conclusiones precedentes son las obtenidas en base a las observaciones de campo llevadas a cabo hasta 1987, efectuándose los procesamientos, análisis y discusiones finales durante 1988 y 1989.

Tanto las actividades de campaña desarrolladas en este último período como las futuras, procuran cubrir áreas geográficas o aspectos insuficientemente relevados, así como cuestiones de interés particular identificadas a partir de los resultados presentados en este informe.

[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.]

Esta publicación de la cual se editaron
500 ejemplares se terminó de imprimir
en Junio de 1990 en los Talleres Grá-
ficos del Servicio de Hidrografía Naval,
Montes de Oca 2124, Buenos Aires.

República Argentina