

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y
METALURGICA
ESCUELA DE INGENIERIA GEOLOGICA



**“GEOLOGIA MARINA Y AMBIENTAL DEL AREA ENTRE LA BAHIA
DEL CALLAO Y VENTANILLA”**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEOLOGO

FEDERICO AUGUSTO VELAZCO CASTILLO

LIMA – PERÚ

2 001

A MIS PADRES: FEDERICO Y GERARDA

A MI ESPOSA MARY Y MI HIJA MARCIA

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi sincero reconocimiento y agradecimiento al Dr. Nestor Teves R. y Dr. Atilio Mendoza de la Universidad Nacional de Ingeniería, al Lic. Dimitri Gutierrez, Dra. Maria Jacinto, Dra. Soledad Guzmán y Lic. Sergio Mayor del Instituto del Mar del Perú, quienes con su asesoramiento y apoyo permanente hicieron posible que el presente trabajo llegara a buen término.

Del mismo modo agradezco a la persona de la Dra. Sulma Carrasco durante su gestión en la Dirección General de Investigaciones Oceanográficas, a la Dra. Emira Antonietti quien estuvo a cargo del Area de Capacitación e Información del IMARPE, por su apoyo en la realización del presente estudio en la mencionada Institución. Al Ing. César Delgado, al Ing. Riedner Gomero, al Ing. Manuel Guzmán, al Sr. Tco. Robert Marquina, al Blgo. Raúl Sanchez, a la Ing. Carmen San Román, al Ing. Ignacio Hinojosa, a los Blgos. Luís Quipúzcoa, Pepe Espinoza, Mariella Nacarino, a la Dra. Guadalupe Sánchez y a todas las personas que de una u otra forma, colaboraron con el desarrollo del presente trabajo de tesis, para optar el título profesional de Ingeniero Geólogo.

En forma muy especial agradezco a mis señores padres y a mi abuela Blanca, de quienes siempre tuve el apoyo para culminar mis estudios universitarios y convertirme en un profesional. A mi esposa e hija quienes me brindaron su apoyo y aliento.

CONTENIDO

		Página
RESUMEN		1
INTRODUCCION		2
CAPITULO 1	GENERALIDADES	4
1.1.	UBICACIÓN Y ACCESO	4
1.2.	OBJETIVOS	4
1.3.	CLIMA	4
1.4.	OCEANOGRAFIA	5
1.5.	ALCANCES	6
1.6.	METODOLOGIA DEL TRABAJO	6
1.7.	TRABAJOS PREVIOS	7
CAPITULO 2		9
2.1.	GEOMORFOLOGÍA	9
2.1.1.	GEOMORFOLOGIA COSTERA	9
2.1.2.	GEOMORFOLOGÍA SUBMARINA	10
2.2.	ESTRATIGRAFIA	11
2.3.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y TECTONICA	14
2.4.	GEOLOGÍA HISTORICA	15
CAPITULO 3	FUNDAMENTO TEORICO	16
3.1.	SEDIMENTOS RECIENTES Y METODOS DE ESTUDIO	16
3.1.1.	SEDIMENTOS RECIENTES	16
3.1.2.	METODOS DE ESTUDIO	16
3.1.2.1.	METODOS DE MUESTREO	16
3.1.2.2.	SELECCION DE MUESTRAS PARA ANALISIS	17
3.1.2.3.	ANÁLISIS DE MUESTRAS	17
3.2.	GEODINAMICA MARINA Y METODOS DE ESTUDIO	33
3.2.1.	GEODINAMICA MARINA	33
3.2.2.	METODOS DE ESTUDIO	35
CAPITULO 4	SEDIMENTOLOGIA, GEOQUÍMICA Y DINAMICA MARINA	36
4.1.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	36
4.1.1.	SEDIMENTOLOGIA	36

4.1.1.1.	ANALISIS GRANULOMETRICO Y TEXTURAS SEDIMENTARIAS	36
4.1.1.2.	PARAMETROS ESTADISTICOS	37
4.1.1.3.	OBSERVACION AL MICROSCOPIO	37
4.1.2.	GEOQUIMICA	38
4.1.2.1.	CARBONO ORGANICO	38
4.1.2.2.	MATERIA ORGANICA TOTAL	38
4.1.2.3.	CARBONATOS	39
4.1.2.4.	METALES TRAZA	39
4.1.2.5.	HIDROCARBUROS DE PETROLEO	40
4.1.3.	CORRELACION ENTRE VARIABLES, CLUSTER ANÁLISIS Y COMPONENTES PRINCIPALES	40
4.1.4.	DINAMICA MARINA	41
CAPITULO 5	CONDICIONES AMBIENTALES - INTERPRETACION	42
5.1.	GENERALIDADES	42
5.2.	CONDICIONES SEDIMENTOLOGICAS Y PROCESOS	42
5.2.1.	CONDICIONES SEDIMENTOLOGICAS	42
5.2.2.	PROCESOS SEDIMENTARIOS	43
5.3.	CONDICIONES GEOQUÍMICAS EN SEDIMENTOS	44
5.3.1	CONTENIDO ORGANICO	44
5.3.2	CARBONATOS	45
5.3.3	METALES PESADOS	45
5.3.4	HIDROCARBUROS DE PETROLEO	46
5.4.	CONDICIONES DE DINAMICA MARINA Y EROSION	47
5.5.	EVALUACION DE CONDICIONES Y EFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE	48
5.6.	APLICACION A ESTUDIOS ECOLOGICOS	49
CAPITULO 6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA		55
ANEXOS		
1	TABLAS	
2	FIGURAS	
3	MAPAS	
4	FOTOGRAFIAS	
5	DESCRIPCIÓN DEL FONDO MARINO	

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi sincero reconocimiento y agradecimiento al Dr. Nestor Teves R. y Dr. Atilio Mendoza de la Universidad Nacional de Ingeniería, al Lic. Dimitri Gutiérrez, Dra. Maria Jacinto, Dra. Soledad Guzmán y Lic. Sergio Mayor del Instituto del Mar del Perú, quienes con su asesoramiento y apoyo permanente hicieron posible que el presente trabajo llegara a buen término.

Del mismo modo agradezco a la persona de la Dra. Sulma Carrasco durante su gestión en la Dirección General de Investigaciones Oceanográficas, a la Dra. Emira Antonietti quien estuvo a cargo del Area de Capacitación e Información del IMARPE, por su apoyo en la realización del presente estudio en la mencionada Institución. Al Ing. César Delgado, al Ing. Riedner Gomeró, al Ing. Manuel Guzmán, al Sr. Tco. Robert Marquina, al Blgo. Raúl Sanchez, a la Ing. Carmen San Román, al Ing. Ignacio Hinojosa, a los Blgos. Luís Quipúzcoa, Pepe Espinoza, Mariella Nacarino, a la Dra. Guadalupe Sánchez y a todas las personas que de una u otra forma, colaboraron con el desarrollo del presente trabajo de tesis, para optar el título profesional de Ingeniero Geólogo.

En forma muy especial agradezco a mis señores padres y a mi abuela Blanca, de quienes siempre tuve el apoyo para culminar mis estudios universitarios y convertirme en un profesional. A mi esposa e hija quienes me brindaron su apoyo y aliento.

RESUMEN

La Bahía del Callao y la zona frente a Ventanilla, han sido evaluadas mediante estudios de geología marina y ambiental efectuados en los laboratorios de las Areas de Bentos y Sedimentología y de Contaminación Marina del IMARPE y el de Geología de la Facultad de Oceanografía, Pesquería y Ciencias Alimentarias de la Universidad Nacional Federico Villarreal, a partir de muestras del fondo marino y del estudio de las características de interrelación entre la costa y el océano.

En el presente trabajo, se estudia las condiciones sedimentológicas, geoquímica y dinámica marina para lo cual se analizó la granulometría, contenido de carbono orgánico, materia orgánica total, de carbonatos, metales pesados e hidrocarburos aromáticos totales en 24 muestras seleccionadas y otras 19 muestras complementarias de sedimentos marinos superficiales además de la interpretación de fotos aéreas de la zona.

Los valores de los concentraciones geoquímicas de elementos metálicos y contenido orgánico que se hallan relacionados en forma inversa con el tamaño de grano del sedimento, régimen hidrodinámico del fondo y en forma directa con la presencia de fuentes de aporte, varían en forma general de la parte central donde se ubican los valores más altos, hacia los extremos norte y sur del área de estudio con menores concentraciones, en forma similar varía la actividad de la dinámica marina litoral.

La mayor influencia de la presencia de elementos contaminantes se debe a las fuentes de aporte de desechos provenientes de la actividad industrial, urbana, portuaria y marítima, ellos son introducidos en el medio marino a través de descargas directas o a través de los ríos Rimac y Chillón, en algunos casos los altos contenidos orgánicos altos son de origen natural consecuencia de la alta productividad biológica en la zona.

Las zonas de mayor contaminación son la rada del puerto y los alrededores, las zonas más profundas de la bahía y hacia el norte del río Rimac y colectores, las más vulnerables a los efectos de la erosión se hallan a partir de la zona acantilada de La Pampilla, playa Ventanilla y la zona de Punta La Punta y el Banco Camotal, mayor de transporte de sedimentos marinos se observa desde la desembocadura del río Rimac hacia el norte del área de estudio.

INTRODUCCION

Como consecuencia del acelerado crecimiento demográfico focalizado en áreas urbanas, desarrollo de la actividad industrial y las distintas actividades humanas, se originan productos de desecho que al no poder ser almacenados en tierra firme o convertidos en gas son vertidos directamente al mar, lagos o a los ríos que luego desembocan en ellos.

El océano se convierte en el último receptáculo de todos los desechos de la humanidad y en los sedimentos marinos, finalmente se acumula la mayor parte de los elementos contaminantes y tóxicos que afectan la calidad del agua, fauna, belleza natural, alterando el equilibrio ecológico, y ocasionando deterioro del medio ambiente. Entonces los daños se revierten hacia el hombre afectando su salud y actividades marinas como la pesca. Por esta razón el uso de las áreas costeras, con fines de desarrollo económico, de recreación, turístico y deportivo es incompatible con la contaminación.

En el área entre la bahía del Callao y Ventanilla, que alberga el principal puerto del Perú, se desarrolla gran actividad industrial y económica representada por una variedad de industrias, fábricas y emplazamientos urbanos, ubicados en la zona costera. Sus playas son usadas por miles de bañistas con fines de recreación y sus aguas para la pesca y tráfico marítimo. De otro lado, el área recibe directamente un gran volumen de descargas domésticas e industriales, derrames ocasionales de petróleo y la descarga de operaciones del puerto, además de las aguas provenientes de los ríos Rimac y Chillón, que transportan gran cantidad de sustancias contaminantes de distinto origen.

El presente trabajo trata de la aplicación de la geología a los estudios de medio ambiente en ecosistemas marinos, para el caso de la bahía del Callao y la zona frente a Ventanilla.

Para desarrollar la investigación, se recopiló y aplicó la metodología recomendada para este tipo de estudios por organismos internacionales como la Comisión Oceanográfica Internacional, CPPS, PNUMA, FAO, EPA, etc. Esta metodología consiste de un riguroso procedimiento de muestreo, selección, análisis y medición de las concentraciones de los elementos contaminantes en sedimentos marinos y que se hallan presentes allí como parte de un complejo proceso de transporte y depositación, pudiendo ser su origen antropogénico o natural. También se estudia en base a la fotogeología, el efecto de la dinámica marina en la línea de costa y su relación con la erosión y sedimentación.

La evaluación de la presencia de algunos elementos contaminantes, las zonas vulnerables a la erosión y sedimentación y distribución de sedimentos superficiales permiten ampliar el conocimiento geológico y ambiental de la bahía del Callao y sirve como base para futuros programas de estudios de contaminación de sedimentos en la zona.

Uno de los pasos para recuperar la salubridad de la bahía es conocer la magnitud del problema, para ello se requiere estudios de investigación multidisciplinarios del medio ambiente, los cuales requieren inversión. Las decisiones y medidas correctivas que se tomen como consecuencia de dichos estudios serán de beneficio y se traducirán, en el uso racional de los recursos, soluciones para el ahorro de materias primas y la elevación de la calidad de vida de la población.

CAPITULO 1 : GENERALIDADES

1.1. UBICACION Y ACCESO.

- El área de estudio se encuentra ubicada en la costa central del Perú, en el departamento de Lima, ocupando una extensión de aproximadamente 136.51 Km². La isóбата de 30 m caracteriza su extensión oeste; por el norte se extiende hasta los 11° 52' latitud sur, frente a Ventanilla. El alineamiento de las islas San Lorenzo con el Frontón hasta los 12° 08' de latitud sur constituye el límite meridional y la zona de playas constituyen su límite este (Figura 1).

1.2. OBJETIVOS.

- Ejecutar el proyecto de Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Geólogo.
- Evaluar y determinar en base al análisis sedimentológico y geoquímico de muestras de sedimentos recientes, el tipo, componentes de la fracción arena, contenido de carbono orgánico, materia orgánica total, carbonatos, elementos contaminantes: metales traza (Cu, Cd, Pb, Fe) e hidrocarburos de petróleo; distribución y relación entre ellos; influencia en el medio ambiente y contribuir al conocimiento sedimentológico y geoquímico de la zona de estudio.
- Desarrollar y describir el proceso del método de preparación de muestras para el análisis sedimentológico y geoquímico en sedimentos recientes.
- Determinar en base al estudio fotogeológico, las condiciones de dinámica marina y erosión marina.

1.3. CLIMA.

El clima en la costa frente al Callao y Ventanilla, está definido como subtropical desértico (HIDRONAV, 1987).

El área está influenciada por la circulación atmosférica de vientos alisios del SE, que tienen mayor fuerza en invierno y menor en los meses de verano, las presiones son más altas en relación a otros puertos costeros, fluctuando alrededor de 12.3 mb (HIDRONAV, Op. Cit.), la evaporación es alta en verano y primavera, menor en junio y agosto con precipitaciones pluviales (tipo llovizna) durante todo el año.

Los valores de humedad relativa son altos y sobre todo en la época de invierno, la temperatura media anual es de 18.8 °C (HIDRONAV, Op. Cit.), existe presencia de niebla durante horas en verano y en invierno todo el día.

1.4. OCEANOGRAFIA.

Frente al área de estudio se produce el afloramiento costero o surgencia, definido por Wyrski (1963) como movimientos verticales que forma parte de la circulación oceánica, dichos movimientos ascendentes, mediante los cuales las aguas procedentes de capas subsuperficiales son llevadas a la superficie, es originado por la fricción de los vientos incidentes en la superficie del mar (transporte Ekman) y sumado al efecto de rotación de la tierra (efecto de Coriolis), ocasionan que las aguas superficiales se desplacen fuera de la costa dejando un vacío que es reemplazado por las aguas subsuperficiales.

Existe una elevada productividad biológica en el área de afloramiento, éste tiene un efecto vital pues por medio de él se enriquece y brinda disponibilidad de nutrientes en las aguas superficiales; existe una importante relación entre el afloramiento, la gran riqueza productiva de las aguas y abundancia de especies ictiológicas, otras características presentes son las bajas temperaturas (15.1°C a 17.9°C) y bajos contenidos de oxígeno.

Las islas San Lorenzo y el Frontón, actúan como barreras naturales, disminuyendo en la bahía los efectos de los vientos permanentes (Rosenzweig, 1947; Delgado y Gomero, 1985).

Aunque la circulación superficial y de fondo es variable, manifestándose en todas direcciones, prevalece una tendencia al norte en superficie y en el fondo, las velocidades registradas para la superficie están en un rango de 8 a 29.5 cm/s y las de fondo de 5 a 19 cm/s (Morón, com. pers.) (Figuras 2 a, b). Frente al río Rimac se produce un remolino antihorario, detectándose una mayor intensidad de flujos en superficie que en el fondo.

La desembocadura de los ríos Rimac y Chillón, afectan la circulación, elevan la temperatura y disminuyen la salinidad (Figuras 3 a, b), la influencia del primero es mayor pues su caudal es de 20 m³/s, en tanto que el río Chillón corresponde a 10 m³/s (Castillo, E. en Conf. 1995), los mayores caudales (en verano), coinciden con la época de lluvias en la sierra, donde se originan ambos ríos.

Los contenidos de oxígeno son variables y son consecuencia de procesos naturales o afectados por actividades humanas, en la zona se pueden encontrar valores de 0 ml/l que reflejan condiciones de anoxia ó hasta sobre los 6 ml/l de acuerdo a lo reportado por Orozco *et al.* (1999) como se muestra en las Figuras 4 a, b, de modo general son más elevados frente a la playa de Ventanilla, también al norte de la bahía de Miraflores (frente a la mar brava) y menores al interior de la bahía del Callao, entre la desembocadura del río Chillón y río Rímac (en especial frente a la desembocadura del Colector Comas).

El río Rímac se calcula puede transportar anualmente hasta 915 ton/año de material fino en suspensión, según cálculos conservadores, y de acuerdo a lo recomendado por Renard y Lane (1975). Sin embargo en épocas de avenidas excepcionales como la de 1982 - 1983 en época del Fenómeno El Niño, se estimó hasta en más de 2 millones de toneladas (Guillén *et al.*, 1985).

1.5. ALCANCES.

- El análisis se realiza en base al estudio de 43 muestras geológicas de sedimentos superficiales (de edad reciente), provenientes de medios sedimentarios de transición y marino, a estudios en fotografías aéreas y trabajo de campo en el área de estudio.

- Los métodos y técnicas empleadas permiten determinar las características físicas y químicas de los sedimentos.

El método del tamizado seco y de la pipeta, se basan en el estudio del diámetro promedio de la partícula y su velocidad de sedimentación respectivamente. El contenido de materia orgánica y de carbonatos en la pérdida de peso por ignición. El carbono orgánico es determinado por el método volumétrico mediante titulación.

- La observación de las muestras se realizará con un estereoscopio, en base a las características físicas y ópticas.

- Los contenidos de metales traza e hidrocarburos de petróleo en sedimentos, mediante las técnicas de espectroscopia de absorción atómica y fluorescencia, respectivamente, basándose en el conocimiento de la propiedad de los átomos de absorber o emitir energía al ser excitados a un nivel de energía superior.

- El estudio de erosión marina mediante la interpretación de fotos aéreas, estudiando la forma, dirección y comportamiento geométrico de las olas.

- Otro alcance del presente estudio es de establecer las condiciones ambientales actuales en el fondo, las cuales servirán como información base para el desarrollo de un programa de estudio en sedimentos para el monitoreo de contaminación en sedimentos y de esta forma contribuir en posteriores estudios de geología marina y ambiental en el área de estudio.

- Resaltar la importancia de la investigación geológica en los estudios del medio ambiente marino.

1.6. METODOLOGIA DEL TRABAJO.

- El trabajo se dividió en cinco etapas:

Información preliminar, planeamiento de muestreo, trabajo de campo, trabajo de laboratorio y trabajo de gabinete.

INFORMACION PRELIMINAR:

Búsqueda y revisión de información bibliográfica, fotos aéreas, mapas; etc.

PLANEAMIENTO DEL MUESTREO

Diseñado en base a una baja densidad de muestreo (43 estaciones), distribuidas en toda el área de estudio y zonas geográficamente limítrofes (bahía de Miraflores), eligiendo estaciones que sean representativas teniendo en cuenta el contexto oceanográfico y la afluencia de contaminantes.

TRABAJO DE CAMPO:

- Obtención de muestras geológicas mediante el uso de una draga tipo Van Veen de 0.025 m² y buceo autónomo durante el año 1994.
- Verificación y complementación de datos para los mapas elaborados en gabinete.

TRABAJO DE LABORATORIO:

- Selección de muestras para el análisis sedimentológico y geoquímico.
- Pre-Tratamiento de muestras.
- Análisis sedimentológico y geoquímico.
- Medición de valores.

TRABAJO DE GABINETE.

- Procesamiento de datos de sedimentología y geoquímica.
- Obtención de resultados.
- Estudio sobre fotografías aéreas del área de investigación.
- Interpretación.
- Obtención de conclusiones
- Confección de tablas, gráficos y mapas.
- Redacción de la tesis.

1.7. TRABAJOS PREVIOS.

- Sobre el estudio de elementos contaminantes en sedimentos se puede citar los diversos estudios desarrollados por el Area de Contaminación Marina del IMARPE en diferentes bahías y puertos del Perú y precisamente en el área del Callao, por considerarse una zona crítica (Guillén *et al.*, 1978), obtuvieron valores de concentración promedio de cobre y hierro en los sedimentos de 72 ppm y 1569 ppm respectivamente, otros estudios en la misma zona realizados por Guillén *et al.* (1985), existe un estudio sobre el contenido de minerales pesados en sedimentos superficiales de la costa norte del Perú Encinas (1994).

Estudios sedimentológicos también han sido desarrollados, se puede citar el trabajo realizado por Teves y Gagliano (1970), proporcionando información sobre la migración submarina de las arenas en base al estudio de la variación de parámetros estadísticos como la mediana granulométrica, brindando además un aporte en el conocimiento de la geomorfología litoral y submarina; el estudio

realizado por Delgado y Gomero (1985), en el área de la isla San Lorenzo, examinando algunas características texturales y químicas (contenido orgánico), de los sedimentos con una directa aplicación a la evaluación de bancos naturales de las conchas de abanico y maricultura.

Rosenzweig (1947; 1953) y Fernández (1966), se refieren al estudio geológico en la isla San Lorenzo y de la zona de Márquez hasta Ventanilla, respectivamente. Porturas (1974) y Nuñez del Prado (1991) realizaron, el primero estudios sedimentológicos en la zona litoral de Ventanilla y el segundo estudios de la estratigrafía de la zona, Rivera *et al*, 1975 y Palacios *et al*, 1992; entre otros, han realizado estudios geológicos de la zona costera de Lima que comprende el área de estudio; también se han realizado diferentes estudios, proyectos de obras de ingeniería costera; etc.

CAPITULO 2. GEOLOGIA

2.1. GEOMORFOLOGIA

2.1.1. GEOMORFOLOGIA COSTERA

Esta comprendida desde la línea de costa hasta 5 - 10 m de altura, existen las siguientes unidades geomorfológicas, descritas a continuación.

A) Playas Recientes.

Son fajas angostas de arena y cantos con material de tránsito transportado por las corrientes litorales, el oleaje y depositados allí, entre los niveles de baja y alta marea. Las playas Oquendo y Márquez se encuentran cortadas por los ríos Rimac y Chillón respectivamente. La playa Ventanilla esta limitada por la zona de acantilados al norte y al sur (a la altura de la Pampilla).

A.1) Playas de Cantos

Ubicadas en la zona de la Punta hasta playa Chucuito y norte de las playas Oquendo y Márquez, los cantos trabajados a la actualidad por las olas provienen de la erosión de una terraza fluvio aluvial que constituye su limite este y que corresponde a depósitos cuaternarios del río Rimac. Los depósitos de cantos también se ubican en la desembocadura de los ríos Rimac y Chillón. En la isla San Lorenzo, en el Cabezo, se encuentra la playa de rodados más grande.

A.2) Playas de Arena

Las playas de arena, se extienden desde en margen derecho del río Rimac hasta playa Márquez y en la playa Ventanilla. Se hallan también en la zona noreste de la isla San Lorenzo, en las numerosas caletas (Rosenzweig, 1947).

B) Cordones Litorales

Por acción constructiva del mar existen cordones litorales, el más antiguo de ellos (2 a 3 m de altura), está ubicado en la zona sur de la playa Ventanilla.

C) Playas con Acantilados

Al oeste del cerro El Perro y Los Perros, existen acantilados de hasta 20 m de altura, correspondientes a la Fm. Ventanilla, con quebradas suspendidas y comisas en su parte inferior, en su base están rodeados por canturales, bloques caídos, desprendidos por acción marina, en la parte más occidental (Pta. Bernal), hay algunos farallones aislados formando pequeños islotes (Fernández, Op. Cit.; Teves y Gagliano Op. Cit.). Al norte de Playa Ventanilla también existen acantilados y se hallan presentes islas e islotes conformados por afloramientos del Volcánico Piedras Gordas (Teves y Gagliano, 1970).

También en la zona de acantilados Porturas (Op. Cit.), menciona la presencia de otros rasgos de erosión (grutas marinas, chiras y pilares). En la zona sur de Ventanilla, en la playa existe una duna en la base de un acantilado.

En la isla San Lorenzo se observa acantilados en la zona de Barranco Colorado y al sur de Playa Grande y Caleta Cruz, también en la isla El Frontón.

D) Terrazas Marinas.

En la zona se presentan dos niveles de terrazas marinas que conforman la planicie marina, están formadas por depósitos marinos cuaternarios de arenas, gravas y bancos delgados de conchas no consolidados, la primera terraza (más antigua) de cota 10 m.s.n.m., está respaldada en los cerros circundantes y a su vez su frente sirve de respaldo a la segunda terraza sigue la cota de 3 m.s.n.m. y se extendiéndose hasta la línea de playa. Están presentes en los remanentes erosivos al SE del C° Punta y en la base de los acantilados (Fernández, 1966).

2.1.2. GEOMORFOLOGIA SUBMARINA

Esta comprendida desde la línea de costa hasta la isobata de 30 m de profundidad aproximadamente. Frente a la isla San Lorenzo existen contornos de 5 y 10 m; hacia el norte del terraplén submarino de La Punta las profundidades aumentan hasta los 30 m (Figura 5). La batimetría de la plataforma ha sido modificada por las islas, los contornos de 20, 30 y 50 m, sufren una deflexión en el Cabezo (Delgado y Gomero, 1985).

Entre La Punta y la isla San Lorenzo existe el banco El Camotal, se trata de un depósito de formación reciente, cuyo origen se debe a la confluencia de las corrientes y oleaje proveniente del sur, de la bahía de Miraflores (principalmente la litoral) y las corrientes del norte que penetran en la bahía, ambas se ven reforzadas por las corrientes que se producen por el choque de las olas provenientes del sur con las islas, produciendo en algunos casos refracción y difracción de las olas. Las corrientes litorales transportan gran cantidad de material sedimentario que es depositado cuando se neutralizan, la posición de este banco varía según la predominancia de las corrientes del norte o del sur (Rosenzweig, Op. Cit. ; HIDRONAV, Op. Cit.).

Las bahías del Callao y Miraflores se unen por medio de un canal denominado El Boquerón, con profundidades de 11 a 12 m. Las curvas batimétricas en la zona de la Pampilla son casi paralelas al litoral, haciéndose más espaciadas desde los 40' de profundidad a una distancia de más de 1 km, los depósitos de sedimentos provenientes del río Rimac, hace variar ligeramente ésta configuración, a más de 80' de profundidad generalmente se observa un fondo plano (Teves y Gagliano, 1970), los mismos autores establecen dos niveles

antiguos del mar representados por plataformas de abrasión marina, una de 15' a 18' de profundidad y la otra de 40' a 80' de profundidad (Figura 6).

El río Rimac en su desembocadura, se extiende al igual que el río Chillón (en mayor proporción) en un delta submarino de poca pendiente formado por el material que transporta el río.

2.2. ESTRATIGRAFIA

En la zona continental e islas del área de estudio ha sido posible identificar rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas que conforman la secuencia estratigráfica, cronológicamente definida desde el Jurásico superior al Cuaternario (Figura 7).

En base a extensos estudios paleontológicos, sedimentológicos y estratigráficos, ha sido definida la secuencia sedimentaria (Figura 8).

A) ZONA CONTINENTAL

MESOZOICO

JURASICO SUPERIOR - CRETACEO INFERIOR

Las formaciones que afloran en la zona entre Ventanilla y la Pampilla corresponden a rocas de edades que van del jurásico superior al cretáceo inferior, las cuales se describen a continuación:

Formación Piedras Gordas.- Conformada por lavas andesíticas grises, verdes y de otros colores, brechas volcánicas blanco verdoso con matriz fina, con intercalaciones de rocas sedimentarias y atravesada por venillas de carbonato cálcico y diques de cuarzo. Aflora fuera del área de estudio, en la parte norte de la playa Ventanilla y en los islotes de esa zona, el volcánico tiene un rumbo N32°W y buzamiento de 12° a 30°SW (Teves, Op. Cit.). Se le asigna al piso titoniano (Porturas, Op. Cit.).

Grupo Puente Piedra

Dividido en tres formaciones: Puente Piedra inferior, Puente Inga y formación Ventanilla.

La formación Puente Piedra inferior está constituida por derrames de lavas y brechas porfíroides. La formación Puente Inga en la parte inferior la conforman lutitas silíceas, fosilíferas con intercalaciones de derrames volcánicos, aflora en la base del cerro Los Perros.

La formación Ventanilla aflora en el acantilado extremo sur de la playa, en el cerro Los Perros, también hacia ambos márgenes de la carretera a Ventanilla, consiste de derrames volcánicos brechoideos con nódulos grandes y fragmentos de roca caliza silicificada, brechas volcánicas y mineralizadas con óxidos de hierro (limonita), se le asigna al piso Bernasiano.

CENOZOICO

CUATERNARIO.

Los depósitos cuaternarios están representados por canturales depósitos eólicos y playas de arena, la ubicación y extensión está detallada en el punto 2.1. Los canturales que comprenden la playa de la Punta, corresponden a un resto de erosión de la última terraza del río Rimac, son redistribuidos por dinámica marina (olas y corrientes litorales), las playas de arena originadas debido al transporte y deposición de sedimentos por deriva litoral, aportes actuales de los ríos Rimac, Chillón y por el viento.

Los cantos son de naturaleza andesítica y brechas volcánicas principalmente, también provienen de granitos, granodioritas, dioritas y rocas sedimentarias, cuarzos lechosos; etc.

Las arenas de las playas están constituidas principalmente de partículas de fragmentos de roca, restos calcáreos y minerales (cuarzo, feldespatos, magnetita, micas, etc).

Los sedimentos submarinos varían en una gama de texturas y combinaciones de ellas (arenas, limos y arcillas), según la fuente de aporte, lejanía de la costa e influencia de intensidad de corrientes marinas, la distribución y características se detallan en los capítulos 4 y 5.

ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS

En la zona NW del cerro Ventanillas existen diques volcánicos en forma aislada con vetas de calcita (Porturas, Op. Cit.) y también al SW del balneario del mismo nombre, en un cerro aislado con espesores de 0.5 a 1 m, varios diques color gris olivo, de grano fino, conformados por elementos ferromagnesianos, presentando amígdalas de calcita (Fernández, Op. Cit.).

B) ISLAS SAN LORENZO - EL FRONTON

Los estudios geológicos describen las formaciones que afloran en el lado Oriental de la Isla San Lorenzo, infiriendo su extensión hacia el lado occidental.

MESOZOICO

CRETACEO INFERIOR

Los estratos que conforman las formaciones presentes en las islas San Lorenzo y El Frontón tienen una potencia total de 685 m, dichas formaciones corresponden cronológicamente con el grupo Morro Solar, descritas de la más antigua a reciente según Rosenzweig (Op Cit); Palacios *et al.* (1992):

Formación Salto del Fraile.- constituida por cuarcitas compactas de grano fino color gris verdoso a parduzco, con un espesor máximo de 45 m, que afloran en las puntas y en la parte central del lado noreste de la isla San Lorenzo.

Formación Herradura:

Miembro La Virgen.- conformada en su base que sobreyace a la Fm. Galera, por lechos alternantes de lutita y arenisca color verde oscura compactas, y hacia la parte superior por lutitas de colores rojo principalmente, amarillo, negro, gris y violeta, fisibles, con sal y venillas de yeso. Distribuidas en toda la formación se encuentran numerosos horizontes fósiles: de trigonias, plantas, lamelibranquios y ammonites. Esta formación aflora a lo largo de todo el lado noreste de las islas, desde el Cabezo hasta el Frontón. El máximo espesor es de 140 m.

Miembro Herradura.- Hacia la parte inferior areniscas finas y compactas de color blanco, con incrustaciones de pirita pseudomorizadas a limonita, no se han encontrado fósiles. El espesor total es de 30 a 33 m. En la parte superior hay lutitas de colores violado, negro y gris intercaladas con caliza en la parte media. Aflora a lo largo del lado noreste de la isla San Lorenzo. En la parte N del Cerro La Mina alcanza hasta 80 m de espesor y en la parte sur 50 m.

Formación Marcavilca

Miembro Morro Solar.- De litología variable, hacia la base sobre la disconformidad con la Fm. Herradura, están presentes areniscas finas y compactas de color gris verdoso, sobre ellas lutitas de color negro y violáceo blandas con estratificación delgada e intercalaciones de caliza, encima cuarcitas de grano muy fino y compacto intemperizadas de color negro, con intercalaciones de lutita. Tiene un espesor máximo de 200 m, aflora a lo largo del lado NE de la parte norte de la isla, cubre la mayor parte del lado sur y en la parte alta del Frontón.

Miembro Marcavilca.- La constituyen areniscas color pardo claro de grano fino, compactas de cuarzo subangular cementado con limonita, con intercalaciones

de arcillas margosas rojas y grises, no hay presencia de fósiles. Tiene una potencia máxima de 240 m en la isla San Lorenzo, presente en las cumbres de los cerros en el norte y sur de ella.

CUATERNARIO

Compuesto por depósitos de arenas eólicas y aluviales de poco espesor y ubicados en el lado suroeste de la isla San Lorenzo (ver Geomorfología).

ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS

Conformado por sills y diques dacíticos del periodo terciario en ambas islas, los sills están presentes en los Miembros La Virgen y Herradura, son de roca porfírica color verde oscuro (riodacita) alterada superficialmente el primero aflora en muchos lugares a lo largo del lado noreste de las islas subiendo estratigráficamente hacia el SW, la máxima potencia es de 20 m.

En la base del Miembro Herradura con 2 m de potencia se encuentra casi a todo lo largo de la parte N y central de la isla San Lorenzo y desaparece en la parte S.

Los diques también de riodacita fallados y fracturados al igual que los sills, afloran son casi verticales en el Frontón en ambas islas, son muy numerosos en el Frontón y en San Lorenzo al norte, noroeste y al sur, suroeste.

2.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL Y TECTONICA

A) ZONA CONTINENTAL:

Se presentan dos sistemas de fallas:

a) Longitudinales.- Con un sistema de orientación NS, buzamiento al E, con alto ángulo de plano de falla, situada en la parte occidental, la falla Ventanilla ubicada al norte del cerro Los Perros.

b) Transversales.- con rumbos NW y SE, de corto desplazamiento, se encuentra cruzando el cerro El Perro (Fernández, 1966).

Sistemas de diaclasas de rumbos NW, NE y buzamientos EN y SE, se observan en la base de los acantilados al suroeste del cerro El Perro. Estas características fueron descritas por Fernández (Op. Cit); Porturas (Op. Cit.).

B) ISLAS SAN LORENZO - EL FRONTON.

Se hallan sills y diques volcánicos probablemente del periodo terciario, presencia de fallas y diaclasas. Los diques y sills se describen en el punto de rocas intrusivas, respecto a las fallas, en la isla San Lorenzo hay 3 fallas transversales al rumbo de las capas de dirección NS y N50°E, son de alto ángulo y normales, están ubicadas en la parte norte y sur de la isla. En la isla el Frontón las fallas son escalonadas y separando ambas islas por el Boquerón debe pasar otra falla de desplazamiento vertical de aproximadamente 50 m (Rosenzweig, Op. Cit.).

2.4. GEOLOGIA HISTORICA

La zona de estudio que formaba parte del geosinclinal peruano durante el Mesozoico, ha mostrado durante su historia geológica una evolución regresiva variando desde facies de suelo oceánico a plataforma.

Sobre una secuencia predominantemente volcánica depositada durante el jurásico superior al cretáceo inferior conocida como grupo Puente Piedra, luego de una caída del nivel marino, discordantemente se deposita la formación Ventanilla, primero su miembro inferior (Puente Inga) con sedimentos finos y posteriormente durante episodios de vulcanismo submarino se depositó una secuencia volcano-sedimentaria alternada con sedimentos limosos desde facies de contornitas de base de talud hasta las mencionadas antes, variando de modo secuencial hasta depósitos de plataforma.

Los depósitos presentes en la isla San Lorenzo corresponden a pisos del valanginiano y hauteriviano, estos depósitos clásticos tendrían su equivalente con los de la Fm. Herradura y serían parte del flanco occidental del anticlinal de Lima formado a fines del Mesozoico (neocomiano) por plegamientos de los estratos del geosinclinal occidental peruano y afectado por intrusiones durante el periodo terciario.

Estratos posteriores a los anteriores mencionados no existen, lo que sugiere que hubo una época de lenta emergencia y vigorosa erosión que desapareció estratos más modernos.

En el cuaternario se profundizan los valles por la erosión y las partes bajas se cubren con sedimentos aluviales y fluviales (río Rimac y Chillón) y depósitos eólicos, hasta configurar el paisaje conocido actualmente.

CAPITULO 3 : FUNDAMENTO TEORICO.

3.1. SEDIMENTOS RECIENTES Y METODOS DE ESTUDIO.

GENERALIDADES

3.1.1. SEDIMENTOS RECIENTES

Este término está referido a la capa más superficial de sedimentos depositados recientemente. Para estudios de calidad de medio ambiente fue preciso contar con muestras de sedimentos recientes, tomándose una capa menor de 5 cm de profundidad.

3.1.2. METODOS DE ESTUDIO.

Se realizó el análisis sedimentológico y químico en los sedimentos recientes, de acuerdo a las técnicas empleadas en los laboratorios del Area de Bentos y Sedimentología y del Area de Contaminación Marina del IMARPE .

El estudio de la línea de costa dinámica y erosión marina se hizo en el Laboratorio de Geología de la Facultad de Oceanografía, Pesquería y Ciencias Alimentarias de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

3.1.2.1. METODOS DE MUESTREO.

Existen diversas técnicas empleadas para el muestreo del fondo marino, los muestreadores utilizados para el presente estudio son:

1) Dragas.- consiste de un par de mandíbulas metálicas articuladas en un punto a manera de tijeras que descienden abiertas y se cierran al caer sobre el fondo, capturando una porción de sedimento, obteniéndose una muestra puntual del área.

2) Muestreo por Buceo.- La muestra fue obtenida en algunos casos utilizando equipo de buceo autónomo, recolectándola directamente en un frasco o bolsa, además permitió la observación directa de las condiciones ambientales del fondo y la opción de tomar fotografías.

3) Recolección Simple.- Las muestras de playa se obtuvieron de la capa superficial con una espátula y conservadas en el interior de una bolsa de polietileno previamente rotulada.

La forma y funcionamiento de los muestreadores se detallan en la Figura 9 y Fotos N° 1 y 2).

3.1.2.2. SELECCION DE MUESTRAS PARA ANALISIS

De las 47 estaciones, se excluyeron las de fondo rocoso (4), para el análisis sedimentológico, contenido orgánico y carbonatos se extrae la capa superficial de la masa de sedimento obtenida con la draga, mediante una espátula se colecta y se coloca en el interior de una bolsa y a su vez introducida dentro de otra para protegerla mejor.

Para el análisis de metales pesados, la muestra se extrae del centro de la masa de sedimento obtenido con una cuchara de plástico (evitando las zonas de contacto directo con la pared de la draga) e introduciéndola en una bolsa de polietileno.

Para el análisis de hidrocarburos de petróleo, la muestra se extrae de la capa superficial de sedimentos con una cuchara de metal, luego es envuelta completamente en papel aluminio (esterilizado) y se introduce en una bolsa plástica.

Todas las muestras luego de ser embolsadas y rotuladas, son inmediatamente almacenadas en un conservador con hielo, se trasladan a tierra y son guardadas en un congelador hasta su análisis (Figura 10 y Foto N° 3).

3.1.2.3. ANALISIS DE MUESTRAS

A) ANALISIS GRANULOMETRICO.

La granulometría se realizó con tamices y pipeta, de acuerdo con las técnicas estándar (Ingram, 1971; Galehouse, 1971). Este análisis permite determinar el tamaño del grano de los sedimentos y el peso de la fracción.

Procedimiento

Después de ser descongelada, la muestra es secada en una estufa a 60° C, luego de homogenizarse es cuarteada y cada porción se distribuye de la siguiente manera:

- Para análisis granulométrico.
- Para análisis geoquímico (materia orgánica, carbonatos y carbono orgánico).
- Para análisis al microscopio.
- Para archivo.

Pretratamiento

Se toma un peso de sedimento de 25 a 7 g, dependiendo del contenido de materia orgánica, que dificulta y dilata el tiempo de análisis.

Se vierte la muestra en un beaker de 500 ml y se agrega peróxido de hidrógeno (H_2O_2 al 30%), para remover la materia orgánica y evitar la floculación, se observa una reacción exotérmica y presencia de espuma, se calienta a un máximo de $40^\circ C$ para acelerar la digestión y evaporar el peróxido hasta llevar la muestra a pasta fina, repitiendo la operación hasta que se remueva toda la materia orgánica.

Se agregan 50 ml de hexametáfosfato de sodio al 10% (es un efectivo dispersante) y 200 ml de agua destilada, se agrega la muestra y luego de agitar se deja reposar el contenido durante 24 horas, tapando el vaso para protegerla del medio ambiente.

La muestra se tamiza en húmedo con un tamiz de 0,063 mm de abertura (4ϕ), separándola en dos fracciones: una en el tamiz, que se lleva a la estufa a secar a $60^\circ C$ durante 24 h y la otra en la probeta de 1000 ml, que es enrasada con agua destilada a dicha medida, dejándose reposar 24 h. La primera será analizada por el método de tamizado y la segunda por el método de la pipeta.

METODO DEL TAMIZADO

Es el método más común y aceptado para la separación de material del tamaño de las arenas, y realizar la descripción física del sedimento.

Procedimiento:

Después de secarse en la estufa se vierte la muestra en un juego de tamices marca Tyler de media altura, de 8 pulg. de diámetro, malla de acero, Tipo ASTM-11. Primero en el tamiz de mayor abertura de malla ($-1\phi = 2,0$ mm), se tapa y todo el conjunto se hace funcionar en un Agitador Ro-Tap marca Tyler, con motor eléctrico de $\frac{1}{4}$ HP, N° durante 15 minutos. (Foto N° 4),

Se extrae el juego de tamices, se vacía el contenido retenido de cada tamiz ayudándose de una brocha y se pesa la fracción correspondiente tomando nota de los resultados.

La fracción que pasa el tamiz 4ϕ , cae en el plato y se vierte en la probeta que contiene el material fino y es sellada herméticamente con un tapón, para ser analizado por el método de la Pipeta.

METODO DE LA PIPETA

El análisis se realiza en las partículas de la fracción fina ($<4\phi$) que no puede ser medida mediante tamizado, el método utilizado se basa en la velocidad de

asentamiento de una partícula en un medio fluido, cuando la partícula se hunde, en dicho medio dejará de acelerar cuando la presión interna del fluido iguale al esfuerzo hacia abajo producido por la gravedad. Stokes (1851), expresó esta relación como:

$$V_s = \frac{2(d_1 - d_2)gr^2}{9n}$$

donde:

V_s = velocidad de asentamiento de la esfera.

r = radio de la esfera

g = constante gravitacional

n = viscosidad del medio fluido

d_1 = densidad de la esfera

d_2 = densidad del líquido

Materiales:

- Probetas de 1,000 ml.
- Pipetas de 20 ml, conectada a una manguera de 10 pulgadas.
- Beakers (vasos de precipitados) de 50 ml.
- Piscetas.
- Estufa.
- Desecador.

Procedimiento

El método consiste en tomar con pipeta alícuotas de 20 ml a instantes y profundidades señalados en tablas de tiempos de extracción para cada temperatura (Foto N° 5). Entre dichas extracciones hay periodos de agitación.

El contenido de cada una de estas alícuotas es depositado en un beaker previamente pesado y con un número designado para su identificación que designa a que ϕ corresponde. Se guardan al finalizar la secuencia en la estufa a 60°C durante 48 h, hasta total sequedad.

Luego de enfriar son pesados descontando el peso del beaker, el peso correspondiente al calgón presente en aquella fracción de muestra (0.1 g) y se halla el peso de la fracción de muestra total seca.

Teniendo el peso de fracción de muestra de un determinado ϕ que corresponde a un volumen de 20 ml (1 alícuota), se proyecta el cálculo para el volumen de 1000 ml, que era el volumen inicial que contenía el peso total de muestra al comenzar del análisis.

De este cálculo se obtiene el peso de la fracción correspondiente a un determinado ϕ de la muestra. La suma de los pesos de cada una de estas fracciones nos dará el peso total de la muestra, tendremos de esta manera una aproximada distribución del tamaño del sedimento original, ya que el método no garantiza efectividad en un 100%.

METODOS ESTADISTICOS.

El tamaño de grano determinado mediante el tamizado seco y el método de sedimentación (método de la pipeta), dan como resultado datos brutos correspondientes al porcentaje de peso de cada clase de tamaño presente (Mc Bride, 1971). El tratamiento matemático de los datos de la distribución del tamaño de grano empleado en el presente trabajo es:

- Mediante el ploteo de datos como curvas de distribución de frecuencias y diagramas triangulares.
- Según la técnica gráfica computacional, que consiste en el cálculo de la estadística descriptiva a partir de las intersecciones tomadas visualmente desde los gráficos.

La nomenclatura empleada es la Escala Modificada de Wentworth (1922), para el nombre de las diversas clases de tamaño de sedimento que es utilizada por la mayoría de los geólogos. La escala de Wentworth puede ser expresada como la función:

$\phi = -\log_2$ (diámetro en mm); donde ϕ (phi) es una exponente integral.

CURVAS DE FRECUENCIA ACUMULATIVA

Muestran el porcentaje de granos más gruesos o más finos que algún tamaño de grano para una muestra individual, se grafica en papel para porcentaje de probabilidad.

La curva acumulativa se dibuja en ordenada de porcentaje en probabilidad y sobre la abscisa en una escala de tamaño del grano (ϕ).

Los datos (porcentaje acumulativo más grueso), se plotean a partir del extremo grueso de la escala, en los límites de clases de tamaño correspondientes. Los puntos datos se conectan con segmentos de línea recta obteniéndose así una curva lisa con el menor ajuste.

DIAGRAMAS TRIANGULARES

En geología marina se utilizan para mostrar las cantidades relativas de los componentes grava, arena, limo, arcilla y combinaciones de ellos obtenidos a partir del análisis granulométrico. En este caso se plotean en el diagrama de Shepard (1954), obteniéndose las texturas respectivas, se preparan diagramas ternarios por áreas y facies sedimentarias, asignando a cada campo de un triángulo un patrón diferente de representación.

TECNICA DE COMPUTACION GRAFICA

Se basa en el uso de los cuartiles y percentiles, la técnica consiste en hallar y leer sobre el gráfico previamente realizado (curva acumulativa), el valor de tamaño de grano (en ϕ) correspondiente a un valor específico de percentil el cual se utiliza en la computación para calcular cada estadístico gráfico.

Las fórmulas empleadas para computar los parámetros gráficos en este trabajo corresponden a Folk & Ward (1968) y se usan para ello los percentiles (P5, P16, P25, P50, P75, P84, P95). A continuación se presentan las fórmulas y el significado geológico de los valores estadísticos de dichos parámetros.

Media Aritmética:

Representa la variación del tamaño promedio ($M\phi$), de los sedimentos. Es la mayor estimación de la tendencia central de las distribuciones del tamaño de grano del sedimento.

$$Md\phi = \frac{(\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84})}{3}$$

Mediana ($Md\phi = \phi_{50}$):

Muestra la variación del diámetro correspondiente al 50% de las partículas ($Md\phi$), en las distribuciones de frecuencias acumuladas de tamaños de grano. La distribución de la mediana sigue las tendencias generales observadas para el caso de la media granulométrica, sin embargo la media da una mejor aproximación de la distribución del tamaño promedio.

Desviación Estándar (Selección):

Representa la variación del grado de selección o clasificación ($S\phi$) de los sedimentos estudiados. Este parámetro granulométrico-estadístico indica las fluctuaciones del nivel energético del agente deposicional y de sus capacidades para clasificar los sedimentos.

$$S\phi = \frac{(\phi_{84} - \phi_{16})}{4} + \frac{(\phi_{95} - \phi_5)}{6.6}$$

Clasificación de la Selección:

- (< 0.35) muy buena
- (0.35 a 0.50) buena
- (0.50 a 1.00) moderada.
- (1.00 a 2.00) pobre.
- (2.00 a 4.00) muy pobre.
- (>4.00) extremadamente pobre.

Asimetría (Sk ϕ):

Representa la variación del grado de asimetría, es decir la posición relativa de los valores tanto gruesos (+) como finos (-), en relación a los elementos de tendencia general. La asimetría es considerada uno de los parámetros granulométricos más sensibles de la caracterización ambiental y es dependiente de la dinámica del medio deposicional.

$$Sk\phi = \frac{(\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50})}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{(\phi_{95} + \phi_5 - 2\phi_{50})}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

- 1.00 a -0.30 muy negativa
- 0.30 a -0.10 negativa
- 0.10 a 0.10 casi simétrica
- 0.10 a 0.30 positiva
- 0.30 a 1.00 muy positiva

Curtosis (K ϕ):

Muestra la variación del grado de agudez o achatamiento de las curvas de distribución granulométrica; es decir la razón entre la dispersión de la porción central y los extremos o "colas" de las curvas.

$$K\phi = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$$

- (<0.67) muy platicúrticas.
- (0.67 a 0.90) platicúrticas.
- (0.90 a 1.11) mesocúrticas.
- (1.11 a 1.50) leptocúrticas.
- (1.50 a 3.00) muy leptocúrticas.
- (> 3.00) extremadamente leptocúrticas.

B) METODOS MICROSCOPICOS.

La observación de los componentes de arena se realizó por medio de un microscopio binocular estereoscópico, registrando las características generales de las fracciones de las mallas más representativas para la mayoría de los casos, por recuento semicuantitativo de 100 granos tomados al azar para su identificación (Foto N° 4).

C) ANALISIS GEOQUIMICOS.

C.1. CONTENIDO ORGANICO.

El contenido carbono orgánico, es un buen índice del medio ambiente deposicional de los sedimentos, útil para evaluar el efecto de los contaminantes en los sedimentos y en la hidrología (Folger, 1972; Gaudette et al., 1974).

El material orgánico presente en los sedimentos depende de diferentes procesos que los concentran en ellos y proviene de restos planctónicos, microflora y microfauna bentónica (Figura 11), detritus orgánicos de distinto origen (restos de plantas terrestres, polen, restos de origen antropogénico; etc.).

Los compuestos presentes en la materia orgánica son diversos; grasas, lípidos, clorófila, caroteno, celulosa, aminoácidos, ácidos húmicos; etc. (Figura 12). La materia orgánica se refiere a todos los compuestos que contienen carbono de todas las formas excepto los carbonatos.

En las costas peruanas, la cantidad y naturaleza de la materia orgánica, su distribución en los sedimentos marinos, están controladas por factores del ambiente deposicional, como las condiciones geoquímicas oxidantes o reductoras dependientes de la presencia de oxígeno e influenciadas por la actividad biológica (principalmente bacteriana), que favorecen la descomposición de la materia orgánica o su preservación, en sedimentos reductores hay mayor acumulación de materia orgánica debido a la menor eficiencia de un metabolismo anaeróbico.

El carbono orgánico estudiado se refiere a la materia orgánica fácilmente oxidable para la alimentación de los organismos bénticos (Delgado, 1988).

En los sedimentos marinos la materia orgánica es variable 0.2 - 10% de carbono orgánico (Gross, 1972), en la plataforma 1 - 3% (Raschid, 1975 en Delgado y Gomero, 1988). Estudios realizados frente a la costa peruana por Delgado y Gomero (1988) indican valores de carbono orgánico mayores de 5%, hasta 20% (frente a Pisco) y menores a 2% en la plataforma frente a Chimbote y Pimentel.

C.2. CARBONATOS.

El contenido de carbonatos está expresado como carbonato de calcio principalmente, corresponde a la presencia de arenas de foraminíferos, conchas calcáreas de moluscos, equinodermos, crustáceos; etc.

La formación y acumulación de estos organismos y sus restos calcáreos se producen al cumplirse lo siguiente: pequeño suministro de material terrígeno constituyente, condiciones adecuadas para su crecimiento en el medio y condiciones hidroquímicos favorables (Figura 11).

En sedimentos marinos se encontraron valores mayores a 30% de carbonatos en la plataforma externa frente a Chimbote, Pimientel y Tumbes, al sur en cambio valores generalmente menores a 30% (Delgado y Gomero, 1988).

ANALISIS EN LABORATORIO

MATERIA ORGANICA TOTAL Y CARBONATOS

El análisis de materia orgánica y carbonatos se realizó por el método de pérdida de peso por ignición (Dean, 1974), que permite determinar los contenidos orgánicos y de carbonatos en los sedimentos calcáreos y rocas sedimentarias calcáreas con precisión y exactitud comparables a otros métodos como el de lixiviación por ácido diluido, determinación de carbonato de calcio total (por acidificación) y analizador de carbono, aventajándoles en rapidez, permitiendo el análisis de varias muestras al mismo tiempo.

El método se realiza con una muestra pulverizada y secada que contiene material orgánico, al ser calentada en una mufla, el material orgánico se incinera aproximadamente de 200° a 550°C aproximadamente. El desarrollo de CO₂ desde el carbonato de calcio de los 800° a 850°C, la pérdida de peso puede ser determinada por pesada de la muestra antes y después de la ignición y obteniendo el porcentaje de la pérdida de peso por diferencia (Figura 13).



Materiales:

Mufla

Desecador

Balanza analítica

Crisoles de cerámica

Procedimiento:

La muestra es tamizada (malla 80 ASTM) y pulverizada, aproximadamente de 1 a 2 g se introducen en un crisol de cerámica prepesado. Se seca en un horno a 100° C durante una hora y luego de enfriar en un desecador, se pesa la muestra con el crisol (la diferencia entre ambos corresponde al peso seco de la muestra).

La muestra y el crisol se colocan en la mufla a 550° C durante una hora y se repite la operación de enfriamiento y pesaje (la diferencia entre este nuevo peso y el peso seco es la cantidad de materia orgánica incinerada).

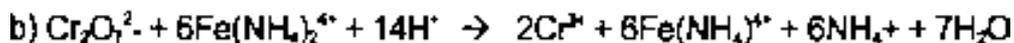
La muestra es introducida nuevamente en la mufla y se calienta a 1000°C durante una hora, Se enfría en desecador y se pesa, (la pérdida de peso entre los 500° a 1000°C es la cantidad de CO₂ desarrollada de los minerales carbonatados), durante todo el análisis se van anotando los datos (Foto N° 7).

CARBONO ORGANICO.

El método volumétrico de Walkley & Black (1934) y modificado por Gaudette *et al.* (1974), permite determinar el contenido de carbono orgánico de la materia orgánica oxidable en los sedimentos, el método excluye (hasta 90 - 95%) el carbono elemental presente como grafito y carbón vegetal (FAO, 1978), su precisión es comparable al más rápido pero más costoso método de combustión LECO (Gaudette *et al.*, 1974).

El método utiliza el calentamiento exotérmico y la oxidación con dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado de una porción de muestra de malla 80 ASTM y la titulación del exceso de dicromato con solución de amonio ferroso 0.5 N hasta un punto final nítido de una gota (Figura 14, Foto N° 8).

La oxidación del carbono por el ácido crómico (a) y la reducción del Cr₂O₇ por la solución ferrosa (b), se pueden representar:



Procedimiento:

Una porción de la muestra es tamizada por una malla 80 ASTM, la fracción que pasa (entre 0.2 y 0.5 g de peso), es molida con un mortero, secada durante 24 h., luego enfriada en un desecador y pesada (tomando nota de los valores), se trabaja con cada muestra por duplicado preparando un "Blanco de Standarización".

La muestra se vierte en un erlenmeyer de 500 ml, se agregan con bureta, primero 10 ml de dicromato de potasio 1N (agitando la solución), luego 20 ml de H₂SO₄ concentrado (al 96%), de esta reacción se desprenden gases y se calienta (proceso exotérmico). La mezcla se deja reposar durante media hora.

Luego la solución se diluye a un volumen de 200 ml con agua destilada, se le agregan 10 ml de H₃PO₄ al 85%, 0.2 g de NaF y 15 gotas de difenilamina.

Finalmente se realiza la titulación de retroceso con la solución de sulfato de amonio ferroso 0.5N, observándose una variación en los colores desde verde marrón-opaco, luego violeta, azul y finalmente a un color verde brillante dando punto de equivalencia nítido de una gota.

Para calcular el % de carbono orgánico se realiza la siguiente operación:

$$\% \text{Carbono Orgánico} = 10 (1 - T/S) (1.0N(0.003) (100/W)).$$

Donde:

T = titulación de la muestra, ml de solución ferrosa.

S = titulación del blanco de estandarización, ml de solución ferrosa.

C.3. METALES PESADOS.

Los metales pesados ($D \geq 5.0$ g/cc), corresponden al grupo de los metales de transición que se encuentran ubicados en la tabla periódica de los elementos.

Los metales presentes en la tierra como componentes naturales, ya sea en su forma elemental o formando algunos compuestos, pueden conformar rocas o suelos en diferentes ambientes y para cada uno de estos tipos de depósitos y según origen de ellos poseen una abundancia natural (background). En la siguiente tabla, se indican las concentraciones de algunos elementos presentes en sedimentos y rocas.

Las anomalías presentes pudieran deberse a concentraciones naturales (yacimientos, cambios geoquímicos o ecológicos) o como consecuencia de la actividad humana.

La introducción de estos elementos debido a la actividad humana, se origina desde la explotación minera, tratamiento, refinamiento, manufactura y su utilización en la industria sufriendo durante estos procesos corrosión y desgaste, o ingresando directamente al medio ambiente debido el uso de los combustibles fósiles (carbón), aplicación de ciertos funguicidas y combustión de la gasolina (contiene tetraetilo de plomo), etc.

La presencia de estos elementos en el medio marino (como elemento de compuesto) se debe finalmente a procesos naturales e inducidos por la actividad humana, al transporte de los ríos, descargas industriales y urbanas, lluvia, etc. En el mar son redistribuidos por procesos activos de transporte, sometidos a procesos físicos, químicos y biológicos (Figura 15). Hasta que finalmente son acumulados en los sedimentos del fondo oceánico.

La acumulación y persistencia de estos elementos en el medio marino esta en función de su no biodegradabilidad y estabilidad química. La razón de aumento de la concentración de metales en el ambiente del océano esta relacionado con el creciente aumento de la producción mundial de dichos metales.

Análisis en el laboratorio:

Los contenidos de metales pesados (Cu, Cd, Pb y Fe) se analizaron por el método modificado de Eggimann & Betzer (1976) y Johnson & Maxwell (1981) para el tratamiento químico de sedimentos determinados por espectrofotometría de absorción atómica.

La técnica se basa en la propiedad de los átomos de un elemento de absorber radiaciones de longitud de onda características y diferentes de cada elemento. Para que los átomos puedan absorber las radiaciones deben estar liberados de sus enlaces químicos y en su mínimo estado de energía, condición alcanzada mediante la vaporización de la muestra en una llama (Figura 16).

Se necesita una fuente de radiación que emita líneas espectrales del elemento a analizar (Lámpara de Cátodo Hueco). La radiación emitida por la lámpara se hace pasar por una llama (u Homo de Grafito) en la cual se ha vaporizado la muestra, ésta absorbe una determinada línea espectral. Su intensidad disminuye en forma proporcional a la concentración de cada elemento (Ley de Beer).

Las líneas no absorbidas se remueven mediante un monocromador que selecciona una banda de longitud de onda en la zona de la línea espectral de resonancia. Luego el sistema de fotodetección determina la disminución de la intensidad de I de la línea de resonancia (Figura 17).

La absorción atómica obedece a la ley de Beer-Lambert: La concentración de un elemento en la muestra es proporcional a la absorbancia.

$$I = I_0$$

$$\text{Log } \frac{I_0}{I} = KIC \quad , \text{ donde:}$$

- I = Intensidad final de la radiación.
- I_0 = Intensidad de la radiación incidente.
- l = Longitud de la llama.
- C = Concentración de átomos.
- K = Coeficiente de absorción atómica (según condiciones de operación).

El equipo utilizado es el Espectrómetro Perkin Elmer mod. 403 con Homo de Llama y/o Grafito (Foto N° 9).

Para el análisis (al igual que para los hidrocarburos de petróleo), se requiere en todo el proceso un gran cuidado, desde el muestreo, manipulación, análisis, lectura; con el fin de reducir cualquier posible error, ya que en una muestra de sedimentos hay niveles bajos de concentración de metales y son sensibles a cualquier tipo de contaminación.

El material que interviene durante el proceso, es de teflón, polietileno, vidrio, etc; se lava con detergente, después inmerso en una solución de extran sometido simultáneamente a ultrasonido, luego tratado en solución de ácido nítrico, para remover cualquier algún residuo, nuevamente enjuagado con agua deionizada y dejado a secar. Finalmente es guardado en bolsas herméticamente cerradas, hasta su utilización.

El procedimiento se indica en la Figura 18. La muestra es descongelada, homogeneizada, se pesa aproximadamente 30 g de muestra húmeda, en una placa petri se deja secar en el horno a 55° C durante 8 horas, luego introducida al desecador por 15 minutos y posteriormente pesadas para obtener el peso seco de la muestra y por diferencia de ambas medidas, determinar la humedad.

La muestra es molida en un mortero, luego tamizada en una malla de nylon de 150 micras, se pesan dos subfracciones de aproximadamente 0.3 gr., el resto de la muestra se almacena en una bolsa y se guarda en el archivo.

Cada una de las 2 submuestras se alojan en el interior de un tubo de teflón con tapa de rosca rotulado con un número y letra código para cada caso. Ej.: 1A y 1B (Para cada Bach de muestras se prepara un estándar y un blanco).

Se colocan las probetas en una gradilla, la cual es introducida en una campana extractora y se le adicionan con una pipeta 4 ml de HCl al 37% (Merck) y luego 2 ml de HNO₃ al 65% (Merck), agitando el tubo para cada caso.

La gradilla conteniendo los tubos es calentada en baño maría con los tubos de teflón parcialmente cerrados, a 95° C durante dos con periodos de agitación cada 15 minutos, en el interior de una campana extractora. Luego se deja

enfriar a temperatura ambiente y a cada tubo se le agrega 3 ml de HF con una probeta, y posteriormente se deja digerir la muestra.

Se introducen en la autoclave y durante 2 horas son calentadas a 120°C . Luego se dejan enfriar y son transferidas a fioles de 100 ml, enrasando con agua deionizada y finalmente trasvasadas a frascos de plástico para su lectura.

Las muestras son analizadas en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica, para ello se tomaron alícuotas de 1 picolitro de solución de muestra.

Las lecturas se realizaron en un Registrador Perkin Elmer luego de la atomización de la solución muestra. Los valores de concentraciones fueron hallados por medio de una curva de calibración.

La curva de calibración se halla con los valores conocidos de concentración de solución estándar, obtenidos en el espectrofotómetro de absorción atómica.

En base a la relación: $h = a + bC$

donde:

h = altura del pico en mm que se obtiene en el registrador.

a = intersección de la recta con el eje de las alturas.

b = pendiente de la recta.

C = Concentración en ppb.

C.4. HIDROCARBUROS DE PETROLEO.

El petróleo ingresa al medio marino por diferentes fuentes, naturales debido a procesos biosintéticos y procesos geoquímicos o por la actividad humana (Albaiges, 1977), esta última es la principal, (GESAMP 1971, 1977 en Escobar, 1986) reconoce las siguientes fuentes de introducción de petróleo como contaminante en el medio marino:

1. Descargas accidentales
2. Operaciones de deslastre
3. Lavado de tanques y sentinas
4. Filtraciones naturales
5. Pérdidas en operaciones costa fuera
6. Refinerías costeras.
7. Descargas directas municipales
8. Descargas indirectas vía ríos.
9. Precipitación atmosférica.

De los contaminantes marinos, el petróleo y los hidrocarburos son los que han recibido mayor atención internacionalmente a nivel científico y político, desde 1953, es reconocido que el petróleo es una de las sustancias más destructivas para la vida acuática y pese a ello también una de las más abundantes (CPPS-PNUMA Chile, 1986).

Una vez que el petróleo ingresa al medio marino, sufre una serie de procesos físico-químicos (esparcimiento, evaporación, solución, emulsificación, sedimentación, oxidación), efectos de la radiación ultravioleta y degradación biológica, algunos componentes pasan selectivamente a la columna de agua (Figura 19).

La velocidad y extensión de esos procesos dependen en parte de la naturaleza química de cada petróleo, también de las condiciones físicas del mar y del tiempo. El petróleo luego de estos procesos se encuentra presente como tarball (bolas de alquitrán), micropartículas, absorbido a la materia particulada, disuelto en la columna de agua o emulsiones agua en aceite (Escobar en CPPS, 1986).

La oxidación es más activa en la superficie del mar que en la columna de agua, la auto-oxidación es favorecida por la acción de la luz y la acción catalítica de los metales. En los crudos que contienen compuestos de azufre este proceso se retarda.

Por la evaporación, el petróleo pierde sus componentes más volátiles, la disolución a fracciones ligeras, la agitación del mar hace factible las aglomeraciones de agua en aceite y ser absorbido por materia particulada (haciéndolo más susceptible a la oxidación y ataque bacteriano o microbiológico), esto ocasiona que el hidrocarburo aumente la densidad del producto residual y facilita su hundimiento e incorporación en los sedimentos.

El petróleo directamente incorporado en los sedimentos marinos por filtraciones submarinas, suele permanecer inalterado por periodos más prolongados ya que no sufre del mismo proceso que aquel expuesto en la atmósfera, en el fondo hay carencia de oxígeno disuelto y de luz solar. Así el petróleo originalmente incorporado en los sedimentos podría ser liberado posteriormente debido a la acción de las olas, corrientes marinas o dragado.

Análisis en el laboratorio

Los contenidos de hidrocarburos de petróleo en sedimentos se determinaron por espectro fluorescencia, el procedimiento de la preparación de las muestras se realizó basado en los manuales y guías de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI), Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

La identificación de hidrocarburos aromáticos y en especial de los policíclicos se realiza mediante una técnica de gran sensibilidad denominada espectroscopia de fluorescencia (Albaiges, 1977).

La técnica está basada en la excitación de los átomos en estado fundamental por un haz de radiación de una determinada longitud de onda, estos absorben radiación y pasan al estado excitado, al regresar al estado fundamental liberan esta energía como fluorescencia, siendo el proceso luminiscente (tiempo de vida del estado excitado) casi inmediato.

El espectro de fluorescencia se obtiene excitando la muestra a diversas longitudes de onda. El instrumento para la determinación de concentraciones de hidrocarburos es el espectrofluorómetro (Figura 20).

El tratamiento de muestras, material e instrumentos debe ser muy cuidadoso durante todas sus fases de análisis, puesto que el límite de detección para los hidrocarburos de petróleo "totales" es del orden de 1mg/k de sedimento. El material usado durante todo el proceso debe ser metálico, de pirex o teflón, enjuagado (luego del lavado con detergente, extrán y sometido al ultrasonido), con solución sulfocrómica (mezcla de dicromato de potasio y ácido sulfúrico).

Procedimiento:

Digestión.

Se deposita un peso húmedo de 80 a 100 g de muestra en un balón de fondo redondo y plano, agregando 3 g de hidróxido de potasio (KOH), 100 ml de metanol (CH₃OH) y agua destilada (el hidróxido de potasio y el agua destilada deben ser extraídos del hexano para eliminar cualquier posible residuo de hidrocarburo). Luego de agitar circularmente se introducen en la mezcla cuerpos sólidos de ebullición (perlas de vidrio). Se lleva el balón a baño María a 60°C durante 2 h, para evitar la vaporización de la solución, conectando un sistema de refrigeración al balón.

Extracción.

Una vez enfriado el contenido líquido del balón de concentrado es trasvasado a una pera de separación, el líquido remanente y parte del sedimento se vierten en un tubo de centrifuga y tapado con teflón es sometido a rotación de 2500 RPM durante 10 minutos. Se vierte en la pera el líquido que sobrenada y se repite la operación con otra fracción de muestra.

Agregando 15 ml de metanol a la pera, 25 ml de hexano y al balón, se agita vigorosamente y se deja reposar en un soporte, se producen dos fases, separándolas una en un erlenmeyer y otra en un balón, al erlenmeyer se

agregan otros 25 ml de hexano repitiendo la separación de fases, agregando la fracción correspondiente al balón.

Concentración.

En el rotavapor (con sistema de extracción de vapores y refrigeración), se coloca el balón y se reduce el volumen de la muestra a 0.5 ml (Foto N° 10).

Separación.

Se prepara una columna empacada en una pipeta Pasteur (con alúmina activada y tratada con hexano). Se realiza el sembrado del hidrocarburo, agregando los 0.5 ml en la pipeta pasteur, adicionando una solución de hexano y diclorometano se producirá la separación de las dos fases: La tercera (de hidrocarburos aromáticos) de la cuarta (más pesada y coloreada; ambas se trasvasan a frascos rotulados hasta su lectura (Foto N° 11). El procedimiento se indica en la Figura 21.

D) CORRELACION ENTRE VARIABLES, CLUSTER ANALYSIS Y ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

CORRELACION ENTRE VARIABLES

Las relaciones son los fundamentos sobre los cuales reposa toda ciencia. En algunos problemas las diversas variables se estudian simultáneamente para apreciar su mutua relación, denominándose a este problema correlación. La correlación lineal expresa el grado de relación entre dos variables, se expresa en forma numérica por el valor del coeficiente de correlación lineal "r" (de Pearson para el presente trabajo) y definido por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j) (x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \sum_{i=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}}$$

Donde: \bar{x}_j, \bar{x}_k son:
Medias para todos los valores de las variables j y k, respectivamente

Este coeficiente varía de +1, pasando por cero hasta -1, el signo expresa si la relación es positiva o negativa y la magnitud del coeficiente indica el grado de asociación. Si no existe ninguna relación entre las variables, r es igual a cero.

El coeficiente de correlación indica lo estrechamente que están relacionadas dos variables, sin embargo ello no implica una relación de causa y efecto.

CLUSTER ANALYSIS

El Análisis de Clasificación Automática (Cluster Analysis en inglés) es una de las técnicas más utilizadas del análisis de agrupamiento que siguiendo reglas más o menos arbitrarias, forman grupos de las unidades y variables que se asocian

por su grado de similitud o correlación. La representación gráfica de la estructura obtenida de la matriz de similitud de coeficientes de correlación puede representarse mediante un dendrograma que permite una clara visualización de las relaciones entre las unidades y variables (Crisci y López, 1983). El método elegido para el análisis de las variables fue el de agrupamiento promedio.

ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Es una técnica de ordenación, utilizada para representar según un modelo lineal un conjunto numeroso de variables, mediante un número reducido de nuevas variables hipotéticas llamadas componentes principales. Estas componentes están correlacionadas entre sí y por lo tanto, se interpretan independientemente unos de otros. El número máximo de dichas componentes depende del número de variables originales y número máximo posible es igual o menor al número de estos últimos. El análisis de componentes principales en las variables y las estaciones se realizó sobre la matriz de correlación de Pearson

Estas técnicas son muy utilizadas en los estudios de geología ambiental (PROY. CUB., 1985; Stenberg *et al.*, 1998; Tortensson *et al.*, 1998; etc.).

Para el cálculo los coeficientes de correlación entre las variables analizadas (elementos contaminantes, contenido orgánico, carbonato de calcio y tamaño de grano), Cluster Análisis y Análisis de Componentes Principales, se usó el paquete estadístico de computación MINITAB 12 For Windows y SPSS Ver 9.

3.2. GEODINAMICA MARINA Y METODO DE ESTUDIO.

3.2.1. GEODINAMICA MARINA

Los procesos que dominan la acción geológica del mar en la costa dependen del oleaje, corrientes y marea, cuya energía proviene del movimiento de las aguas.

Las olas son el resultado del movimiento oscilatorio no traslativo del agua, se forman generalmente por acción del viento sobre la superficie del agua, también se producen por las mareas, terremotos y erupciones de volcanes submarinos.

Los elementos de una ola son: longitud de onda (distancia entre dos crestas sucesivas), altura (distancia vertical entre la cresta y el fondo de una depresión adyacente) y período que es el tiempo en que pasan dos crestas sucesivas por un punto (Figura 22).

Tipos de Olas:

Olas Oscilatorias.- Es una oscilación libre, la partícula de agua describe una órbita circular, con un desplazamiento horizontal casi insignificante.

Olas de Traslación.- Se producen por la caída de la cresta de una ola de oscilación, el movimiento de las partículas de agua es de traslación con transporte de masa. Luego de "romper" en la costa, regresa al mar se origina un flujo de agua denominado "resaca".

En la Figura 23 se observa un perfil de playa y el recorrido final de una ola, ésta al acercarse a la costa experimenta algunos cambios al frenarse por la fricción con el fondo: la longitud de la onda disminuye, la altura crece hasta llegar a un punto donde ocurre la rompiente (Cuando la profundidad del agua es menos de la mitad de la longitud de ola), sólo el periodo se mantiene constante. La órbita de la ola también varía, se va deformando de circular a elíptica, removiendo las partículas del fondo hasta ocasionar como consecuencia el transporte de sedimentos.

Deformación de las Olas en su dirección:

Reflexión de Olas.- Ocurre cuando las olas llegan a una playa de fuerte pendiente, acantilado o promontorio, produciéndose el reenvío de éstas, reflejándose así de este obstáculo.

Refracción de Olas.- Se produce cuando la influencia del fondo ocasiona el combamiento o refracción de las olas que avanzan hacia la costa, cambiando su dirección, disminuyendo su velocidad y acercándose casi de frente.

Difracción de Olas.- Cuando se halla presente un obstáculo, las olas se curvan a su alrededor contorneándolo penetrando en la zona protegida, transfiriendo energía de una zona a otra (Figura 24).

CORRIENTES

Son movimientos traslativos de masas de agua cuyo origen se debe a varias causas.

MAREAS

Es una onda producida por la influencia gravitatoria del sol, la luna y la fuerza centrífuga ocasionada por la rotación de la tierra.

El ritmo de descenso y ascenso del nivel del mar se debe a las posiciones relativas de estos astros con respecto a la tierra.

3.2.1. METODO DE ESTUDIO

Se realizó mediante la interpretación de pares estereoscópicos de fotografías aéreas del Servicio Aerofotográfico Nacional S.A.N. (Fotos N° 12 y 13), del año 1990 a escala 1:30,000, serie L, N° 60- 62, 119-124, 129, 130, 147-149, 154-157, 242, 243, 285, 286; comprobación directa en el campo y elaboración de un mapa.

Como base fue el estudio de rasgos morfológicos de la costa, observación de los diagramas de olas, rompientes y tonalidades diferentes.

Los diagramas de olas (Refracción, Reflexión y Difracción) se bosquejan mediante el dibujo de las crestas y sus respectivas ortogonales, definiendo la distribución de la energía y como consecuencia su efecto erosivo, según la convergencia o divergencia de ellas en una superficie determinada de la costa.

CAPITULO 4. SEDIMENTOLOGIA, GEOQUIMICA Y EROSION MARINA.

4.1. PRESENTACION DE RESULTADOS.

El estudio de los sedimentos superficiales, basado en el análisis de 43 muestras ubicadas en la zona de estudio (Figura 25, Mapa N° 1), permitió determinar la textura, parámetros estadísticos, mineralogía y contenido químico.

Con la descripción visual del sedimento, se hizo algunas observaciones respecto al tipo de fracción orgánica presente, coloración, olor, presencia de algunos minerales, etc. (Tabla II), que integrados con los resultados analíticos, datos oceanográficos, fotointerpretación geológica y las observaciones directas del fondo permitirán interpretar algunos ambientes deposicionales de la bahía.

Para una mejor descripción se asignó una letra arbitraria a cada grupo de estaciones frente a determinada zona de la costa, así se tienen los alineamientos A, B, C, D, E y F (Figura 25).

4.1.1. SEDIMENTOLOGIA

4.1.1.1. ANALISIS GRANULOMETRICO Y TEXTURAS SEDIMENTARIAS

Los resultados del análisis granulométrico permitieron la clasificación de los sedimentos (Tabla III), definiendo 7 tipos de textura: arena, arena limosa, arena arcillosa, limo arenoso, limo arcilloso, arcilla limosa y fango (Figura 26).

Frente a Ventanilla las arenas gradan hacia arenas limosas conforme se alejan de la línea de costa. La misma tendencia se observa casi en toda la bahía del Callao pasando de limo arcilloso a arcilla limosa, con presencia de algunas zonas arenosas en la parte media de los perfiles B (E-21), C (E-24), y D (E-8) ubicados al norte de los ríos Ríma y Chillón. También presencia de zonas de arcilla en las estaciones más próximas a la costa del perfil D (E-7B y E-7C).

Al oeste de La Punta, la textura es principalmente arena, en la zona del Camotal hay cantos rodados y al este en zonas más profundas cambia a fango presentando combinaciones de arena. Frente a la Isla San Lorenzo predominan también las texturas de arena y sus combinaciones. Al norte de la bahía de Miraflores, las texturas son arena principalmente, también fango arenoso y cantos rodados en las estaciones 4 y 2, respectivamente.

En general, en las zonas más profundas estudiadas en la bahía del Callao, predominan los sedimentos finos (combinaciones de arcillas y limos), no así en las zonas más costeras donde predominan las arenas (excepto frente a Fertisa).

En base a los resultados del análisis granulométrico y textural, se graficó el Mapa de distribución de sedimentos superficiales (Mapa N° 2).

4.1.1.2. PARAMETROS ESTADISTICOS.

Los parámetros estadísticos (media, mediana, sesgo, selección y curtosis) fueron calculados a partir de los percentiles obtenidos en base a la técnica de computación gráfica (Figuras 27 a - h y Tabla III).

Los valores para la media granulométrica en la bahía del Callao por lo general son mayores a 4, la mediana aunque posee valores ligeramente menores tiene la misma tendencia que la media, selección pobre a muy pobre, valores de asimetría que indican muy positiva a negativa y casi simétrica, la curtosis principalmente platicúrtica a muy platicúrtica, varía hasta extremadamente leptocúrtica a leptocúrtica y mesocúrtica.

Frente a Ventanilla la media varía de 3 a 4, selección pobre, asimetría muy positiva y son extremadamente leptocúrticas.

Al norte de la bahía de Miraflores la media varía entre 2 y 4 principalmente, solo hay un valor mayor a 4. La selección es pobre a muy pobre y moderada, la asimetría muy positiva a positiva, la curtosis es leptocúrtica a extremadamente leptocúrtica.

En playas (Ventanilla y Oquendo) la media es menor a 3, selección moderada a buena, asimetría positiva a casi simétrica y muy leptocúrticas a leptocúrticas (Tablas III, IV y Mapas N° 3, 4 Y 5).

4.1.1.3. OBSERVACION AL MICROSCOPIO

De la observación de las muestras al microscopio se registraron algunos componentes de la muestra (Tabla V).

La fracción orgánica de los sedimentos en la zona frente a Ventanilla estuvo conformada principalmente por restos de conchas y vegetales terrestres. Se observó también minerales oscuros y micas. En la bahía del Callao se encontró restos orgánicos en algunas estaciones. En las estaciones 14, 9, 10 y 25 abundancia de diatomeas, en la E-15 y E-13: tubos de poliquetos y escamas de peces. En cambio en los perfiles B, C, y D y la E-12 se hallaron restos de vegetales terrestres (tallos, raíces, astillas), restos de plástico, pelusas y restos de carbón. En las estaciones C1, C2, C4 y C7 (frente a la Punta) y 1, 3, 5 y 6 (NW de la bahía de Miraflores) la fauna es rica, con variedad de especies bénticas (Anexo 4).

La composición mineralógica de la fracción más representativa de la arena se encuentra representada principalmente por granos minerales libres de cuarzo, aluminosilicatos (feldespatos, micas) y en menores porcentajes epidota, minerales pesados (magnetita, hematita, hornblenda, etc.) y carbonatos.

El cuarzo está presente hialino y lechoso, a veces con inclusiones de hematita, los feldespatos (principalmente plagioclasas), al igual que el cuarzo en formas angulares a subredondeadas. La mica principal es la biotita, cristales alargados de hornblenda color verde, granates color rojo y pardo, la magnetita color negra, a veces alterada a hematita, esta última también se halla pulverulenta. Las plagioclasas y micas aumentan en las muestras a mayor profundidad.

4.1.2. GEOQUIMICA

4.1.2.1. CARBONO ORGANICO

Los resultados del análisis de contenido de carbono orgánico (%) en los sedimentos marinos fluctúan de 4.25% a 0.12% (Ver Tabla VI, Mapa N° 6).

Los contenidos más elevados (>2%) se ubican en dos zonas en la bahía del Callao, la primera que comprende a las estaciones más alejadas de la línea de costa y de mayor profundidad, entre la desembocadura del río Chillón y la Punta (específicamente en las E-9, E-10 y E-25). La segunda cerca a la línea de costa, en áreas ubicadas al N de la desembocadura del Emisor Callao hacia el N de la E-7B, también en la rada interior del puerto y frente a Chucuito.

Los menores contenidos (<1%), se hallan presentes al noroeste de la bahía de Miraflores, frente a Ventanilla y en la bahía del Callao frente a la desembocadura de los ríos Chillón y Rimac, prolongándose hacia la parte media de los perfiles B y D, también en los alrededores del banco Camotal, La Punta, frente a la isla San Lorenzo y en toda la zona de playas muestreadas.

4.1.2.2. MATERIA ORGANICA TOTAL

Los valores hallados de materia orgánica en sedimentos, (Tabla VI, Mapa N° 7), se hallan en relación directa con el de carbono orgánico. Varía de 11.77% a 0.60%, localizándose los más altos contenidos en las zonas más profundas (lejos de la costa), en zonas menos profundas (cerca a la costa) al norte del Emisor Callao, en la rada interior del puerto y frente a Chucuito.

Los mínimos valores se hallan en la desembocadura de los ríos Chillón y Rimac, en la parte central de los perfiles B, C y D, en la zona del Camotal, La Punta, frente a Ventanilla y al norte de la bahía de Miraflores son menores a 6%.

4.1.2.3. CARBONATOS

La distribución del contenido de carbonatos expresado como carbonato de calcio (CaCO_3) en porcentaje (Tabla VI, Mapa N° 8) en general presenta una tendencia similar a los contenidos de materia orgánica, con valores que oscilan entre un máximo de 38.87% a 0.89% como mínimo.

Las zonas que ostentan los mayores y menores valores coinciden con los de carbono orgánico y materia orgánica a excepción de la zona ubicada al este de la isla San Lorenzo, frente a La Punta donde se hallan los máximos porcentajes, alrededores del Banco el Camotal y noroeste de la bahía de Miraflores (>4.83%), los perfiles B, C, y D también presentan las mismas variaciones observadas en los anteriores parámetros.

4.1.2.4. METALES TRAZA

Los contenidos de metales traza están expresados en $\mu\text{g/g}$ para los elementos cadmio, plomo y cobre, en porcentaje (%) para el hierro, por estar presenta en mayor proporción en los sedimentos, las concentraciones y distribución en la bahía se indican en la Tabla VI y en los mapas N° 9, 10, 11 y 12.

Cadmio.- Frente a Ventanilla los valores alcanzan promedio de 1.35 $\mu\text{g/g}$ y al norte de la bahía de Miraflores de 0.84 a 2.68 $\mu\text{g/g}$. En la bahía del Callao los valores fluctúan de 1.32 $\mu\text{g/g}$ a 5.04 $\mu\text{g/g}$, concentraciones mayores a 3 $\mu\text{g/g}$ se ubican en las zonas más profundas lejanas a la línea de costa y también cerca de ella, al norte del emisor Callao, rada interior del puerto y frente a Chucuito

Plomo.- Los valores de plomo en Ventanilla promedian los 42.6 $\mu\text{g/g}$, al noroeste de la bahía de Miraflores varían de 47.2 $\mu\text{g/g}$ a 64.71 $\mu\text{g/g}$. En la bahía del Callao de 59.64 a 526.86 $\mu\text{g/g}$ (ubicado en la E-11), la distribución de las mayores concentraciones es similar a la del Cd.

Cobre.- Las concentraciones de cobre en Ventanilla son 32.64 $\mu\text{g/g}$ como promedio, al noroeste de la bahía de Miraflores de 13.77 $\mu\text{g/g}$ a 33.58 $\mu\text{g/g}$. La bahía del Callao ostenta valores de 16.18 $\mu\text{g/g}$ a 255.43 $\mu\text{g/g}$, los mayores valores se hallan al norte del emisor Callao, en la rada interior del puerto, frente a Chucuito y en la zona más profunda frente a playa Oquendo.

Hierro.- Los valores de Fe reportados en porcentaje, en Ventanilla varían de 0.91 a 3.39%, al noroeste de la bahía de Miraflores de 0.24 a 1.36% y en la bahía del Callao de 1.72 a 3.54% (en la E-24), y desde la desembocadura del río Rímac hasta la zona frente a Chucuito. Se observa que los valores más

bajos de concentraciones de metales se hallan frente a Ventanilla (excepto Fe) y al noroeste de la bahía de Miraflores. Los valores más altos están presentes en la bahía del Callao.

4.1.2.5. HIDROCARBUROS DE PETROLEO

Los resultados del análisis de contenido de hidrocarburos aromáticos totales presentes en el sedimento ($\mu\text{g/g}$ expresado en unidades de criseno), reportaron al noroeste de la bahía de Miraflores $0.07 \mu\text{g/g}$ (valor mínimo), frente a Ventanilla oscilan entre $0.15 \mu\text{g/g}$ a $0.21 \mu\text{g/g}$ y en la bahía del Callao se halló los más altos, de $0.28 \mu\text{g/g}$ a $6.85 \mu\text{g/g}$. El máximo valor se ubica en la rada interior del puerto (Mapa N° 13 y Tabla VI).

Los Coeficientes de Variación (C.V.) son elevados, existiendo alta variabilidad en la distribución y concentraciones (Tabla VI). En orden decreciente en contenidos orgánicos los C.V. mantienen el siguiente orden: Cbtos (93.49%); C- Org (87.86%), MOT (83.49%). En los elementos contaminantes destacan los hidrocarburos (151.92%), en los metales el Pb (82.94%; Cu (75.12% y seguidos finalmente de los menores valores de C.V.: el Fe (45.54%) y el Cd (43.34%).

La Figura 28 muestra comparativamente la variación de cada elemento contaminante por estación y en las Figuras 29a-f, la variación batimétrica de cada variable a su estación en los 6 perfiles. En orden decreciente la concentración de los elementos contaminantes es: Fe>Pb>Cu>Cd>Hcbs.

4.1.3. CORRELACION ENTRE VARIABLES, CLUSTER ANALYSIS Y ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Se presenta los resultados obtenidos de la aplicación del software indicado en el capítulo 3, sobre las variables físicas, químicas y estaciones estudiadas.

Para los coeficientes de correlación lineal en 23 estaciones (Tablas VII y VIII), se observa en la Tabla VII que los mayores valores obtenidos son entre carbono orgánico-M.O.T. (materia orgánica total), seguido de carbono orgánico-Cd, fracción limo/arcilla-Cd, fracción limo/arcilla-Pb, fracción limo/arcilla-carbono orgánico, fracción <125 mm-hierro, MOT-Cd, limo/arcilla-Cu. Los que presentan menores correlaciones son el Fe, fracción <125 mm y los carbonatos.

Los coeficientes de correlación incluyendo hidrocarburos aromáticos totales (H.A.T.), se aplicó sólo entre estaciones (11 en total) donde se realizó también este análisis, se obtuvo las mayores entre carbono orgánico-Cu, carbono orgánico-Cd, carbono orgánico-MOT, Pb-Cu y limo/arcilla-Cu (Tabla VIII).

En los dendrogramas que se muestran en la Figuras 30 a y b, se observa los agrupamientos: Caso a) Carbono orgánico-M.O.T.y Cd, otro grupo muy cercano es el de fracción limo/arcilla-Pb y Cu, ambos agrupamientos se relacionan con los carbonatos, finalmente se hallan el Fe y la fracción <125 mm. Caso b) Las asociaciones presentes son similares pero la posición de la M.O.T. es ocupada por el Cu, se muestra nuevamente la asociación fracción <125 mm-Fe, los H.A.T. se hallan al final antes de los carbonatos.

Lo obtenido en el párrafo anterior es corroborado por el análisis de componentes principales sobre las matrices de correlación (Figuras 31 y 32), utilizando para ambas el 76.10% y 72.90% de variación total correspondiente a las 2 primeras componentes, respectivamente. Observándose en la figura 31 a que la componente principal está caracterizada en sentido positivo por el grupo de variables Cd, C-org y M.O.T., y también por otro grupo de variables Pb, fracción limo/arcilla, y Cu otro grupo la conforman el Fe y la fracción <125 mm. En ambos casos los carbonatos no muestran el mismo comportamiento.

Las figuras 31 b y 32 b, muestran la distribución de las estaciones siguiendo un patrón geográfico de agrupamiento en el primer caso se hallan las Est. 1, 6, 5, y 4, en otro la 21, 22, 18, 19 y en otro gran grupo el resto de estaciones; en la Figura 32 b un primer grupo con las Estaciones 23, 8, 20 y 16, otro con la 25, 13, 10 y finalmente la 12, 22 y 19 cabe notar en este último que dos de ellas se hallan cercanas a las desembocaduras de los ríos Rímac y Chillón.

4.1.4. DINAMICA MARINA

El estudio realizado basado en la fotointerpretación geológica ha permitido bosquejar diagramas de olas (Mapa N° 13) y sus respectivas ortogonales indicando zonas de convergencia y divergencia, ellas corresponden a vientos de dirección sur y velocidad media anual de 5.5 nudos (HIDRONAV, 1987).

Es posible distinguir que la línea de costa presenta distintos rumbos, en la zona interna de la isla San Lorenzo se observa un rumbo NW, La Punta presenta un arribamiento NE que va cambiando a NS en la zona de playa Oquendo y NNW hacia la zona de Ventanilla.

En la zona de playas (Márquez, Oquendo, Chucuito, La Punta y Ventanilla), también en playas de la isla San Lorenzo se observa la divergencia de ortogonales de las olas que llegan a la costa.

Zonas de convergencia de ortogonales se observa frente a la playa Ventanilla, en la zona de acantilados de La Pampilla, desembocadura del río Rimac, banco El Camotal y la Punta.

CAPITULO 5. CONDICIONES AMBIENTALES - INTERPRETACION

5.1. GENERALIDADES

El estudio de las características físicas y contenido químico de los sedimentos, es importante para el estudio de la calidad de agua que está en contacto con ellos y puede proporcionar información sobre el origen de la contaminación.

Los procesos costeros que modelan la línea de costa dependen de las condiciones climáticas que prevalecen en el área de estudio, las cuales se encuentran relacionadas con la dinámica de las masas de agua (corrientes y olas), encargadas de mantener el balance erosión-sedimentación.

5.2. CONDICIONES SEDIMENTOLOGICAS Y PROCESOS.

5.2.1. CONDICIONES SEDIMENTOLOGICAS.

Las texturas obtenidas en la zona de estudio (Mapa N° 2), presentan en general una distribución geográfica en la que se observa un decrecimiento del tamaño de grano conforme su alejamiento de la línea de costa. Esto concuerda con la distribución de la energía de las corrientes en una bahía (hacia la costa mayor intensidad de corrientes y oleaje), ver punto 5.4. Dicha progradación del tamaño de grano no mantiene la tendencia en estaciones intermedias de los alineamientos B, C y D y en la zona mas costera del Perfil D, observándose áreas arenosas y en otros casos arcillosas, donde se esperaría otro tipo de textura. En el primer caso se debería a condiciones de energía ocasionadas por corrientes submarinas de fondo hacia el norte (Teves y Gagliano, Op. Cit.), lo que origina un mayor transporte de sedimentos, en el segundo caso la presencia y distribución de los sedimentos arcillosos se debería a la influencia del aporte de sedimentos finos del emisor Callao y río Rimac y distribuidos hacia el norte. Estas afirmaciones se basan en los resultados de la representación gráfica del tamaño de grano (Figuras 27 a-g, y Mapa N° 3).

La selección en toda la zona de estudio en general refleja una mala clasificación, siendo más representativa la bahía del Callao (a excepción de la zona de playas).

Los valores de asimetría negativa reflejan el dominio de un medio ambiente deposicional de sedimentos finos (predominio de arcillas y limos), como se observa en el mapa de distribución de sedimentos y el de asimetría. Los valores de asimetría positiva (reflejan el dominio de sedimentos gruesos (limos y arenas) e indican un medio ambiente no deposicional, erosivo o en estado de flujo (López, 1987)

5.2.2. PROCESOS SEDIMENTARIOS

En la bahía del Callao los procesos que controlan la sedimentación están condicionados por el cambio y la actividad entre las diferentes masas de agua presentes, se ilustran esquemáticamente en la Figura 33.

En las zonas de desembocadura de los ríos Rímac y Chillón, ocurren procesos de sedimentación por acción mecánica debido a la pérdida de fuerza de transporte de sedimentos terrígenos (arenas y limos), estos son abandonados a partir de la interfase agua dulce (fluvial) - agua salada (marina), formándose depósitos terrígenos fluvio-marinos de prodelta. La prolongación de estos depósitos depende del caudal de estos ríos (mayor en el río Rímac), los cuales en época de estiaje son menores y de la actividad del oleaje que distribuya estos sedimentos hacia el Norte por deriva litoral (delta dominado por las olas).

Sedimentación por acción físico-química ocurre debido a la variación de condiciones físico-químicas del agua (salinidad, temperatura, pH, etc.) que ocasionan la floculación de parte de los materiales más finos transportados en suspensión por el río y por descargas municipales, domésticas e industriales (emisor Callao, colector Comas, etc.). El depósito de sedimentos de texturas más finas presentes frente a estos colectores es producto de su influencia y que deberían por su posición geográfica, tener sedimentos más gruesos.

La otra parte de los sedimentos finos que escapan a este depósito diferencial son transportados hacia partes más centrales y profundas de la bahía donde ocurre un fenómeno de mezcla uniformizándose con material en suspensión de otro aporte (consecuencia de la productividad biológica), donde floculan y se depositan en un ambiente típico de bahía.

Al norte del río Chillón no se observan estos depósitos, probablemente sean dispersados y transportados hacia el norte debido a un régimen hidrodinámico más activo (ver Punto 5.4).

Otro proceso de sedimentación mecánica ocurre al abrigo de la isla San Lorenzo, permitiendo que en sus riberas se depositen materiales producto de la erosión de la misma y de restos biógenos abundantes en el área. Frente a dichos depósitos, entre La Punta y la isla San Lorenzo, también se produce sedimentación mecánica de material más grueso que constituye el banco Camotal, (las causas de esto serán también explicadas más adelante en el Punto 5.4. Este tipo de proceso también ocurre cercano a la costa en zonas dominadas por el oleaje, corrientes de deriva, que indican una zona dinámica y de mayor energía, conformado principalmente por depósitos de arenas y conteniendo inclusive gravas, característicos de un ambiente marino litoral.

5.3. CONDICIONES GEOQUIMICAS EN SEDIMENTOS

5.3.1. CONTENIDO ORGANICO

Los contenidos orgánicos (carbono orgánico y materia orgánica total) mantienen una alta correlación entre ellos y con la fracción fina (limo/arcilla) que corresponde a texturas arcillo limosas, limo arcillosos y fangos.

Los factores que determinan los altos contenidos orgánicos en sedimentos del área de estudio, están condicionados por el contexto oceanográfico y ambiental (Ver Cap. 1 y 2): La alta productividad biológica y sedimentación en un fondo de circulación limitada pues la bahía está protegida del oleaje y corrientes por las islas San Lorenzo y Frontón, las condiciones geoquímicas reductoras en el fondo y sumado a ello la creciente actividad humana e industrial cuyos desechos son vertidos a los ríos que finalmente desembocan en el mar o descargados directamente en él por los efluentes y colectores (con abundante material en suspensión que contiene desechos cargados de material orgánico y otros elementos contaminantes como metales pesados, pesticidas, hidrocarburos, etc.), que bajo las condiciones mencionadas finalmente serán depositados en el fondo.

Después de su depositación, ocurren algunos cambios diagenéticos en los primeros centímetros del sedimento, el material orgánico es descompuesto en el fondo por las bacterias (desnitrificantes y sulfúreas), ejerciendo para ello demanda de oxígeno, se producirá entonces la liberación de nutrientes y formación de sulfuro de hidrógeno que ocasiona el fétido olor en el sedimento y de metano, creándose un ambiente anóxico y mientras mayor sea la carga orgánica, el ambiente será más anóxico y reductor.

Para el caso de las zonas más profundas y alejadas de la línea de costa los altos valores se relacionarían principalmente con la alta productividad biológica, sin dejar de lado el aporte antropogénico que alcanzaría a sumarse a estos depósitos, los valores obtenidos frente a playa Márquez se deberían a la influencia de las descargas del emisor Callao.

Menores valores de contenido orgánico se han ubicado al N de la bahía de Miraflores y frente a Ventanilla y se hallan relacionados a texturas más gruesas (arenas y fangos arenosos), esto se explicaría por un régimen hidrodinámico más activo o mayores condiciones de energía, (corrientes de fondo más intensas), como lo reflejan también los parámetros estadísticos, en las Est. Nº 3 y 18 se observó en el fondo estructuras de corriente tales como ripples (Anexo 4), por ello en el fondo la oxigenación sería mayor que en la bahía del Callao, limitándole la formación de sedimentos anóxicos. Otra explicación podría ser por

la capacidad de asimilación y demanda que tendrían los organismos bénticos al utilizar rápidamente la mayor cantidad de materia orgánica disponible para su alimentación, si bien en esta ocasión no se estudió el bentos en estas estaciones, pero mediante observación directa del fondo (Anexo 4), y descripción in situ del sedimento pudo observar mayor presencia de organismos bénticos en contraste a otras estaciones del área de estudio); posteriormente Orozco *et al.* (1999) estudiaron las comunidades bentónicas, encontrando coincidente distribución a la observada en este trabajo. Finalmente podría ser que la combinación de las condiciones mencionadas determinen los valores bajos de materia orgánica.

5.3.2. CARBONATOS

Mantienen una misma tendencia aunque no significativa con el contenido de materia orgánica y carbono orgánico en todas las muestras a excepción de la zona del Camotal, La Punta e isla San Lorenzo, en estas áreas la abundancia de vida marina es mayor que el resto de la bahía.

Los valores de carbonatos están vinculados a la existencia de organismos con caparazones y conchas, lo cual se refleja en cierta correlación (aunque no significativa) con el contenido orgánico, pues las estaciones con mayores contenidos presentan abundante composición biogénica (Tabla VI).

Con respecto a los metales pesados e hidrocarburos la correlación es baja, para el caso particular del Fe es inversa.

5.3.3. METALES PESADOS.

La presencia de metales en el sedimento podría ser por influencia antropogénica o por una serie de procesos geológicos, mineralógicos, hidrológicos y biológicos (Forstner & Wittman, 1983). Formando parte de algún mineral, compuesto químico industrial, en estado natural o en estado iónico libre en el agua intersticial de los sedimentos, esperándose su disolución a partir de las partículas más pequeñas que los contienen.

El hierro se presenta principalmente como magnetita, sulfuro de hierro (pirita), su concentración varía ampliamente en la naturaleza. En aguas marinas por lo general el hierro precipita de la solución debido a la natural salinidad del agua de mar (Dames & Moore, 1986). El plomo se presenta en el estado natural, principalmente de la forma de sulfuros y carbonatos. El cobre se puede presentar en forma natural o en una variedad de minerales de sulfuros u óxidos de cobre.

Se observa que las concentraciones de algunos metales pesados (Cd, Pb, Cu) mantienen una correlación alta con la fracción limo/arcilla, esto coincide con afirmaciones de varios autores, según Forstner & Wittman (1983) ésta relación se debería a las fuertes propiedades de adsorción de la arcilla, para el Fe los valores de correlación fueron bajos. Krumgaiz et al. (1992) obtuvo en sus análisis concentraciones más altas de metales en la fracción <0.125 mm (arena muy fina y limo/arcilla), dichas fracciones son las que se analizan en el presente estudio, la correlación más alta relativa a ésta fracción se obtuvo para el Fe, los otros metales no mostraron valores significativos.

Se observa una alta correlación del Cd con el contenido orgánico, le siguen en magnitud el Pb y Cu, no así para el Fe que es muy baja.

Del elevado número de correlaciones obtenidas, métodos de agrupamiento y ordenamiento utilizados que permitieron reducir la dimensión del problema y tener una mejor caracterización del mismo; para los metales Cd, Pb y Cu se observó que mantienen un comportamiento similar, pues presentan coeficientes de correlación significativos entre ellos (Tabla VII), esto sugiere que independiente de los posibles impactos locales, las concentraciones presentes en cada estación, tienen un origen semejante, sea este natural, industrial o doméstico (Genest & Hatch, 1981 en PROY.CUB., 1985). En cambio el metal Fe, más bien presenta coeficientes de correlación bajos, no necesariamente es un buen indicador de contaminación o quizá podría formar parte de un grupo de componentes indicadores de un tipo de contaminación específica, por lo que es recomendable analizar otros metales de origen industrial.

Las concentraciones más altas de metales, se hallan en estaciones ubicadas a distintas profundidades frente a la zona Industrial del Callao, por lo que se considera la relación con los aportes de desechos provenientes de dichas fuentes. En los Análisis de componentes principales pudo observarse la agrupación de estaciones que reciben la misma fuente exógena de contaminación así se aprecia un gran grupo para el interior de la bahía del Callao, otro para la bahía de Miraflores y frente a Ventanilla.

5.3.4. HIDROCARBUROS DE PETROLEO.

No obstante el análisis por hidrocarburos en sedimentos no se hizo en la mayor parte de estaciones como en el caso de los metales, en las estaciones estudiadas los valores considerados altos, se ubican principalmente en la zona influenciada por el tráfico marítimo como la rada interior del puerto y alrededores de éste, también por la zona de la Refinería La Pampilla, de acuerdo al análisis de componentes principales que muestran agrupamientos de estaciones que reciben esta común fuente de contaminación y otro grupo con las estaciones

ubicadas en la desembocadura de los ríos Rimac y Chillón. Las correlaciones hechas para dichas estaciones con relación a las otras variables no son significativas (Tabla VIII), por tratarse de otra fuente de contaminación con patrones de aporte y dispersión distintos a las otras variables.

5.4. CONDICIONES DE DINAMICA MARINA Y EROSION

GEODINAMICA MARINA Y EROSION

Los diagramas de refracción bosquejados, información de vientos y batimetría han permitido la interpretación las condiciones de dinámica marina que originan erosión o sedimentación en determinadas zonas del área de estudio.

En la zona de playas, la configuración en forma de media luna y la menor profundidad a que ingresan las olas, ocasiona el retardo de ellas hacia ambos lados, observándose un abanico hacia la playa y creando una divergencia sobre el eje de ésta, como se ve en las playas Márquez, Oquendo, Chucuito, La Punta y Ventanilla donde se observan estructuras de playa de media luna (Foto N° 10), características de playas de baja energía.

El extremo NW de la isla San Lorenzo (Cabezo Norte), desvía el tren de olas, al penetrar en la bahía en aguas menos profundas, las olas viajan más lento. Esta punta hace pivotear las olas (las difracta) modificando su dirección, una parte es retenida al interior de la isla rompiendo suavemente frente a sus playas, el diagrama muestra la divergencia de ortogonales en ésta zona.

Parte de este tren de olas (más alejado de la isla) viaja más rápido y al llegar al banco Camotal, se observa el retardo de la cresta que pasa directamente encima de él, a ambos lados las olas viajan a mayor velocidad creando un abanico hacia atrás en las crestas, reflejándose en el trazo de las ortogonales que presenta una zona de convergencia y mayor altura de olas, al chocar con el oleaje proveniente de la bahía de Miraflores de dirección NW y que tiene similar diagrama de reflexión pero en sentido contrario, muestra un diagrama de convergencia de olas entrecruzado y originándose en esta zona de choque depositación de materiales transportados por ambas corrientes.

La convergencia de ortogonales en la zona de acantilados (zona norte de la Pampilla), y al norte en la playa Ventanilla, indican una mayor concentración de energía en estos sectores, siendo vulnerables a una erosión más intensa.

Otro punto de convergencia de ortogonales se presenta en la desembocadura del río Rimac, la presencia de un cuerpo de agua que ingresa al mar, y depósito frente a ella de material, origina deformación en la dirección de las olas, hacia el

norte de la desembocadura, después de la zona de medias lunas de playa, se observa la llegada del oleaje con cierto ángulo a la costa, indicando transporte de material por deriva litoral.

Las zonas de dinámica marina más activa, son las costas al norte del Río Chillón hasta Ventanilla y al sur la zona del Banco El Camotal y La Punta.

5.5. EVALUACION DE CONDICIONES Y EFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE

En la Tabla IX, se ilustran los valores de concentraciones para los elementos contaminantes estudiados en sedimentos marinos de la costa peruana y otras bahías del mundo. Los valores son comparables o superiores a los de otras bahías del mundo que reciben el impacto antropogénico de diferentes metales y por encima de valores presentes en otras bahías en Perú a excepción del cadmio, que es mayor en la Bahía Ferrol y cobre en la bahía de Ilo e Ite. Los hidrocarburos muestran menores concentraciones que en otras bahías como Talara, Ferrol ó Paita. Se observa además que en general los niveles de elementos contaminantes se incrementan en la bahía del Callao con el tiempo como ocurre de 1985 a 1996, sin embargo la mecánica del muestreo (con draga) podría contribuir a la pérdida de precisión en estudios de monitoreo de contaminación, por la mezcla de eventos de sedimentación reciente.

EFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE

La deposición en el mar de sedimentos y material en suspensión conteniendo elementos contaminantes afecta el ambiente marino de las siguientes formas:

- Alterando de las características físicas del medio receptor como batimetría, tipo de sustrato, reduce la penetración de la luz, y la concentración de oxígeno disuelto limitando el desarrollo de cualquier tipo de vida.
- Por enterramiento de las especies bénticas extinguiéndolas y alejando otras especies. Los sedimentos también pueden dañar a los organismos marinos causando deterioro físico de los mecanismos respiratorios y de alimentación.
- Los metales pesados no son biodegradables, por ello en los organismos (al incorporarlos mediante la alimentación a sus tejidos), el efecto de acumulación se amplifica, pudiendo encontrarse valores en los miembros superiores de la cadena trófica mucho más altos que en el agua, tampoco son degradables químicamente pero sí pueden formarse algunos compuestos a partir de estos metales, que en algunos casos son más tóxicos, su estabilidad permite que se acumulen en los sedimentos y sean propensos a ser removidos o transportados

en el agua, es preciso tener en cuenta que un metal se halla en un estado químico biológicamente disponible cuando puede ser asimilado por un organismo y reaccionar con su maquinaria metabólica (Capmbell *et al*, 1988 en Ruiz de la Rosa, 1993).

- En los seres vivos ocasiona efectos letales o subletales de contaminación por metales e hidrocarburos, causando la interrupción de los procesos o funciones biológicas normales como la reproducción, perturbando procesos fisiológicos y de comportamiento; etc. (Albaiges, Op. Cit.). El efecto contaminante puede llegar al ser humano al ingerir este los organismos contaminados.

La dinámica marina podría causar los siguientes efectos:

- El efecto del oleaje y la corriente de deriva costera, serían responsables del transporte y la dispersión hacia el norte y en el litoral de los sedimentos terrígenos y elementos contaminantes que transportan los ríos, colectores, emisores y efluentes industriales.

- Es de esperarse en las zonas de convergencia de ortogonales la erosión y en las zonas de divergencia la sedimentación y acreción de materiales.

- La erosión y sedimentación ocasionan problemas socioeconómicos, por el costo que implica rellenar una playa de material para ser usado como lugar de recreación o la destrucción de una carretera o instalación costera. El perjuicio y pérdidas que ocasiona el arenamiento cuando involucra obras de ingeniería como puertos o muelles, el costo asumido para dragar ese material es alto.

- La remoción de sedimentos en zonas por la construcción de una obra de desarrollo (muelle, emisores submarinos, etc.) por bravezas del mar o dragado, originaría la resuspensión temporal de los elementos contaminantes presentes en los sedimentos, que afectarían la calidad del agua en esta zona.

5.6. APLICACION A ESTUDIOS ECOLOGICOS

La influencia de la contaminación en los sedimentos incide directamente en contra del desarrollo de vida béntica, debido a que estos organismos viven en relación íntima con el sustrato y tiene repercusiones directas en la pesca, acuicultura, salud humana y recreación, razón por la cual estos resultados tienen importancia y forman parte componente en los estudios de evaluación de recursos marinos, estudios para acuicultura, estudios de línea base, estudios de impacto ambiental y monitoreo de condiciones, programas de manejo costero.

Además de reportar los valores de las concentraciones en sedimentos de determinados metales, y compararlos con los presentes en otras áreas industrializadas, es preciso tener en cuenta el contexto geológico que es diferente para cada zona (naturaleza litológica del sustrato, mineralogía; etc), lo cual brinda una información valiosa respecto a la forma en que están presentes dichos elementos, si aquellos se hallan en forma natural o si son de origen antropogénico. El estudio geoquímico nos aporta criterios para indicar si los contenidos están dentro o fuera del Background (abundancia normal) o constituyen valores anómalos, sobre los que se debe tomar particular consideración y vigilancia.

Los efectos de un incremento en el nivel del mar pueden ser previstos mediante el estudio sistemático de la línea de costa permitiendo definir las zonas que son las más vulnerables de ser afectadas por la erosión conociendo la dinámica marina, inundación, bravesas, o tsunamis y su posible impacto en las actividades humanas (Teves, 1991). Esto permitiría tomar consideraciones especiales en la planificación y el desarrollo de la zona costera que tiene gran demanda como recurso natural para el desarrollo urbano, industrial, turístico, de recreación, etc.

CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Los sedimentos superficiales que conforman el área de estudio son depósitos cuaternarios, cuya distribución varía en general de texturas más gruesas (próximas a la costa y en ambientes de mayor energía), a texturas más finas (alejadas de la costa). En Ventanilla de arenas a arenas limosas; en la bahía del Callao de limos arenosos o limos arcillosos a arcillas limosas (con presencia de áreas arenosas en la parte central desde el norte de las desembocaduras de los ríos Rimac y Chillón y áreas arcillosas cerca a la costa al norte del emisor Callao y frente a Chucuito. En las estaciones ubicadas al noroeste de la bahía de Miraflores los sedimentos son principalmente arenas.
- Fondos rocosos existen frente a las costas acantiladas de La Pampilla, fondos de cantos frente a las playas Oquendo, Chucuito, La Punta y en la zona del Banco El Camotal.
- La presencia de áreas pequeñas, de distinta textura que la circundante (parches) de naturaleza arenosa en la zona central de la bahía del Callao (parte media de los perfiles B, C, y D), se debe a la presencia de corrientes litorales submarinas que transportan los sedimentos hacia el norte como lo demuestran las variaciones en contenidos orgánicos, parámetros estadísticos (media, mediana, asimetría) indicando variación del tamaño de grano y un medio de mayor energía (corrientes). Las áreas arcillosas al norte del emisor Callao se deberían a la influencia de las descargas del mismo y del río Rimac y a su transporte hacia el norte por las corrientes.
- Los ambientes sedimentarios presentes son de transición (litoral, delta dominado por las corrientes), marino (de bahía).
- La presencia de sedimentos terrígenos se debe a los aportes de los ríos Rimac y Chillón y a su redistribución por el oleaje y las corrientes.
- La materia orgánica en los sedimentos procede de la alta productividad biológica que se produce en la columna de agua y de los aportes de las descargas urbanas e industriales y fauna béntica.
- La presencia de algunos metales ha sido determinada en base a la identificación de algunos minerales, el hierro se halla presente en la magnetita, hematita. La presencia de otros podría determinarse con un análisis mineralógico detallado. Una importante fracción de los elementos podría hallarse presente en su estado iónico en el agua intersticial en los sedimentos.

- Existe una relación inversa entre el contenido orgánico (carbono orgánico, materia orgánica) y el tamaño de grano del sedimento, los valores más elevados se concentran en sedimentos de grano más fino (fracción limo-arcilla).
- La bahía del Callao esta contaminada si se compara con ecosistemas similares de áreas muy industrializadas.
- El origen de la contaminación investigado en el presente estudio se debe a metales pesados, hidrocarburos del petróleo y orgánica.
- De acuerdo a las correlaciones obtenidas, análisis de agrupamiento y de componentes principales, los cuales han permitido la mejor interpretación y evaluación del deterioro del sistema ocasionado por la contaminación en los sedimentos, en la bahía existen dos grupos con comportamientos diferenciados, para uno las correlaciones (Pb, Cu, Cd y carbono orgánico y materia orgánica) son altas lo que indica un origen semejante y buenos indicadores de contaminación, en cambio el otro (Fe) presenta un comportamiento inverso. Estos comportamientos se deben a la localización geográfica, geomorfología, procesos biológicos y geoquímicos, fuentes de aporte de elementos contaminantes.
- La ubicación de las zonas más contaminadas por metales pesados, hidrocarburos del petróleo es la rada interior del puerto y alrededores, contaminación de origen orgánico frente a la zona de los colectores y hacia en norte de ellos y la menos contaminada es la de Ventanilla e isla San Lorenzo.
- En las estaciones frente a Ventanilla y al noroeste de la bahía de Miraflores los contenidos químicos son menores, las condiciones ambientales son mejores que las observadas en la bahía del Callao, la fauna es más rica y los restos de ella son más abundantes, no podría concluirse que los sedimentos sean una fuente de contaminación.
- Existe una relación directa entre el contenido orgánico y condiciones anóxicas, en cambio una relación inversa con el tamaño de grano y presencia de fauna béntica.
- Hay una interacción entre la línea de costa, batimetría y vientos, los cuales dan como resultado la refracción de las olas.
- Las zonas vulnerables a la erosión por el oleaje son La Pampilla, Ventanilla, Pta. La Punta, Banco El Camotal, en cambio las de sedimentación son las zonas de playas, como lo demuestran los diagramas de olas.

RECOMENDACIONES

- Realizar un programa sistemático de estudios en sedimentos en la zona de estudio de tal manera de obtener una mayor información sedimentológica y geoquímica (anomalías geoquímicas), además complementar el estudio de contaminación en sedimentos por otros metales y determinar el contenido de nitrógeno y fósforo orgánico para estudiar la contaminación orgánica en sedimentos.
- Realizar el muestreo para sedimentos usando cores; que garantiza un muestreo de la capa superficial sin disturbar, permite además estudiar el régimen histórico de sedimentación, observar el estado de bioturbación (ocasiona remoción y altera la distribución normal de metales y estructuras sedimentarias, se podría tomar radiografías del core). El método de muestreo directo (Buceo Autónomo) permite además la observación directa del fondo y la posibilidad de tomar fotografías.
- Estudiar mediante el uso de trampas de sedimentos, el aporte de material orgánico y metales pesados transportados por la columna de agua hacia el fondo y discriminar su naturaleza.
- Realizar estudios del bentos en cada una de las estaciones, para analizar y comparar las condiciones y especies relacionados con los contaminantes.
- Integrar los resultados con estudios de corrientes y realizar estudios de transporte de sedimentos, para comprender mejor las causas de la distribución de los sedimentos en la bahía y cuya información sería de gran utilidad para el estudio de metales pesados en sedimentos.
- Estudios de prospección sísmica para determinar la potencia (espesor) de la capa de sedimentos recientes sobre el sustrato infrayacente (no se cuenta con información al respecto).
- Estudiar sistemáticamente la línea de costa para determinar índices de vulnerabilidad de costas del Callao, ante un potencial derrame de hidrocarburos del petróleo.
- Para el análisis de metales pesados por espectroscopia de absorción atómica, se recomienda tomar preferentemente la fracción limo-arcilla, pues existe una mayor correlación entre ella y el contenido de estos, debido a la existencia del proceso de adsorción por dicha fracción.

- Investigar los elementos estudiados en el agua intersticial de los sedimentos para conocer cuanto de ellos se halla presente en su estado iónico y en forma de partículas.
- En el estudio de la contaminación de hidrocarburos del petróleo, es importante el uso de la cromatografía de gases, muy útil para la discriminación de la fuente de origen si esta es natural o antropogénica. Para los estudios de metales pesados, un estudio más profundo de la mineralogía de las fracciones finas y gruesas del sedimento.

BIBLIOGRAFIA

- AHUMADA, R. 1992. Patrones de distribución espacial de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd y Pb en sedimentos superficiales de la bahía San Vicente, Chile. *Rev. Biol. Mar.* 27(2): 265-82. Valaparaíso - Chile
- AHUMADA, R. 1998. Metales traza (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V y Zn) en los sedimentos del Seno Aysen: Línea Base y alteraciones ambientales. *Cienc. Tecnol. Mar.* (21): 75 - 88. Chile.
- ALBAIGES, J. 1977. La Contaminación del Mar por Petróleo. Partes I y II. 381 p. Barcelona - España.
- BASCOM, W. 1960. Las Playas. en: *Oceanografía - Selecciones del Scientific American*. Ed. Blume. Cap. 14. p. 140-151. Madrid - España 1978.
- CAMPBELL, P., A. LEWIS, P. CHAPMAN, A. CROWDER, W. FLETCHER, W. IMBER, S. LUOMA, P. STOKES & M. WINFREY. 1988. Biologically available metals in sediments. National Research Council of Canada. Nº 27694. 305 p.
- COMISION PERMANENTE DEL PACIFICO SUR. 1988. Seminarios y Estudios. Nº 6. CPPS. Bogotá - Colombia.
- COMISION OCEANOGRAFICA INTERGUBERNAMENTAL. 1982. Determinación de los Hidrocarburos del Petróleo en los Sedimentos. Manuales y Guías. UNESCO.
- CRISCI, J. Y M. LOPEZ. 1983. Introducción a la Teoría y Práctica de la Taxonomía Numérica. Serie de Biología. Monograf. Nº 8. Secret. Gral. de la Org. de los Estados Americanos. Washington D.C.
- DAMES & MORE. 1986. Informe de los Efectos Ambientales de los relaves Mineros descargados en la zona Costera cercana a Ite, Perú. Vol. III. Perú.
- DEAN, W. 1974. Determination of Carbonate and Organic matter in calcareous sediments and rocks by loss on ignition: comparison with others methods. *Journal of Sedimentary Petrology*. Vol. 44, N°1, p. 242-248.
- DE LA ROSA J. & J. SAIZ. 1993. Niveles de Metales Pesados en Sedimentos e Infauna asociada a la Ría de Bilbao. *Public. Esp. Instituto Español de Oceanografía*. (2): 399 - 404.
- DELGADO, C. & R. GOMERO. 1985. Algunas observaciones sobre las características de los sedimentos del área: Isla San Lorenzo - La Punta. IMARPE. Inf. Interno. Chucuito - Callao.
- DELGADO, C. & R. GOMERO. 1988. Textura, Carbono Orgánico y Carbonatos de los Sedimentos del Margen Continental Peruano. *Bol. Inst. Mar Perú*. Tomo I. P. 1 - 10.
- DELGADO, C., R. GOMERO, H. SALZWEDEL, H., L. FLORES. & G. CARBAJAL. 1987. Sedimentos Superficiales del Margen Continental Peruano. *Bol. del Inst. del Mar del Perú*. Vol. 1 (5). P. 182 - 190. Chucuito - Callao.

- DELGADO, C. & R. GOMERO. 1995. Atlas Sedimentológico de la Plataforma Continental del Perú. Inf. Inst. Mar Perú N° 116. Chucuito - Lima.
- DIAZ DEL RIO, V. 1993. Estudio Geoambiental del Mar Menor. Monografía Instituto Español de Oceanografía N°4. Madrid 223 p.
- DONAZOLLO, R. 1981. Heavy metal contamination in surface sediments from the Gulf of Venice, Italy. Mar. Poll. Bull. 12(12): 417-425.
- EL WALKLEY, S. & J. RILEY. 1961. Chemical and mineralogical studies of deep sea sediments. Geochim. Cosmochim. Acta (25): 110-146.
- ELLIS, J. & S. KANAMORI. 1977. Water pollution studies of Lake Illawara. III. Distribution of heavy metals in sediments. Aust. J. Mar. Freshwater Res. (28): 485-496.
- ENCINAS, P. 1994. Contenido de Minerales Pesados (Cd, Pb, Pb y Cu) en Sedimentos Superficiales de la Plataforma Continental de la Costa Norte del Perú. Tesis Ing. Pesquero Tecnólogo. F.O.P.C.A. Univ. Nac. Federico Villarreal. Lima.
- ESCOBAR, J. 1986. Introducción a la contaminación marina. 1986. Seminarios y Estudios COMISION PERMANENTE DEL PACIFICO SUR. CPPS. Bogotá - Colombia. (6):234-246.
- EGGIMAN, D. & P. BETZER. 1976. Descomposition and analysis of refractory oceanic suspended materials, Analytical Chemistry. (48): 886-890.
- F.A.O. 1981. Manual of Methods in Aquatic Environment Research. Part. 8 Ecological Assesment of Pollution Effects. FAO Fish. Tech. Pap. 70 p.
- FERNANDEZ, C. 1966. Geología de la Región Márquez y Ventanilla. Tesis Bachiller. U.N.M.S.M. Lima.
- FOLGER, D. 1972. Distribution of some pollutants in southern Lake Champlain, Vermont and New York. Geol. Soc. America Abs. With programs 4 (1). 16 p.
- FOLK, R. 1968. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill's Austin Ed. 177p
- FOLK, R. & WARD. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. Journal Sedimentary Petrology (27): 3-26.
- FORSTNER, U. & G. WITTMANN. 1983. Metal Pollution in the Aquatic Environment. Springer Study ed. 486 p. Germany.
- GALEHOUSE, J. 1971. Sedimentation Analisis. Cap. 4. in: Procedures in Sedimentary Petrology. Eds. Carver, RE, ed. P. 69 - 94. New York.
- GAUDETTE, H., W. FLIGHT., L. TONER & D. FOLGER. 1974. An inexpensive titration method for the determination of carbonic carbon in recent sediments. Jour. Sed. Petrology. V. 44, N°1. P. 249-253.
- GENEST, P. & P. HATCH. 1981. Heavy metals in Mercenaria mercenaria and sediments from the New Bedford Harbor region of Buzzard's Bay, Massachusetts. Bull. Environm. Contam. Toxicol. (26): 124-130.
- GOLDBERG, E. & G. ARRHENIUS. 1858. Chemistry of the Pacific pelagic sediments. Geochim. Cosmochim. Acta, (13): 153-212.

- GONZALES, A. e I. GALLO. 1987. Informe de la Ensenada de Tumaco, Bahía de Buenaventura, Isla Gorgona. Programa de investigación, vigilancia y control de la contaminación marina por hidrocarburos de petróleo en el Pacífico sudeste. Fase I. (CONPAC). Colombia.
- GREIG, R. & A. GRATH. 1977. Trace metals in sediments of Raritan Bay. *Mar. Pollut. Bull.* (8): 188-192.
- GRUPO MIXTO DE EXPERTOS EN ASPECTOS CIENTIFICOS DE LA CONTAMINACION DEL MAR (GESAMP) 1971. Report of the third Session. FAO Headquarters, Roma 22-27- GESAMP 111/19 139 p. XI Anexos.
- GROSS, M. 1972. Geologic aspects of waste solids and marine waste deposits, New York metropolitan region. *Geol. Soc. Am. Bull.* (83): 3163-3176.
- GRUPO MIXTO DE EXPERTOS EN ASPECTOS CIENTIFICOS DE LA CONTAMINACION DEL MAR (GESAMP) 1977. Impact of the oil on the marine environment. *Re. Stud. GESAMP* (6), 250 p.
- GUILLEN, O. Y R. AQUINO. 1978. Contaminación en los Puertos del Callao y Chimbote y su efecto en la productividad. *Inf. Inst. Mar Perú* N° 61. Chucuito - Callao
- GUILLEN, O., R. AQUINO, B. VALDIVIA Y R. CALIENES. 1978. Contaminación en el Puerto del Callao. *Inf. Inst. Mar Perú* N° 62.
- GUILLEN, O., C. DELGADO, Y R. POMA. 1985. Distribución de cobre, plomo, zinc y cadmio en los sedimentos del Puerto del Callao. *Inf. Inst. Mar - Proyecto OEA. La Punta - Callao.*
- GUZMAN, M. 1996. Trazas de metales en sedimentos superficiales en la Bahía del Callao - Ventanilla durante 1994. *Inf. Prog. Inst. Mar Perú* (37): 1-20.
- GUZMAN, M., O. MORON, E. DELGADO Y G. FLORES. 1997. Evaluación de la calidad del medio marino en la Bahía del Callao, 06 a 08 de agosto 1996. *Inf. Prog. Inst. Mar Perú.* (70): 3-28.
- HATCHER, P. AND S. DOUGLAS. 1977. Chemistry and Continental Margin Sedimentation. In: *Collected Reprints Atlantic Oceanography and Meteorology Laboratories.* Chap. 19. NOAA. P. 603-619.
- HIDRONAV. 1987. Derrotero de la Costa del Perú. Vol. I, 2ª Ed. Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina. Callao.
- HOLME, N. & A. Mc. INTYRE. 1971. *Methods for the Study of Marine Benthos.* First. Ed. Eds. Holme & Mc Intyre. 293 p. Great Britain.
- HOLMES, C., E. SLADE AND C. MCLERRAN. 1974. Migration and redistribution of zinc and cadmium in marine estuarine sediments. *Enviro. Sci. Technol.* 8. 255 p.
- INGRAM, R. 1971. Sieve Analysis. Cap. 3. in: *Procedures in Sedimentary Petrology.* Eds. Carver, RE, ed. P. 49 - 67. New York.
- INSTITUTO DE INVESTIGACION DEL TRANSPORTE DE CUBA. 1985. *Investigación y Control de la Contaminación Marina en la Bahía de la Habana (Proy. Cub.).* 681 p. PNUD-PNUMA-UNESCO. Cuba.

- JACINTO, M., M. GUZMAN, O. MORON Y D. GUTIERREZ. 1994. Calidad del Medio Marino en la Bahía del Callao y Ventanilla. IMARPE. Informe Técnico. D.G.I.O. - A.C.M. Chucuito - Callao.
- JACINTO, M. Y R. CABELLO. 1996. Niveles de hidrocarburos de petróleo en el ecosistema marino costero del Perú. Bahías Seleccionadas. Periodo 1996. Inf. Prog. Inst. Mar Perú N° 110. 60 P.
- JACINTO, M., J. CHAVEZ, C. MARTINEZ Y M. GUZMÁN. 1997. Evaluación de la calidad en medio marina en la bahía de Tatará. . Inf. Prog. Inst. Mar Perú. (41):19-35. Chucuito, Callao.
- JACINTO, M., J. CHAVEZ, O. MORON, S. SANCHEZ Y J. CORDOVA. 1997. Evaluación de la calidad del ambiente marino en la bahía Ferrol – Chimbote. Inf. Prog. Inst. Mar Perú (69): 15-46. Chucuito, Callao.
- JOHNSON, W. & J. MAXWELL. 1981. Rock and mineral analysis. In: Chemical Analysis. (27): 92-101. John Wiley and Sons. Ed. New York.
- JUNGBLUTH, R. 1977. Investigación Sedimentológica y Geoquímica de los Circones del Litoral del Santa; Departamentos de Ancash y La Libertad. Tesis. Ing. Geólogo. F.I.G.M.M. UNI. Lima.
- KRUMGAIZ, B., G. FAINSHTEIN & A. COHEN. (1992). Grainsize effect on anthropogenic trace metal and organic matter distribution in marine sediments. In: The Science of the Total Environmet. (116): 15-30.
- LOPEZ, J. 1987. Caracterización de los Sedimentos Superficiales del Fondo del Río de La Plata. en: 2º Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar. P. 33 - 37. Lima.
- LOPEZ, T. 1982. Determinación de metales pesados (Cu, Fe, Pb y Cd) en agua y sedimentos marinos por espectrofotometría de absorción atómica en la Bahía de Ite. Univ. Nac. Del Callo. Tesis. 119 p.
- LORING, D. 1979. Baseline levels of transition and heavy metals in bottom sediments of the Bay of Fundy. Proc. N.S. Inst. Sci. (29):335-346.
- MC. BRIDE, E. 1971. Tratamiento Matemático de los datos de la distribución del lamaño. in: Procedures in Sedimentary Petrology. Eds. Carver, RE, ed. P. 109 - 127. New York.
- MARRUGO A. Y I. GALLO. 1987. Informe de Ensenada de Tumaco, Bahía de Buenaventura, Isla Gorgona. Programa de investigación, vigilancia y control de la contaminación marina por hidrocarburos de petróleo en el pacífico sudeste. Fase I. CONPACSE. Centro de Control de la Contaminación del pacífico. 20 p. Colombia.
- NUÑEZ DEL PRADO, H. 1991. Análisis sedimentológico preliminar y evolución vertical de facies de la serie Jurásico-Cretáceo Inferior en la playa Ventanilla (norte de Lima). En: Volumen de resúmenes extendidos del VII Congreso Peruano de Geología. P. 49-51.
- NUÑEZ DEL PRADO, H. 1991. Estratigrafía de la megasecuencia Lima (Bernasiano-Valanginiense superior). En: Volumen de resúmenes extendidos del VII Congreso Peruano de Geología. P. 655-658.

- OROZCO, R., S. CASTILLO, E. FERNÁNDEZ, C. FIERRO, O. MORON, J. SOLIS Y G. FLORES 1999. Contaminación sobre el ecosistema marino del Callao en abril y setiembre 1997. *Inf. Prog. Inst. Mar Perú*.
- PALACIOS, O., J. CALDAS Y CH. VELA. 1992. Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica. Serie A. Carta Geológica Nacional. Boletín del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico Nº 43. 162 p. Lima.
- PNUMA/CPPS/ UNIVERSIDAD DE CONCEPCION. 1986. Programa de vigilancia de Contaminantes en la Bahía de Concepción VIII Región, Chile. p. 24, 29-32. Chile.
- PORTURAS, F. 1974. Estudio Sedimentológico de la Playa Ventanilla (Prov. Constitucional del Callao). Tesis de Grado. U.N.M.S.M. Lima.
- RASCHID, M. 1975. The importance of organic compounds in geological oceanography. *Bedford Inst. of Oceanogr. Ocean Sci., Rev.* (3): 43-51.
- RAPIN, F. 1983. Speciation Of heavy metals in a sediment core from Bahie de Nice (Mediterranean Sea). International Conference "Heavy metals in the Environment". (2): 1005-1008.
- RAY, S. & S. MACKNIGHT. 1984. Trace metal distribution in Saint John harbour sediments. *Mar. Pollut. Bull.* 15 (1): 12-18.
- RENARD, k. & L. LANE. 1975. Sediment yield as related to stochastic model of sphemeral runoff. In: Present and Prospective Technology for Predicting yields and sources. Ref. ARS-1-40, U.S. Dep. Of Agriculture. Agricultural Research Station, Southern Region, New Orleans.
- RIVERA, R., G. PETERSEN. Y M. RIVERA. 1975. Estratigrafía de la costa de Lima. *Bol. Soc. Geol. del Perú.* (45):159-186.
- ROSENZWEIG, A. 1947. Estudio Geológico de la Isla San Lorenzo e Islas Vecinas. Prov. Const. del Callao. Tesis de Bachiller. U.N.M.S.M. Lima.
- ROSENZWEIG, A. 1947. Algunos aspectos de la Geología de la Isla San Lorenzo e Islas Vecinas. Prov. Const. del Callao. Tesis de Grado. U.N.M.S.M. Lima.
- ROSENZWEIG, A. 1953. Geología de la isla San Lorenzo. *Bol. Ins. Nac. Inv. y Forn. Min.* (7): 5-30. Perú.
- RUIZ DE LA ROSA Y J. SILES. 1993. Niveles de metales pesados en sedimentos e infauna asociada a la Ría de Bilbao. *Pub. Espec. Inst. Esp. Oceanogr.* (11) 399-403.
- SANCHEZ, G., E. ENRIQUEZ, O. MORON, J. SOLIS Y F. CHANG. 1998. Características del medio marino, fuentes y evaluación de la contaminación en la Bahía de Ilo, costa de Ilo a río Sama. 28 de marzo a 01 de abril 1995. *Inf. Prog. Inst. Mar Perú.* (84): 3-33.
- SALVAT. 1975. La Contaminación. Salvat Eds. Barcelona-España 144 p.
- SHEPARD, F. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology* 24 (3):151-158.
- SINEX, S., A. CANTILLO AND G. HELZ. 1980. Accuracy of acid extraction methods for trace metals inn sediments. *Anal. Chem.* 52(14): 2342-2346.

- STENBERG, B., M. PELL. & L. TORTENSSON. 1998. Integrated Evaluation of Variation in Biological, Chemical and Physical Soil Properties. In: *Ambio*. (1): 9-15.
- STOFFERS, P., SUMMERHAYES, U. FORSTNER AND S. PATCHINEELAM. 1977. Cooper and other heavy metal contamination in sediments from New Bedford Harbor, Massachusetts, a preliminary note. *Environ. Sci. Technol.* (11):819-821.
- STOCKES, G. 1851. On the effect of the internal friction of fluids on the motion pendulums. *Trans. Cambridge Philosophical Soc.* 9 (2): 8-106.
- TEVES, N. Y S. GAGLIANO. 1970. Geología Litoral y Submarina de la Zona comprendida entre el río Rimac y Playa Santa Rosa, Ancón, Lima - Perú. *Anales del 1º Congreso Latinoamericano de Geología* (4): 37 - 54. Lima.
- TEVES, N. & W. SMITH. 1970. Geología Marina de Pisco y sus alrededores. *Rev. Prog. Acad. de Oceanografía y Pesquería*. N° 1. P. 76 - 79. Lima.
- TEVES, N. 1991. Las variaciones de las orillas en el litoral peruano. En: *Volumen de resúmenes extendidos del VII Congreso Peruano de Geología*. P. 521-523.
- THORNE, L. & G. NICKLESS. 1981. The relation between heavy metals and particle size fractions within the Severn estuary (U.K.) intertidal sediments. *The Science of the Total Environment*. (19): 207-213.
- TORTENSSON, L., M. PELL AND B. STENBERG. 1998. Need of a Strategy for Evaluation of Arable Soil Quality. In *Ambio*. Vol. 27. N° 1, p. 4-8.
- TUREKIAN K. & K. WEDEPOHL. 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geol. Soc. Am. Bull.* (72): 175-191.
- VELAZCO, F. 1994. Características de los Sedimentos Superficiales del Fondo Marino en el Area del Callao y Ventanilla. IMARPE. Inf. Interno. Callao.
- WALKLEY, A. & BLACK, I. 1934. An examination of the Degthareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* (27): 29-38.
- WEDEPOHL, K. 1960. 1960. Supreanalytische Untersuchungen and tiefseentonen aus dem Atlantik, Ein Beitrag zue Deutung der Geochemischen Sonderstellung von pelagischen tonen. *Geochim. Cosmochim. Acta*. (18): 200-231
- WENTWORTH, . 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Jour. Geology* (30): 377-392.
- WYRTKI, K. 1963. The horizontal and vertical yield of motion in the Peru Current. *Bull. of Scripps Institution of Oceanography*. (8):312-346.
- YIM, W. & FUNG, K. 1981. Heavy metals in marine sediments of Hong Kong. *Hong Kong Engineer*, October. P. 33-39.
- YOUNG, E. 1954. Trace elements in recent marine sediments. *Geol. Soc. Am. Bull.* (65): 13-29.
- ZUTA, S. Y O. GUILLEN. 1970. Oceanografía de las Aguas Costeras del Perú. *Bol. Inst. del Mar del Perú*. 2 (5): 161-323. Callao.

ANEXOS

ANEXO 1: TABLAS

TABLA I

DISTRIBUCION DE ELEMENTOS TRAZA EN SEDIMENTOS MARINOS Y ROCAS IGNEAS (HATCHER AND DOUGLAS, 1977)

ELEMENTO	SIMBOLO	ROCA IGNEA (*) (ppm)	NEARSHORE SEDIMENT (**) (ppm)	DEEP SEA CLAYS (***) (ppm)
Cromo	Cr	65	100	77
Vanadio	V	130	130	330
Cobre	Cu	42	48	570
Plomo	Pb	13	20	160
Niquel	Ni	50	55	290
Cobalto	Co	19	13	120
Estaño	Sn	2	21	20
Bario	Ba	530	750	2200
Estroncio	Sr	340	<250	590
Circonio	Zr	150	160	150
Galio	Ga	17	19	20

(*) Contenido promedio de elementos traza en basaltos, granitos y granodioritas. Adaptado de Turekian and Wedepohl (1961).

(**) Adaptado de Wedepohl (1960), con excepción del Sn y Sr que fueron tomados del Wakeel and Riley (1961).

(***) Adaptado del El Wakeel and Riley (1961), Goldberg and Arhenius (1958), and Young (1954)

TABLA II

UBICACION DE ESTACIONES DE MUESTREO Y DESCRIPCION VISUAL

EST N°	POSICION		PROF (m)	DESCRIPCION VISUAL (IN SITU)	FECHA	METODO DE MUESTREO
	LATITUD	LONGITUD				
1	12°06'14"	77°10'30"	10	arena gris verdosa, frag. conchas	28/03/94	Draga
2	12°06'30"	77°09'18"	17	cantos rodados heterométricos.	28/03/94	Draga
3	12°07'29"	77°09'31"	22	arena gris negra, pocos frag. calcareos	28/03/94	Draga
4	12°05'30"	77°09'30"	20	fango gris verdoso, olor H ₂ S fuerte	28/03/94	Draga
5	12°05'15"	77°10'28"	11	arena gris verdosa, olor H ₂ S, frag. Calc.	28/03/94	Draga
6	12°05'14"	77°11'31"	6	arena verdosa, frag. conchas	28/03/94	Draga
7	12°00'11"	77°08'32"	6	fango gris negro, olor H ₂ S fuerte	29/03/94	Draga
8	12°00'15"	77°09'45"	10	fango gris negro, olor H ₂ S fuerte	29/03/94	Draga
9	12°00'15"	77°10'45"	25	fango gris negro, olor H ₂ S fuerte	29/03/94	Draga
10	12°01'40"	77°10'42"	33	fango verde oliva, olor H ₂ S fuerte	29/03/94	Draga
11	12°01'38"	77°09'35"	17	fango gris negro, olor H ₂ S fuerte	29/03/94	Draga
12	12°01'30"	77°08'40"	4	fango gris plomo y marron, olor H ₂ S lig.	29/03/94	Draga
13	12°02'25"	77°08'52"	12	fango verde oscuro, fetido y con aceite	29/03/94	Draga
14	12°03'22"	77°09'30"	11	fango oliva, olor H ₂ S fuerte, escamas	29/03/94	Draga
15	12°03'22"	77°10'15"	12	fango oliva, olor H ₂ S fuerte, escamas	29/03/94	Draga
16	12°03'22"	77°11'10"	13	fango oliva, olor H ₂ S fuerte, escamas	29/03/94	Draga
17	11°52'42"	77°09'37"	15	arena gris negra, lig. olor H ₂ S, frag. Calc.	30/03/94	Draga
18	11°52'46"	77°10'30"	20	arena gris negra, lig. olor H ₂ S	30/03/94	Draga
19	11°52'58"	77°11'30"	21	arena gris negra, lig. olor H ₂ S, con micas	30/03/94	Draga
20	11°55'34"	77°10'45"	19	fango gris verdoso, olor H ₂ S fuerte	30/03/94	Draga
21	11°55'38"	77°09'52"	14	arena gris negra, lig. olor H ₂ S	30/03/94	Draga
22	11°55'25"	77°08'45"	11	limo, gris oscuro lig. marron, micas	30/03/94	Draga
23	11°57'37"	77°08'30"	10	fango gris negro, olor H ₂ S fuerte	30/03/94	Draga
24	11°57'58"	77°09'37"	11	fango gris negro, olor H ₂ S fuerte	30/03/94	Draga
25	11°57'02"	77°10'30"	14	fango gris negro, olor H ₂ S fuerte	30/03/94	Draga
26	11°56'11"	77°08'18"	5	arena marron amarillenta, sin olor	30/03/94	Draga
7A	12°00'11"	77°08'24"	6	fango gris negro, olor H ₂ S fuerte	23/03/94	Draga
7B	12°00'10"	77°08'15"	5	fango verde oliva, olor fetido	23/03/94	Buceo
7C	12°00'09"	77°08'08"	6	fango gris verdoso, olor H ₂ S fuerte	23/03/94	Draga
7T	12°00'08"	77°08'00"	0	arena gris clara, con minerales oscuros	23/03/94	Playa
14A	12°03'22"	77°09'18"	9	fango verde oliva, olor H ₂ S fuerte, algas	23/03/94	Draga
14B	12°03'22"	77°09'26"	9	fango gris negro, olor H ₂ S fuerte	23/03/94	Buceo
17A	11°52'40"	77°09'27"	13	arena gris verdosa, lig. olor H ₂ S, micas	23/03/94	Draga
17B	11°52'39"	77°09'20"	11	arena gris verdosa, min. oscuros y micas	23/03/94	Draga
17T	11°52'37"	79°09'06"	0	arena gris clara con minerales oscuros	23/03/94	Espátula
17N	11°50'30"	77°10'15"	0	arena gris clara, min. oscuros y micas	23/03/94	Espátula
17S	12°53'42"	77°08'39"	0	arena gris clara, min. oscuros y micas	23/03/94	Espátula
22A	11°55'24"	77°08'30"	8	arena gris oscura, min. oscuros y micas	23/03/94	Espátula
23T	11°57'30"	77°07'57"	0	cantos rodados heterométricos	23/03/94	Espátula
C1	12°03'44"	77°09'27"	4	arena verde oscura, con restos calcareos	01/09/94	Buceo
C2	12°03'50"	77°09'35"	4	arena verde oscura, conchuelas y algas	01/09/94	Buceo
C3	12°03'49"	77°09'55"	4	cantos rodados heterométricos	01/09/94	Buceo
C4	12°04'25"	77°10'35"	2	arena gris clara verdosa, frag. de concha	23/03/94	Buceo
C5	12°04'35"	77°10'23"	3	cantos rodados heterométricos	23/03/94	Buceo
C6	12°04'06"	77°10'36"	4	arena clara con frag. conchas y cantos	23/03/94	Draga
C7	12°04'44"	77°10'46"	4	arena gris clara verdosa, frag. Calc.	23/03/94	Buceo
C8	12°04'00"	77°11'03"	10	fango verde oliva, olor H ₂ S fuerte	23/03/94	Draga

TABLA III

RESULTADOS DE CLASIFICACION TEXTURAL Y PARAMETROS ESTADISTICOS EN SEDIMENTOS MARINOS

EST.	GRANULOMETRIA(%)				CLASIFICACION TEXTURAL	PARAMETROS ESTADISTICOS (FOLK)				
	GRAVA	ARENA	LIMO	ARCILLA		Md	M	S	Sk	K
1	0.16	94.62	0.85	4.37	Arena	2.45	2.50	0.75	0.38	2.91
3	0.00	75.50	13.64	10.86	Arena	3.70	3.85	1.25	0.65	5.33
4	0.00	47.01	24.05	28.94	Fango arenoso	4.40	5.80	2.71	0.66	0.57
5	0.05	81.49	8.84	9.62	Arena	3.10	3.25	1.81	0.39	2.70
6	0.00	91.16	3.43	5.41	Arena	2.55	2.47	1.88	0.21	2.68
7	0.00	4.88	66.01	29.11	Limo arcilloso	5.45	6.50	2.30	0.60	0.65
8	0.00	26.50	55.54	17.96	Limo arenoso	4.45	5.78	2.34	0.75	1.34
9	0.00	1.07	44.86	54.07	Arcilla limosa	8.45	8.15	2.06	-0.15	0.78
10	0.00	0.66	39.19	60.15	Arcilla limoso	8.75	8.75	1.64	-0.06	1.18
11	0.00	0.40	44.28	55.32	Arcilla limosa	8.50	8.40	1.81	-0.05	0.80
12	0.00	10.61	70.72	18.67	Limo arcilloso	4.70	6.00	2.27	0.75	3.36
13	0.00	7.41	40.56	52.03	Arcilla limosa	8.25	8.02	2.33	-0.19	0.94
14	0.00	1.55	44.57	53.88	Arcilla limosa	8.45	8.32	2.02	-0.14	0.91
15	0.00	6.76	40.72	52.52	Arcilla limosa	8.25	7.95	2.31	-0.20	0.79
16	0.00	42.62	25.97	31.41	Fango arenoso	4.75	5.98	2.77	0.58	0.56
17	0.00	76.46	13.01	10.53	Arena	3.65	3.77	1.27	0.59	5.45
18	0.00	70.67	20.39	8.94	Arena limosa	3.70	3.87	1.30	0.60	3.52
19	0.00	70.87	21.58	7.55	Arena limosa	3.75	3.87	1.21	0.58	3.84
20	0.00	6.62	62.48	30.90	Limo arcilloso	5.45	6.43	2.39	0.53	0.62
21	0.00	60.63	30.92	8.45	Arena limosa	3.90	3.97	1.18	0.52	4.69
22	0.00	38.33	46.15	15.52	Limo arenoso	4.25	5.13	2.06	0.69	3.23
23	0.00	41.16	34.73	24.11	Fango arenoso	4.80	5.88	2.66	0.54	0.75
24	0.00	49.18	26.26	24.56	Fango arenoso	4.25	5.77	2.61	0.75	0.76
25	0.00	5.68	57.15	37.17	Limo arcilloso	6.75	7.22	2.36	0.21	0.75
26	0.00	45.28	43.65	11.07	Arena limosa	4.05	4.12	1.42	0.42	3.08
7A	0.00	12.96	55.10	31.94	Limo arcilloso	6.15	6.72	2.48	0.31	0.63
7B	0.00	3.30	41.87	54.83	Arcilla limosa	8.35	8.00	2.22	-0.21	0.86
7C	0.00	62.67	15.03	17.35	Arena arcillosa	3.80	5.38	2.63	0.74	4.12
7T	0.00	95.52	1.12	3.36	Arena	2.15	2.17	0.65	0.21	1.48
14A	0.00	6.04	40.84	53.12	Arcilla limosa	8.50	8.14	2.36	-0.23	0.92
14B	0.00	16.02	54.30	29.88	Limo arcilloso	5.60	6.43	2.43	0.42	0.57
17A	0.00	84.64	8.00	7.36	Arena	3.57	3.57	1.20	0.40	5.34
17B	0.00	87.89	7.96	4.15	Arena	3.61	3.59	0.42	0.04	1.27
17T	0.00	95.27	0.92	3.81	Arena	2.38	2.41	0.47	0.26	1.52
17N	0.00	95.23	1.05	3.72	Arena	2.61	2.59	0.47	0.07	1.68
17S	0.00	95.66	0.93	3.41	Arena	2.11	2.14	0.48	0.19	1.32
22A	0.00	85.53	5.70	8.77	Arena	3.48	3.53	1.22	0.51	5.10
C1	0.73	78.90	6.09	14.28	Arena	3.35	4.58	2.24	0.81	5.12
C2	0.40	78.16	10.40	11.04	Arena	2.95	3.53	1.91	0.66	3.44
C4	0.01	93.92	0.82	5.24	Arena	3.05	3.03	1.82	0.38	5.39
C6	0.00	89.34	1.16	10.00	Arena	3.25	3.27	1.23	0.46	7.22
C7	0.13	89.98	5.54	4.34	Arena	3.45	3.49	0.73	0.38	2.91
C8	0.00	23.23	28.17	48.60	Fango arcilloso	7.80	7.17	2.88	-0.24	0.66

TABLA IV

DISTRIBUCION DE COEFICIENTES ESTADISTICOS
TEXTURALES EN EL AREA DE ESTUDIO

	NW DE BAHIA MIRAFLORES		BAHIA DEL CALLAO		VENTANILLA		ESCALA
	TOTAL EST.	(%)	TOTAL EST.	(%)	TOTAL EST.	(%)	
MEDIA (Md)							
-2.0 a -1.0							
-1.0 a 1.0							
0.0 a 1.0							
1.0 a 2.0							
2.0 a 3.0	2	40	1	3.3	3	43	
3.0 a 4.0	2	40	5	13	4	57	
Mayor a 4.0	1	20	25	83			
SELECCION (S)							
Menor a 0.35							muy buena
0.35 a 0.50					2	29	buena
0.50 a 1.00	1	20	2	6.6	1	14	moderada
1.00 a 2.00	3	60	8	27	4	57	pobre
2.00 a 4.00	1	20	20	67			muy pobre
Mayor a 4.00							extrem. Pobre
ASIMETRIA (Sk)							
-1.00 a -0.30							muy negativa
-0.30 a -0.10			7	23			negativa
-0.10 a 0.10			2	6.7	1	14	casi simétrica
0.10 a 0.30	1	20	1	3.3	2	29	positiva
0.30 a 1.00	4	80	20	67	4	57	muy positiva
CURTOSIS (K)							
Menor a 0.67	1	20	6	20			muy platicurtica
0.67 a 0.90			7	23			platicurtica
0.90 a 1.11			3	10			mesocurtica
1.11 a 1.50			3	10	1	14	leptocurtica
1.50 a 3.00	3	60	1	3.3	2	29	muy leptocurtica
Mayor a 3.00	1	20	10	33	4	57	extrem. leptocurtica

TABLA V

RESULTADOS DE LA OBSERVACION AL MICROSCOPICO

PORCENTAJES

MINERALES Y OTROS	E-1	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12	E-13	E-14	MINERALES Y OTROS
Cuarzo	49	55	89	68	56	50	58	7		5	39	52		Cuarzo
Plagioclasas	25	31	15	10	17	19	8	8	5	3	20	19	8	Plagioclasas
Granate	1	4	2	3	3	4	3	1			4	6		Granate
Biotita	2		1	3	3	19	24	35	60	75	14	5	16	Biotita
Horblenda	11	6	9	9	7	3	5	3	4		8	6	4	Horblenda
Magnetita	2		1	2	2			2	1	2	3	2		Magnetita
Epidota	1	1	2		2	2					2	3	1	Epidota
Hematita		2		2		2	1	2			6	3	1	Hematita
Ortosa	1	1	1	2	2	1		1			3			Ortosa
Calcita				1				2			1			Calcita
Turmalina clorita														Turmalina clorita
Thioplaca									5	10		2	7	Thioplaca
Diatomea								39	25	5			63	Diatomea
Caparazón	8				8		1							Caparazón
Fluorita					1									Fluorita
Plástico												2		Plástico

TABLA VI

RESULTADOS DE ANALISIS GEOQUIMICO

EST. N°	C - Org. (%)	M.O.T. (%)	CBTOS. (%)	METALES TRAZA				H.A.T. (ug/g)
				Cu (ug/g)	Pb (ug/g)	Cd (ug/g)	Fe (%)	
1	0.12	1.33	10.28	13.77	51.46	0.98	0.47	0.07
3	0.28	1.71	2.68	14.65	47.20	0.84	1.36	
4	1.13	5.14	6.62	33.58	84.71	2.68	0.84	
5	0.79	4.63	5.44	18.01	58.71	2.04	0.24	
6	0.70	3.54	4.84	19.06	49.92	1.62	0.58	
7	1.10	4.53	6.65	255.43	411.21	3.50	2.08	
8	0.87	3.64	4.49	109.76	269.05	3.12	1.72	2.20
9	2.74	11.77	12.56	16.18	490.37	3.60	2.36	
10	2.68	11.40	9.17	145.34	235.52	2.41	3.37	0.43
11	1.83	9.02	6.02	136.08	526.86	3.02	2.74	
12	0.49	1.88	4.20	77.42	302.88	2.82	2.62	0.35
13	2.45	8.43	6.39	192.29	311.08	3.74	2.50	6.85
14	2.49	9.35	8.81	137.26	207.14	4.32	2.00	
15	1.91	8.92	8.05	82.50	105.66	3.56	2.28	
16	1.15	7.59	8.10	48.08	78.24	3.48	1.74	1.23
17	0.22	1.43	2.38				0.91	0.21
18	0.50	1.89	1.84	34.12	45.91	1.40	3.39	
19	0.31	1.92	1.84	31.16	39.20	1.21	3.18	0.15
20	1.51	3.42	8.63	97.16	108.04	2.62	2.44	1.07
21	0.33	1.79	2.03	52.86	59.64	1.41	2.75	
22	0.35	2.88	2.29	87.34	65.69	1.32	2.74	0.28
23	2.26	7.42	5.33	129.66	132.32	4.00	3.22	1.17
24	1.13	3.85	6.21	138.73	277.83	3.44	3.54	
25	4.25	7.58	6.85	187.20	401.91	5.04	2.62	0.79
26	0.20	2.40	2.82					
C1	0.77	4.55	12.24					
C2	0.87	5.61	18.13					
C4	0.26	2.83	38.87					
C7	0.45	3.75	12.22					
C6	0.87	2.26	22.5					
C8	2.69	7.22	15.31					
7A	1.03	4.32	5.23					
7B	3.04	9.53	10.07					
7C	0.59	1.84	4.38					
7T	0.73	0.92	1.33					
14A	3.00	9.33	9.08					
14B	0.51	2.20	5.09					
17A	0.22	0.60	3.24					
17B	0.22	1.11	2.54					
17T	0.63	0.95	2.15					
17N	0.64	1.07	1.71					
17S	0.65	1.14	1.52					
22A	0.24	1.70	2.23					
X	1.14	4.38	7.26	89.46	188.72	2.70	2.15	1.23
S	1.01	3.21	6.79	67.20	156.52	1.17	0.98	1.87
CV(%)	87.86	73.29	93.49	75.12	82.94	43.34	45.54	151.92

TABLA VII COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE LAS VARIABLES ESTUDIADAS
(SIN EL ANALISIS DE HIDROCARBUROS AROMATICOS TOTALES)

	Cd	Pb	Cu	Fe	C-Org.	M.O.T.	Cbtos.	Limo/Arc.	<125 mm
Cd	1								
Pb	0.64	1							
Cu	0.66	0.62	1						
Fe	0.24	0.31	0.43	1					
C-Org.	0.82	0.60	0.55	0.29	1				
M.O.T.	0.69	0.55	0.37	0.19	0.83	1			
Cbtos.	0.49	0.49	0.14	-0.19	0.56	0.67	1		
Limo/Arc.	0.73	0.73	0.68	0.45	0.70	0.68	0.45	1	
<125 mm	0.41	0.35	0.42	0.70	0.33	0.30	-0.16	0.65	1

TABLA VIII COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE LAS VARIABLES ESTUDIADAS
(INCLUIDO EL ANALISIS POR HIDROCARBUROS AROMATICOS TOTALES)

	Cd	Pb	Cu	Fe	H.A.T.	C-Org.	M.O.T.	Cbtos.	Limo/Arc.	<125 mm
Cd	1									
Pb	0.71	1								
Cu	0.74	0.78	1							
Fe	0.22	0.19	0.46	1						
H.A.T.	0.41	0.41	0.58	-0.01	1					
C-Org.	0.80	0.67	0.86	0.39	0.30	1				
M.O.T.	0.60	0.41	0.70	0.41	0.37	0.79	1			
Cbtos.	0.14	0.04	0.06	-0.46	0.04	0.32	0.38	1		
Limo/Arc.	0.62	0.73	0.78	0.51	0.35	0.63	0.54	0.06	1	
<125 mm	0.46	0.36	0.49	0.77	0.21	0.35	0.38	-0.49	0.71	1

TABLA IX

COMPARACION DE CONTENIDOS DE METALES E HIDROCARBUROS EN
DIFERENTES BAHIAS DEL PERU Y EL MUNDO

BAHIAS	Cd	Cu	Fe	Pb	HAT
Corpus Christi Bay, EEUU (***) (Holmes et al, 1974)	130 ppm	45 ppm		20 ppm	
Illawara, Australia (Ellis and Kanakori, 1977)	0.1-4.3	1-127	0.1-4.9	0.1 - 115	
New Bedford, EEUU (Stoffers et al, 1977)	1.4-52	117-3136	—	104 - 818	
Bahía de Raritán (Greig y Grath, 1977)***	1.5 ppm	1230 ppm		985 ppm	
Fundy, Canada (Loring, 1979)	0.03-0.52	5-32.0	—	8 - 42.0	
Chesapeake, EEUU (Sinex et al, 1980)	0.8	58	4.6	91	
Hong Kong (Ying and Fung, 1981)	—	3-176	0.19-5.12	13 - 158	
Estuario Severn Ing. (Thorne and Nickless, 1981)	0.6-5.0	5-60.6	0.20-0.85	10.6 - 94.2	
Venecla, Italia (Donazollo et al, 1971)	0.5-4.0	2.5-45	0.001-2.9	10.0 - 88.0	
Niza, Francia (Rapin, 1983)	0.3	223	1.09	108	
Saint John, Canadá (Ray and Macknigh, 1984)	0.01-0.81	5.8-106	—	6.3 - 66.6	
Habana, Cuba (González et al, 1985)	1.73-8.45	77-355	1.74-3.51	86 - 397	
Haifa, Israel (Krumgaiz et al, 1982)	0.26-6.44	21.41-109.03	0.709-2.318	43.02 - 93	
San Vicente, Chile (Ahumada, 1992)***	2.37	29.43		11.98	
Seno Aysén, Chile (Ahumada, 1998)***	0.33* - 0.83**	23.75* - 44.5**		17.5* - 32.17**	
Ensenada de Tumaco, Colombia (Marrugo y Gallo, 1987)					0.00-3.91
Bahía de Buenaventura, Colombia (Marrugo y Gallo, 1987)					0.00-0.55
Isla Gorgona, Colombia (Marrugo y Gallo, 1987)					0.00-0.33
Talara (Jacinto y Cabello, 1996)					0.13-19.63
Talara (Jacinto et al., 1998)		12.98-49.53			0.11-11.93
Paíta (Jacinto y Cabello, 1996)					0.18-6.10
Bayovar (Jacinto y Cabello, 1996)					<0.10-0.23
Ferrol (Jacinto y Cabello, 1996)					0.5-20.21
Ferrol (Jacinto et al., 1997)	1.14-12.88	28.74-108.07		26.81 - 133.78	0.5-7.57
Prisco (Jacinto y Cabello, 1996)					<0.10-3.57
Mollendo (Jacinto y Cabello, 1996)					<0.10-0.15
Ilo (Jacinto y Cabello, 1996)					0.18-0.99
Ite, Perú *** (López, 1982)	1.3 ppm	1320 ppm		14 ppm	
Ite, Perú (Dames and More, 1985)		0.28-1400 ppm	1.8-5.4	11-38 ppm	
Ite (Jacinto y Cabello, 1996)					<0.01-0.08
Ilo - Ite (Sanchez et al, 1988)		33.7-1280.68 ppm		8 - 25 ppm	
Callao (Guillén et al, 1987; 1985) ***					
Frente a Acapulco	4.4 ppm	127.8 ppm		158.4 ppm	
Frente al río Rimac	6.2 ppm	109.4 ppm		157.7 ppm	
Frente a Rada Interior	6.4 ppm	129.3 ppm		201.7 ppm	
Callao (Jacinto y Cabello, 1996)					0.06-33.38
Callao (Guzmán et al, 1997)	<0.67-8.05				
Callao (Este trabajo)	0.84-5.04	13.77-255.43	0.24-3.54	39.2 - 526.86	

HAT: Hidrocarburos aromáticos totales expresados en unidades de criseno por gramo de muestra seca

Concentraciones de Cd, Cu y Pb en sedimentos marinos (ug/g de sedimento seco) y Fe en (%)

*** Valores Promedio: Cd* (+0.13), Cd** (+0.22); Pb* (+3.11), Pb** (+8.93), Cu* (+1.71), Cu** (+44.5)

ANEXO 2: FIGURAS

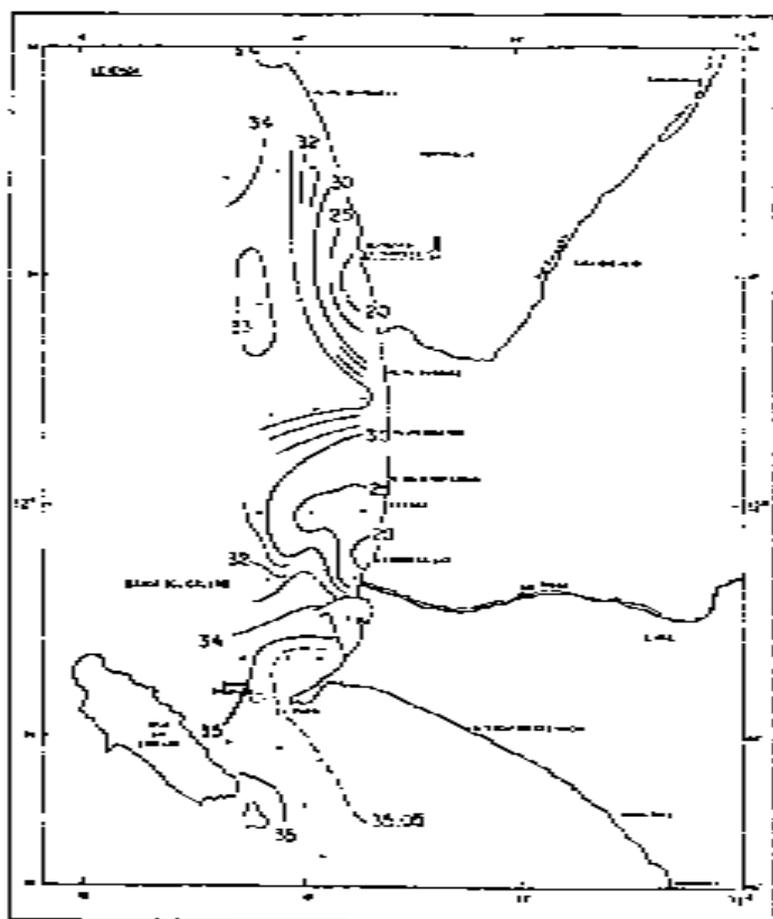


Figura 2a. Salinidad superficial

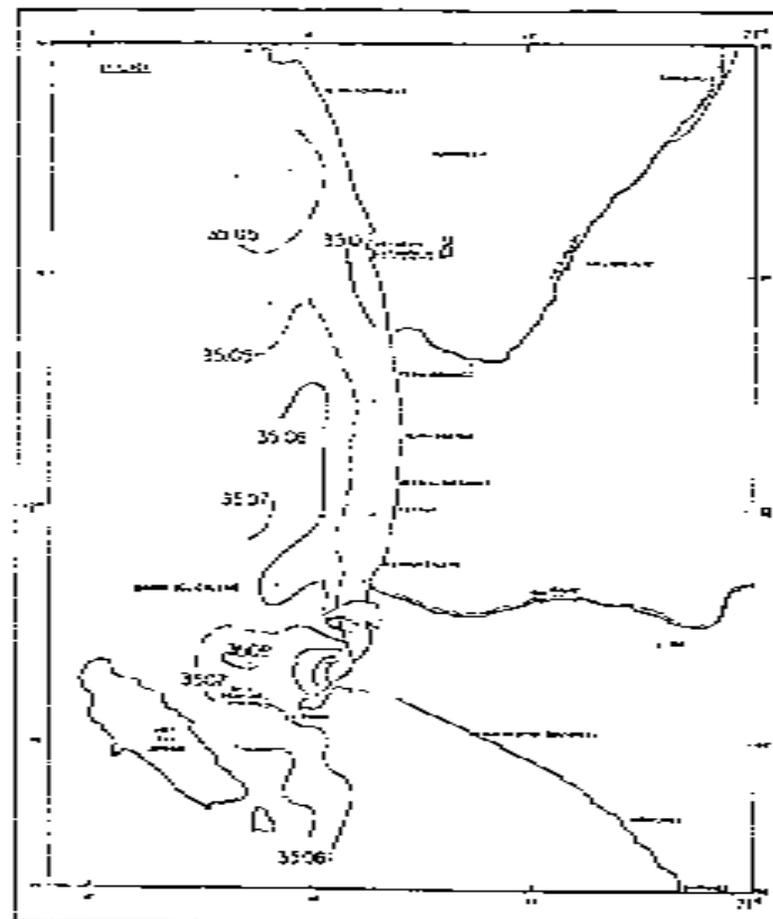


Figura 2b. Salinidad de fondo

Figura 2. Salinidad superficial y de fondo en el área de estudio (Jacinto *et al.*, 1994)

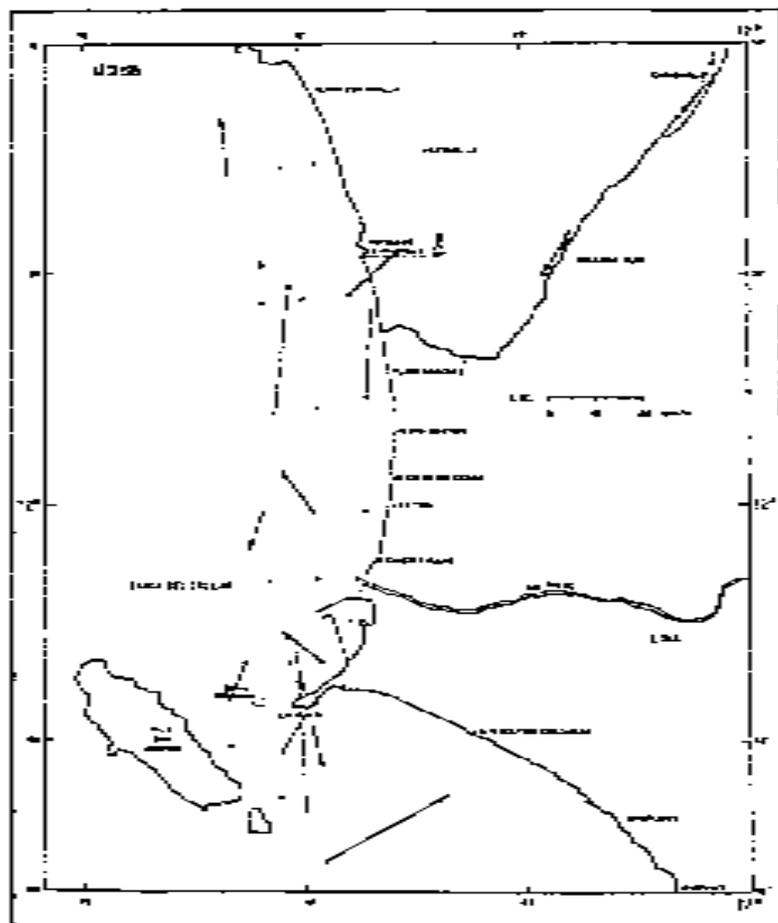


Figura 3a. Corriente superficial

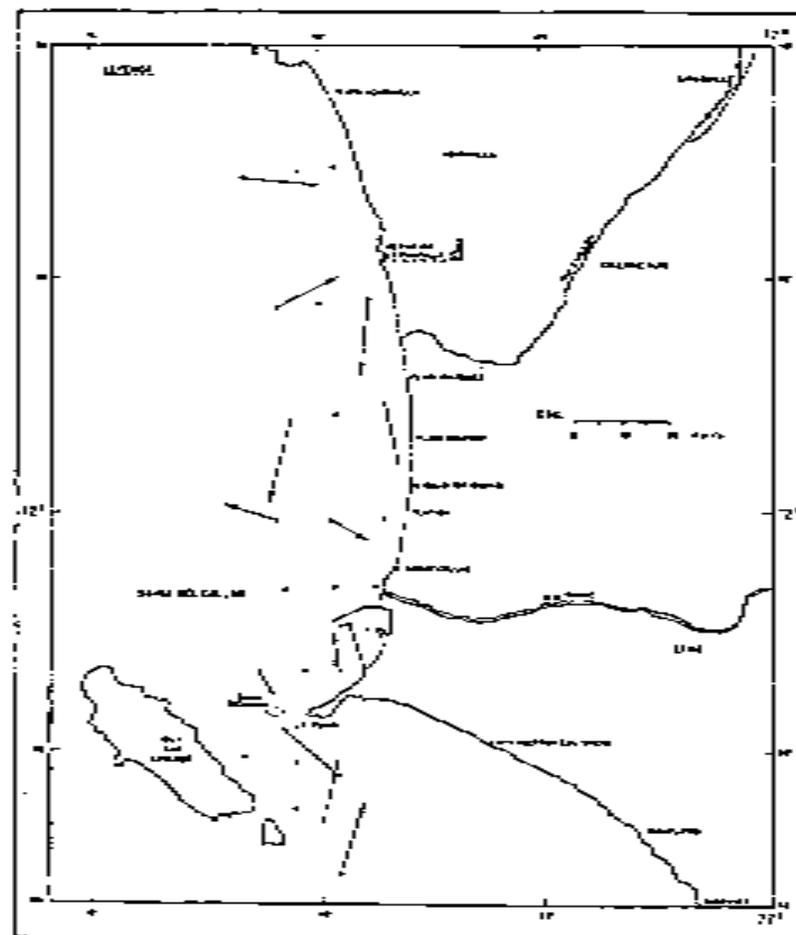


Figura 3b. Corriente de fondo

Figura 3. Corrientes en el área de estudio (Jacinto et al., 1984)

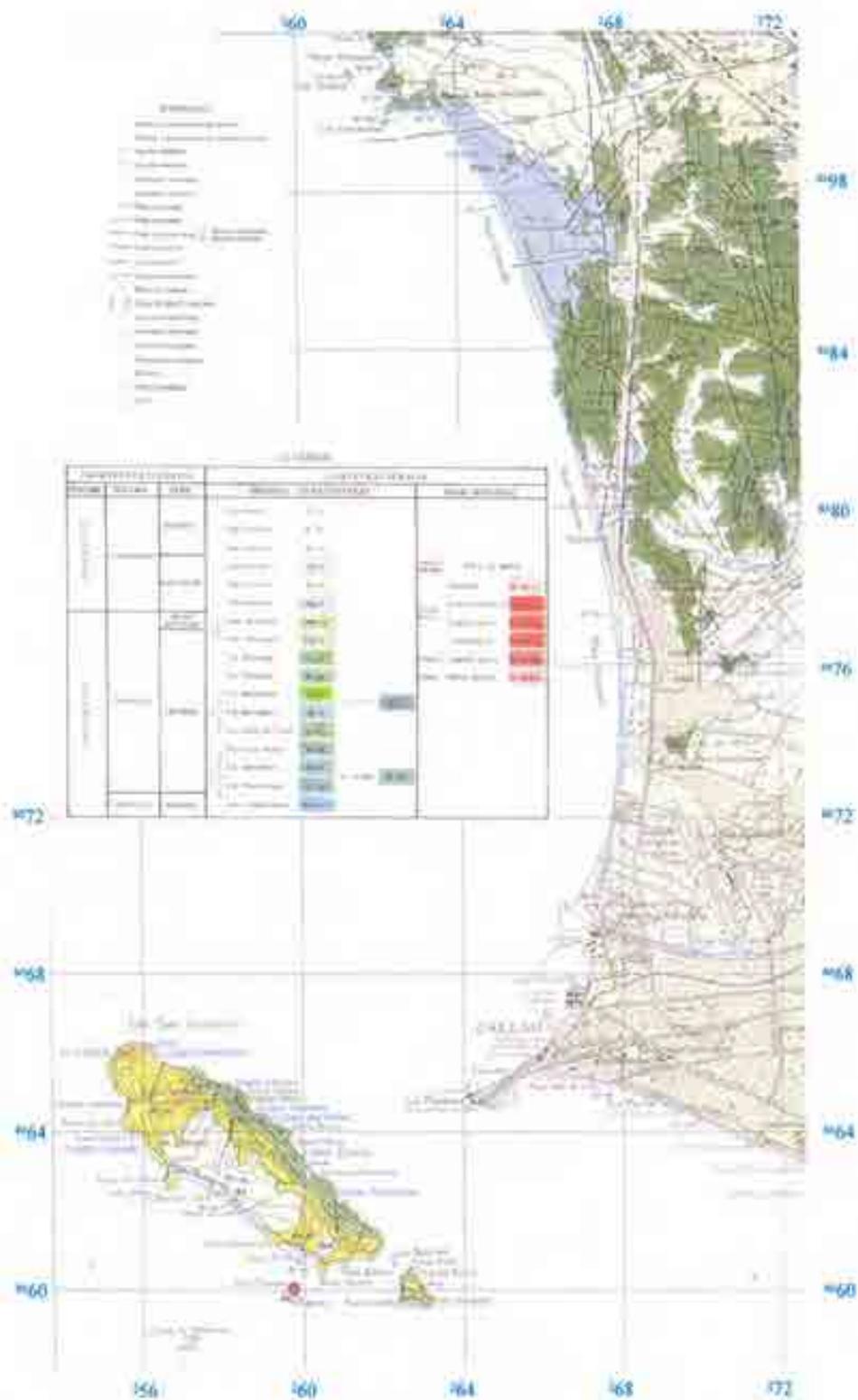
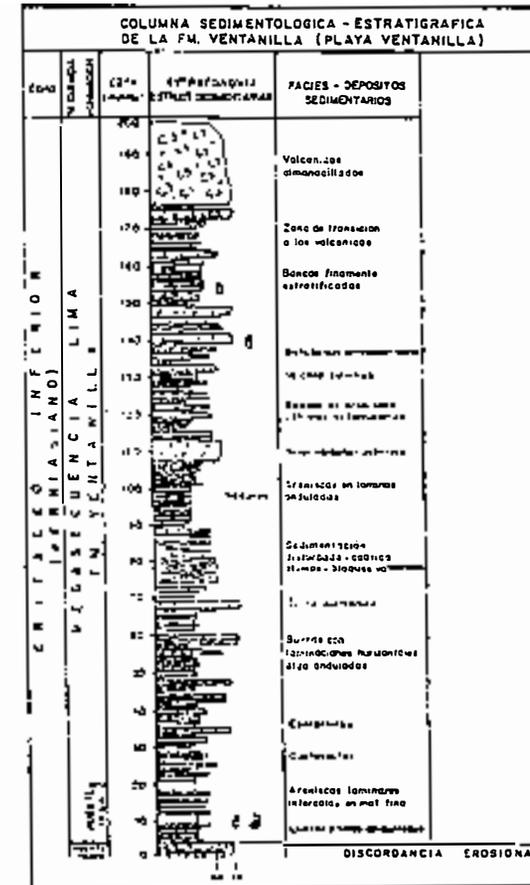


Figura 7. Mapa geológico del área de estudio (extraído de hojas 24i y 25i de la Carta Geológica Nacional del INGEMMET, 1992)

EDADES		UNIDADES ESTRATIGRAFICAS		MIEMBRO	LITOLOGIA	POSILES
MESOZOICO	CRETACEO INFERIOR	VALANGINIANO	MARCAVILCA	MARCAVILCA	Areniscas grises compactas	
				MORRO SOLAR	Pizarras violetas, Areniscas de estratificación delgada Cuarcitas de grano muy fino con intercalaciones de lutita Lutitas negras, violetas con intercalaciones de caliza Areniscas de estratificación delgada	Lernaeonemopsis, graptolitos, alveolarios, Anonites
	BERRIASANO SUPERIOR	HERRADURA	HERRADURA	Pizarras violetas, grises Areniscas, lutitas Silt	Areniscas	
			LA VIRGEN	Lutitas rojas, grises, negras y rodulosas Lutitas con intercalaciones arenisca gris verdosa Silt Cuarcita gris verdosa	Trigonias Lernaeonemopsis Mercuria/Trigonias	
			VALLE DEL PRADO			

Rosenzweig (1953); Palacios *et al* (1992)



Núñez del Prado (1991)

Figura 8. Estratigrafía de la zona de estudio

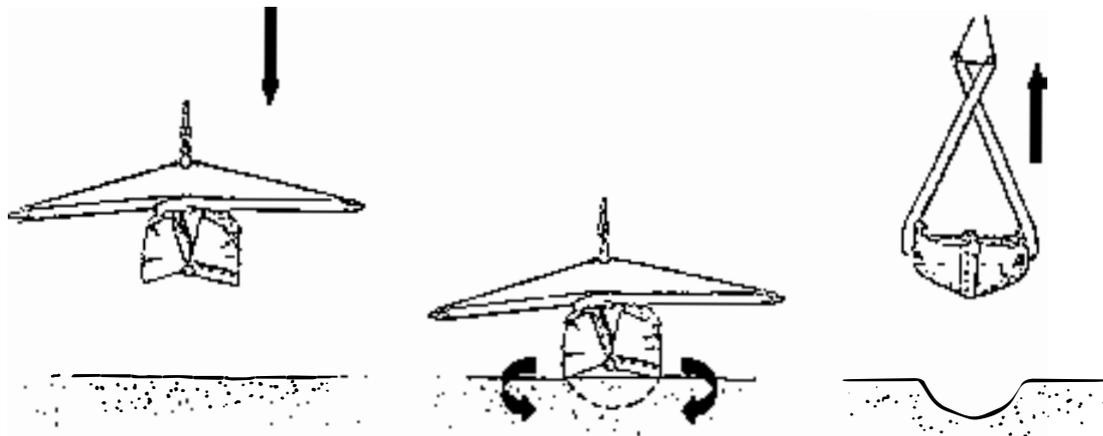


Figura 9. Funcionamiento de una draga tipo Van Veen al caer en el fondo

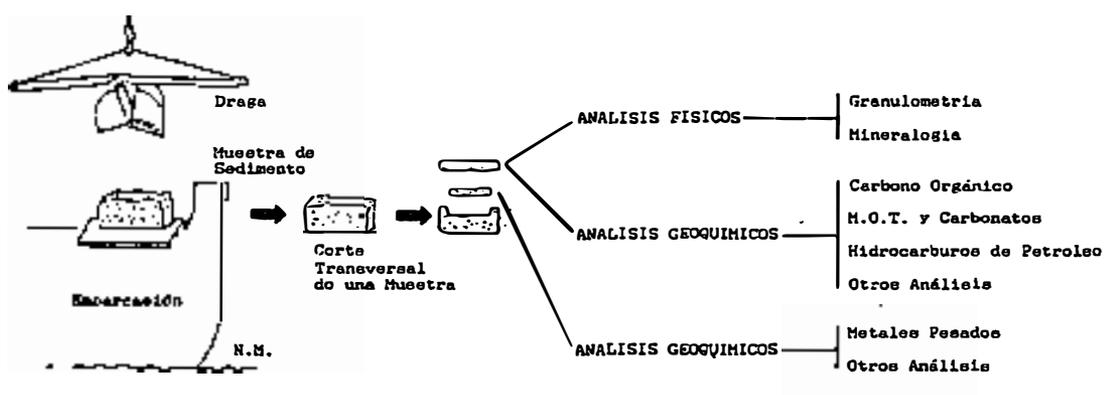


Figura 10. Selección de muestras para análisis en el laboratorio, evitando la contaminación de estas.

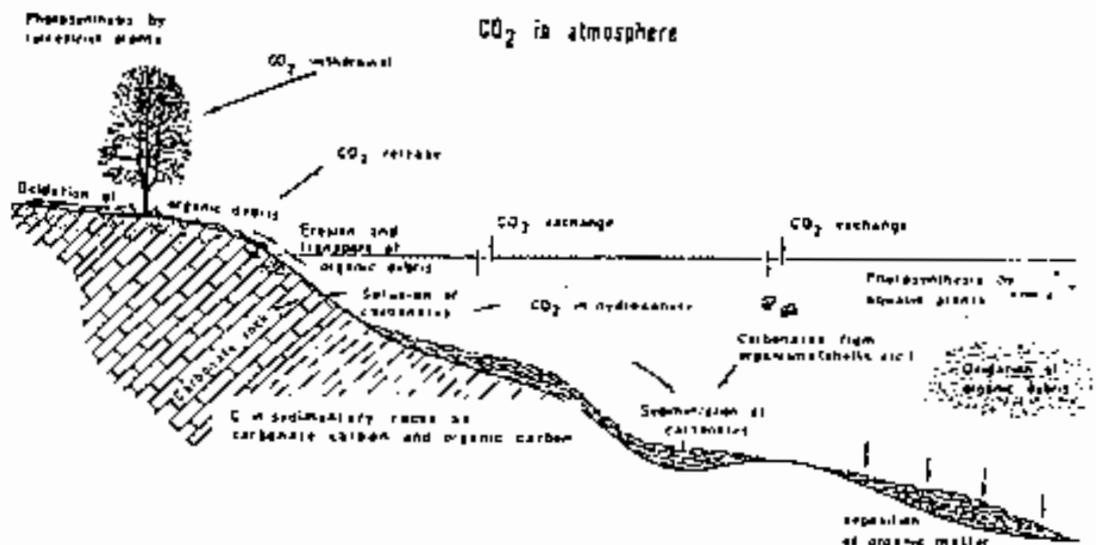


Figura 11. Principales procesos que intervienen en el ciclo del elemento carbono en el medio marino (Tissot, 1991)

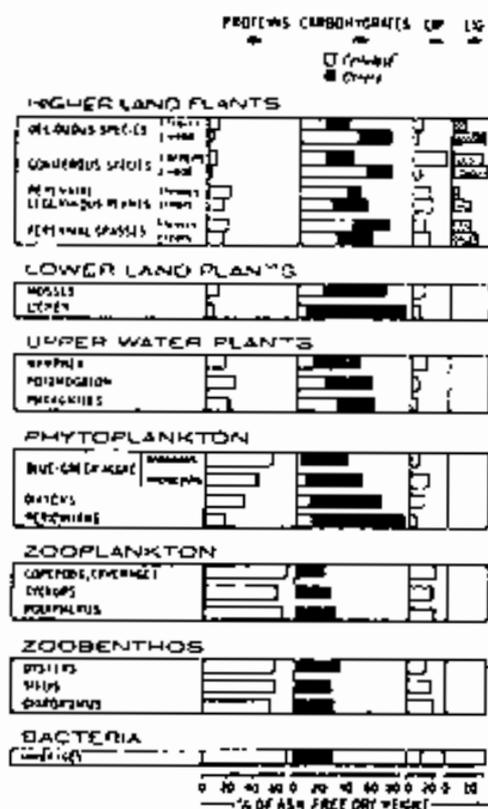


Figura 12. Compuestos orgánicos que conforman algunos organismos terrestres y marinos (Tissot, 1991)

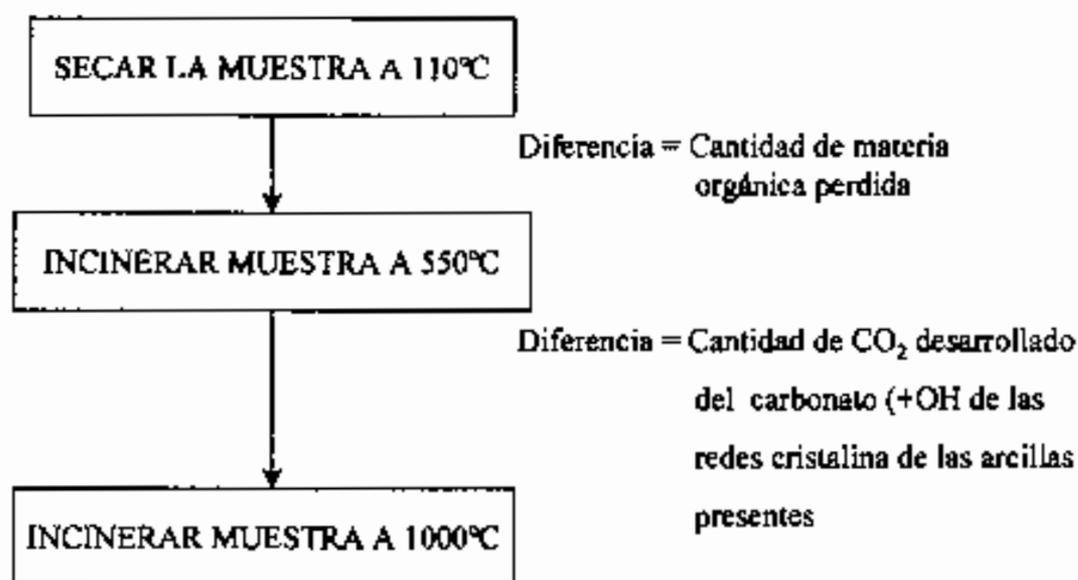


Figura 13. Diagrama de flujo del método para el análisis de materia orgánica total y carbonatos

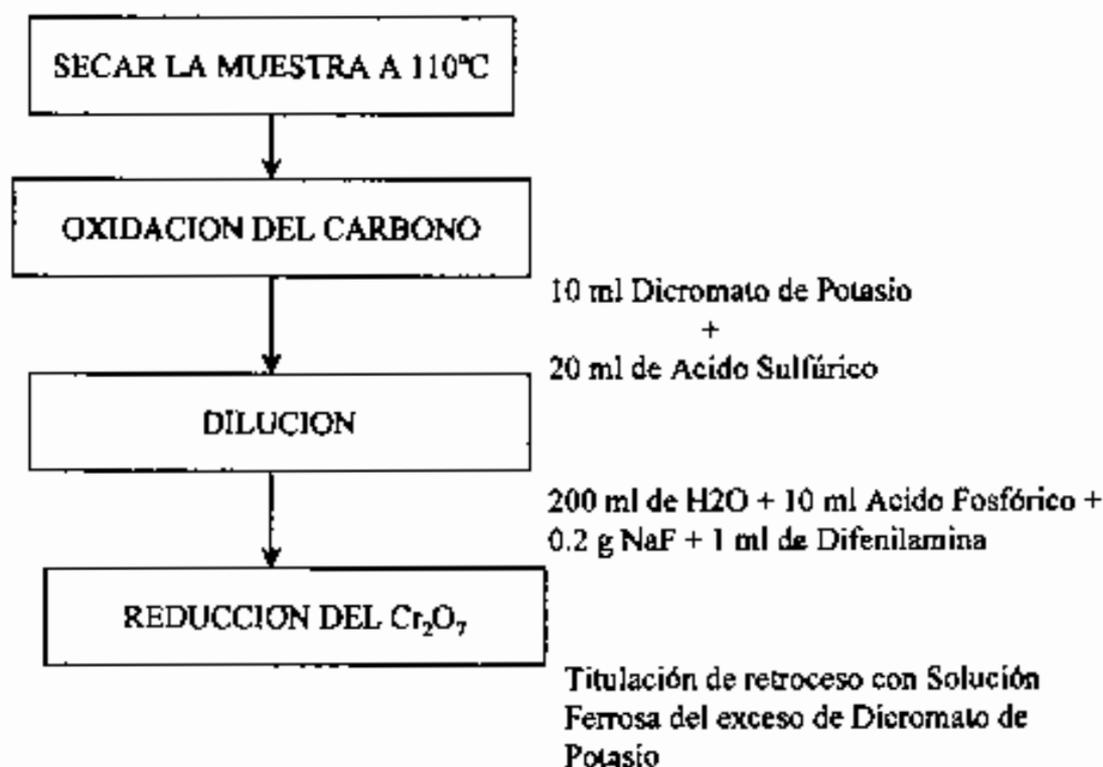


Figura 14. Diagrama de flujo del método para el análisis de carbono orgánico

CICLO BIOGEOQUIMICO DE LOS METALES PESADOS
(Nurnberg, 1981)

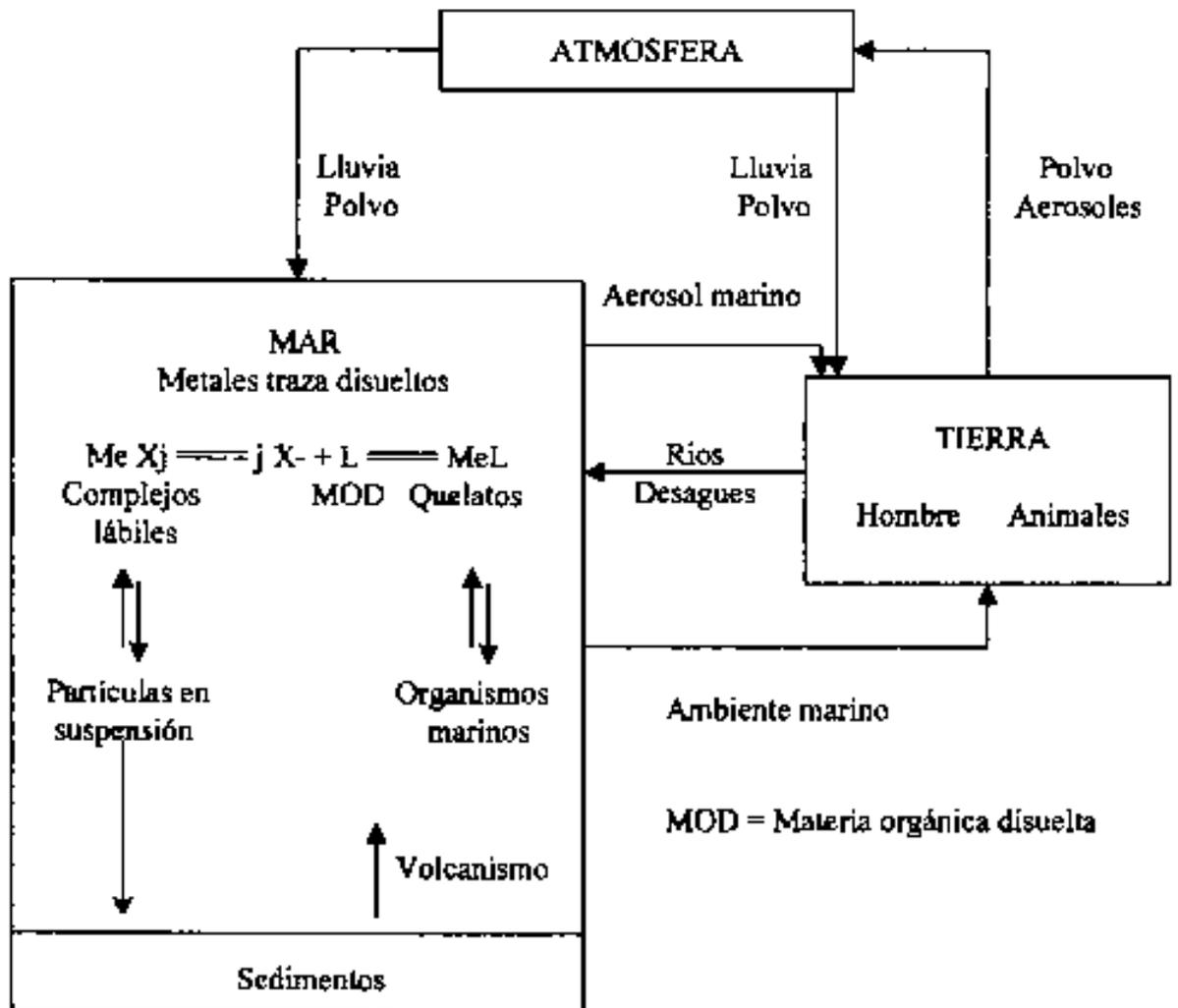


Figura 15. Ciclo biogeoquímico de los metales pesados

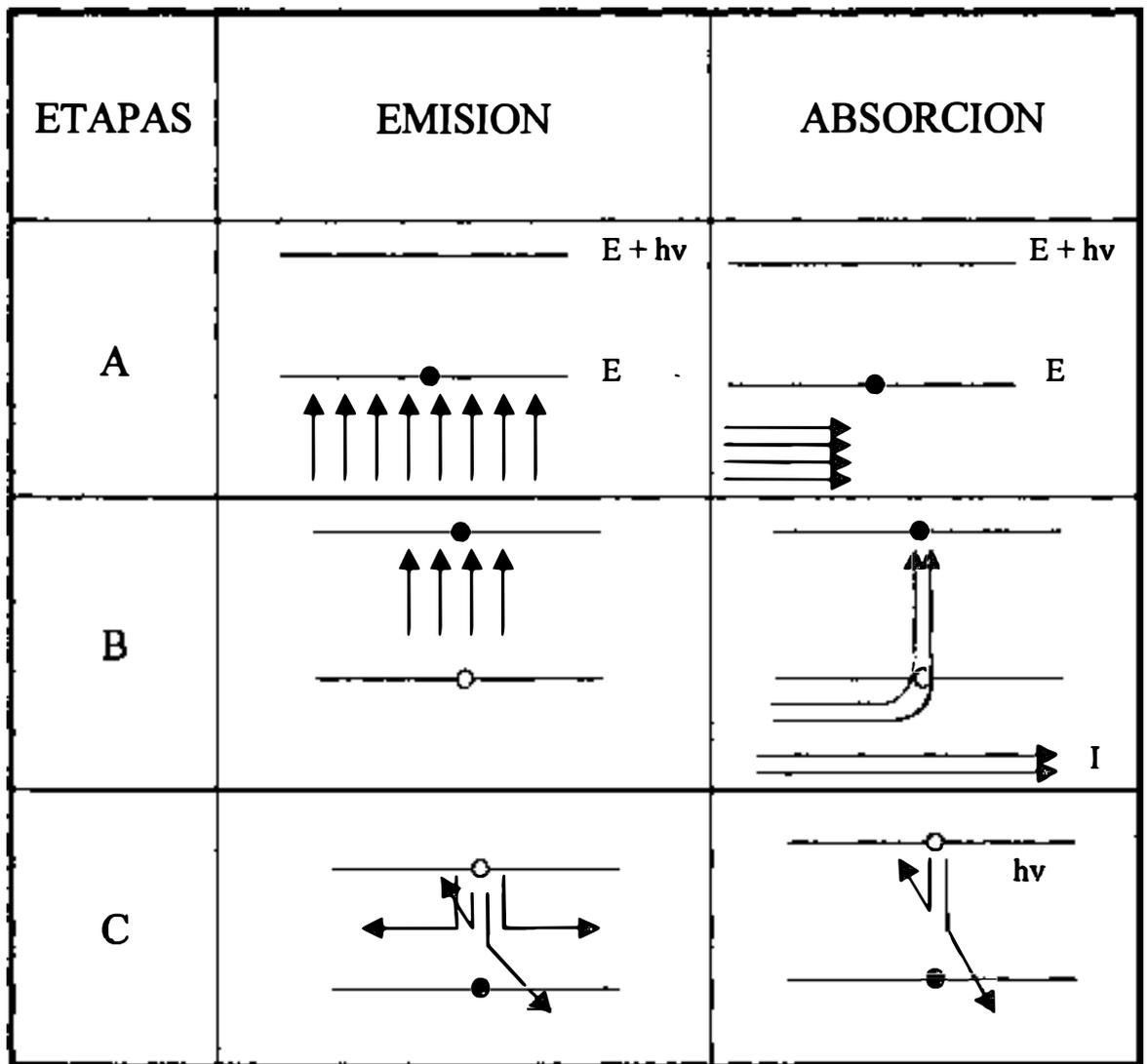


Figura 16. Comparación de los procesos de emisión y absorción atómica

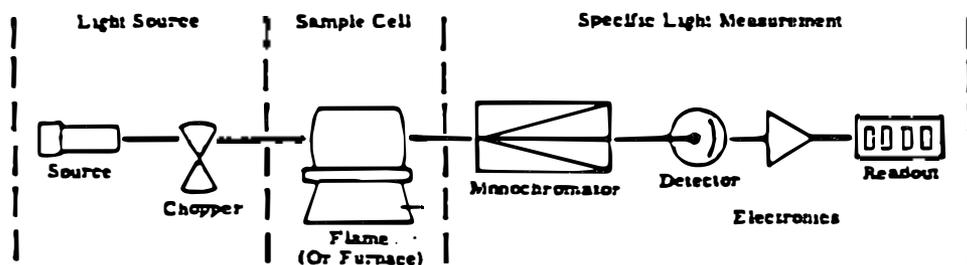


Figura 17. Espectroscopio de absorción atómica

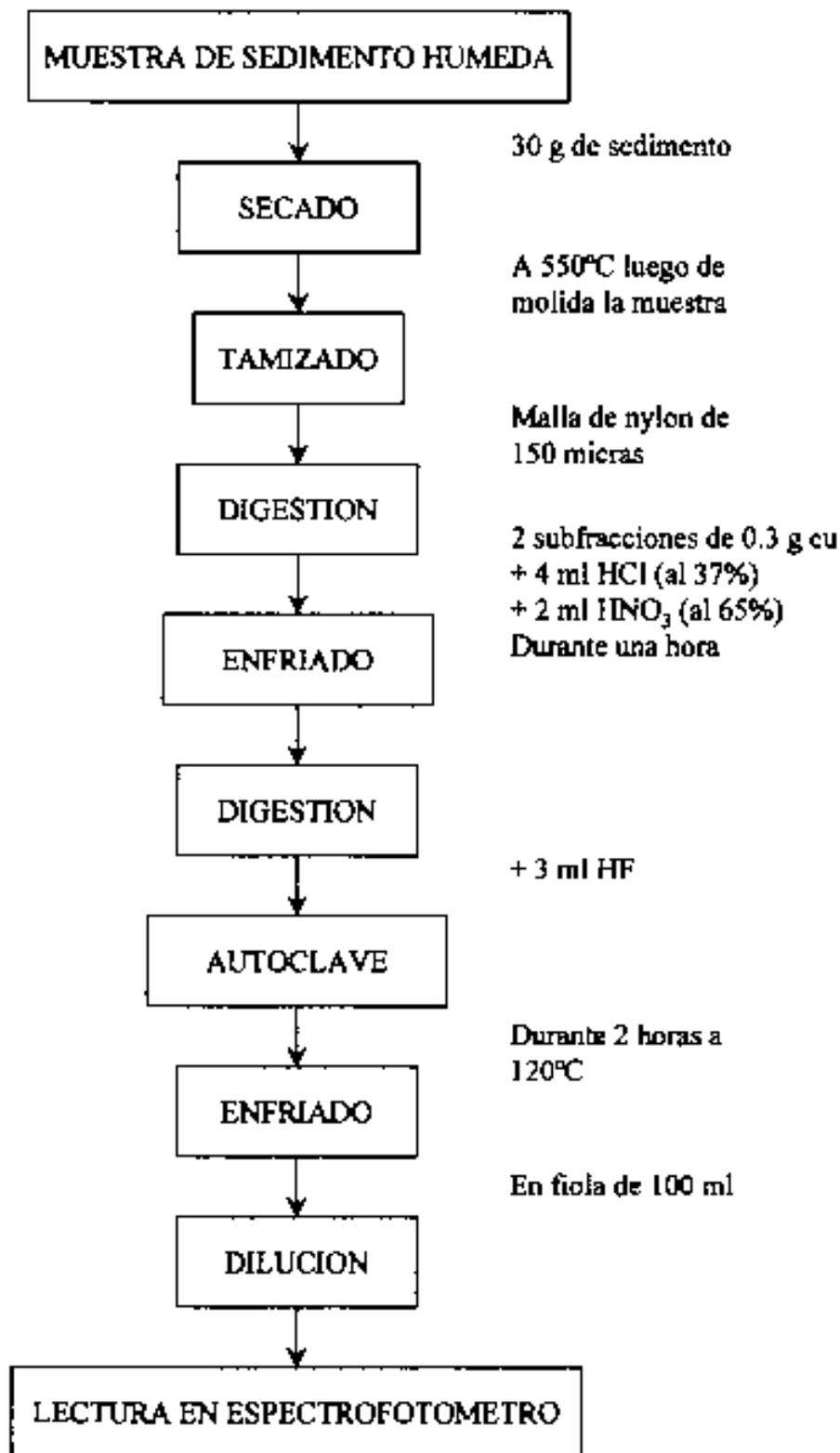


Figura 18. Diagrama de flujo del método para el análisis de metales traza

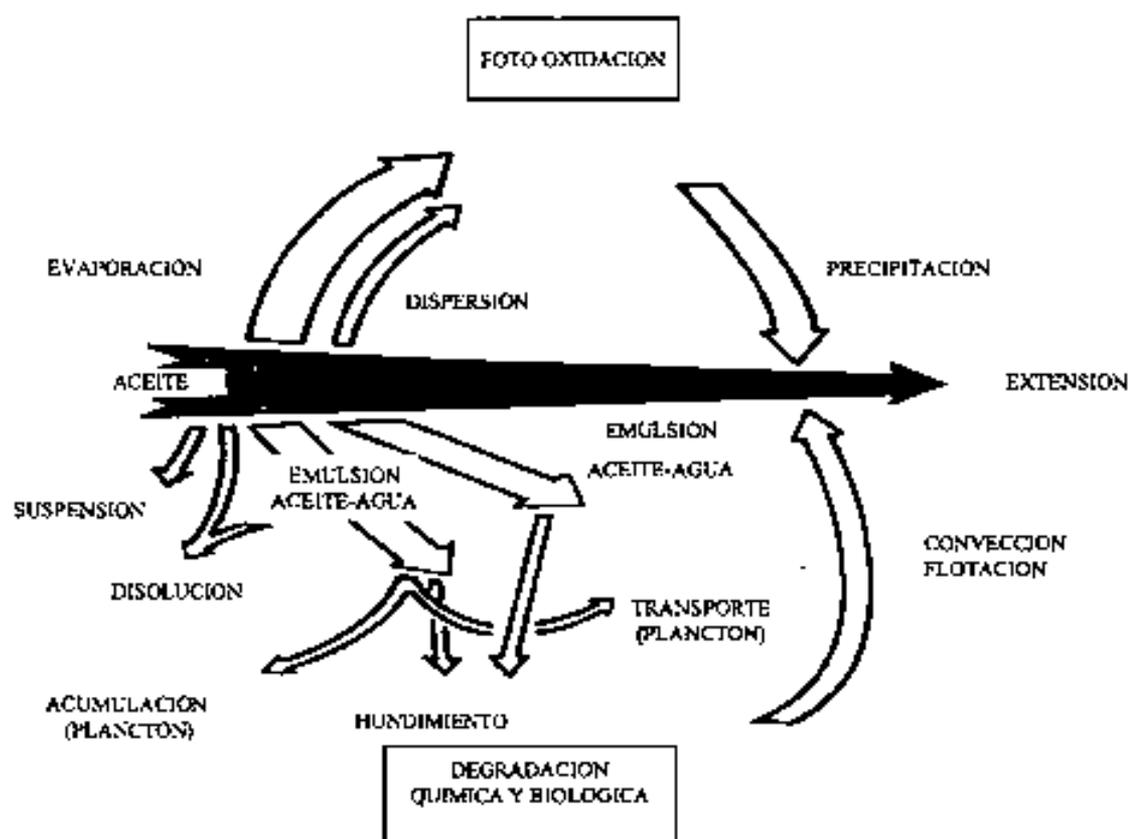


Figura 19. Procesos a que es sometido el petróleo al ingresar en el medio marino (Albaiges, 1975)

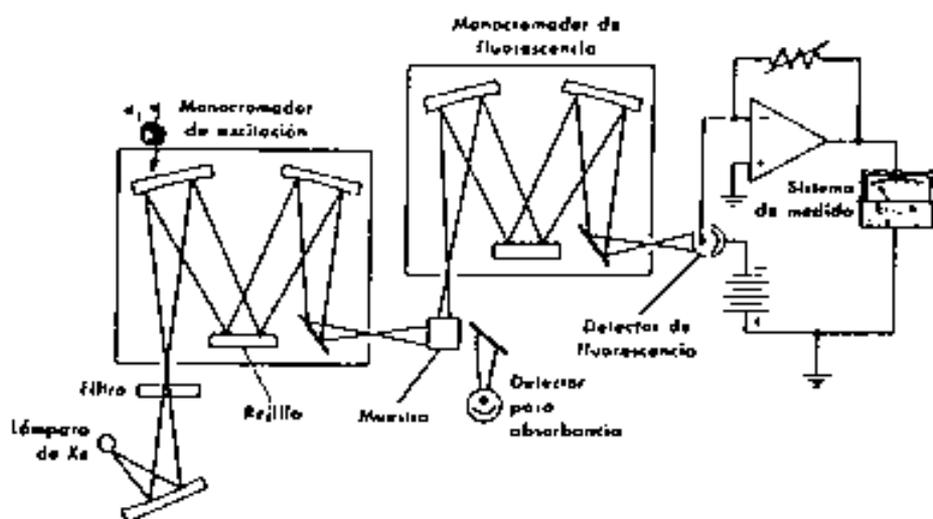


Figura 20. El espectrofluorómetro y sus partes

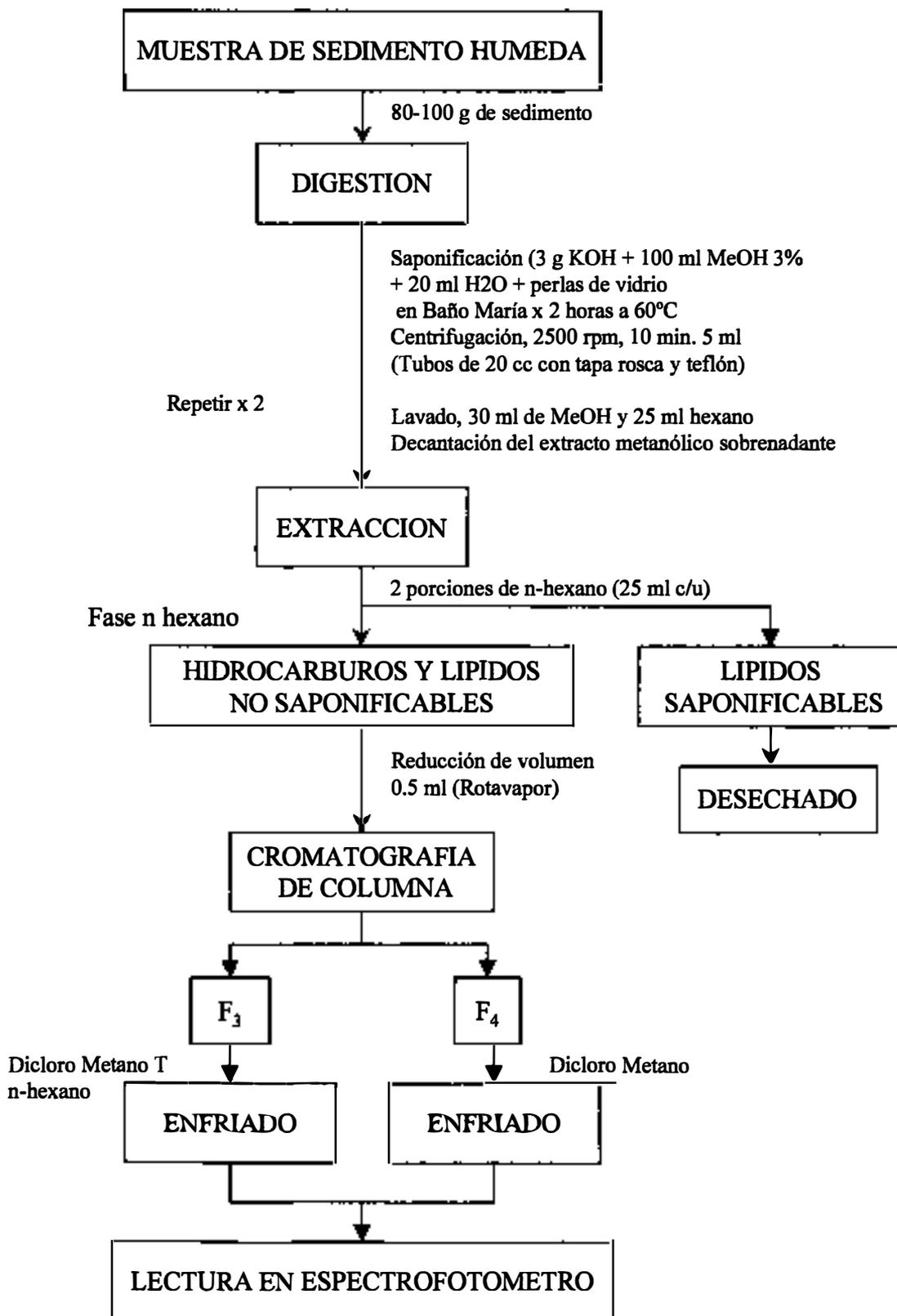


Figura 21. Diagrama de flujo del método para el análisis de hidrocarburos aromáticos

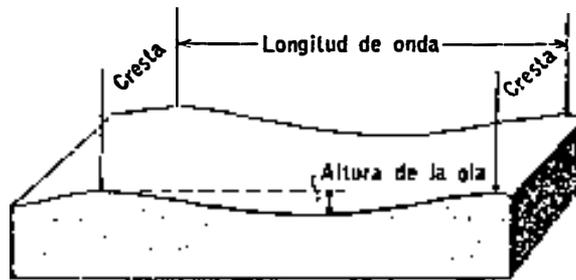


Figura 22. Elementos de una ola (Leet and Hudson, 1972)

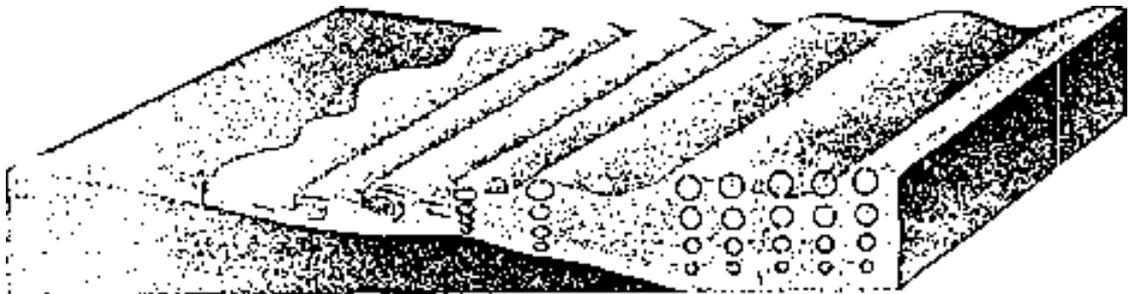


Figura 23. Perfil del fondo y recorrido final de una ola (Leet and Hudson, 1972)

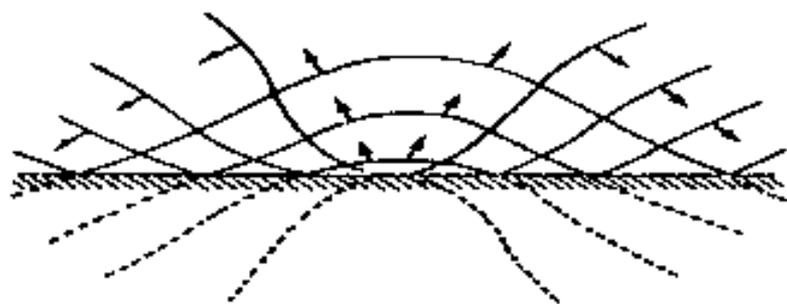


Figura 24 a. Reflexión de olas

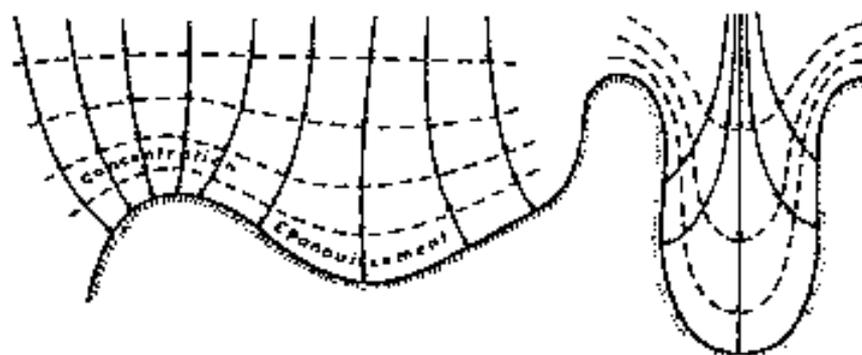


Figura 24 b. Refracción de olas

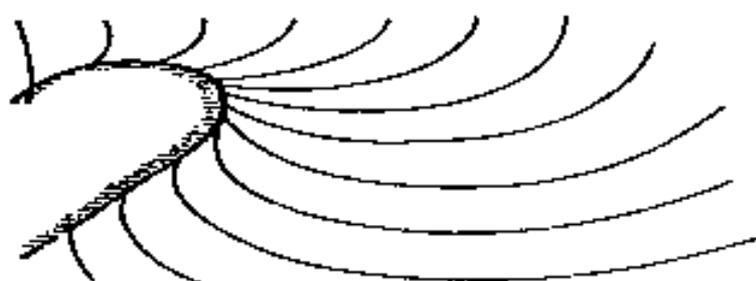


Figura 24 c. Difracción de olas

Figura 24. Deformación de las olas en su dirección (Larras, 1958)

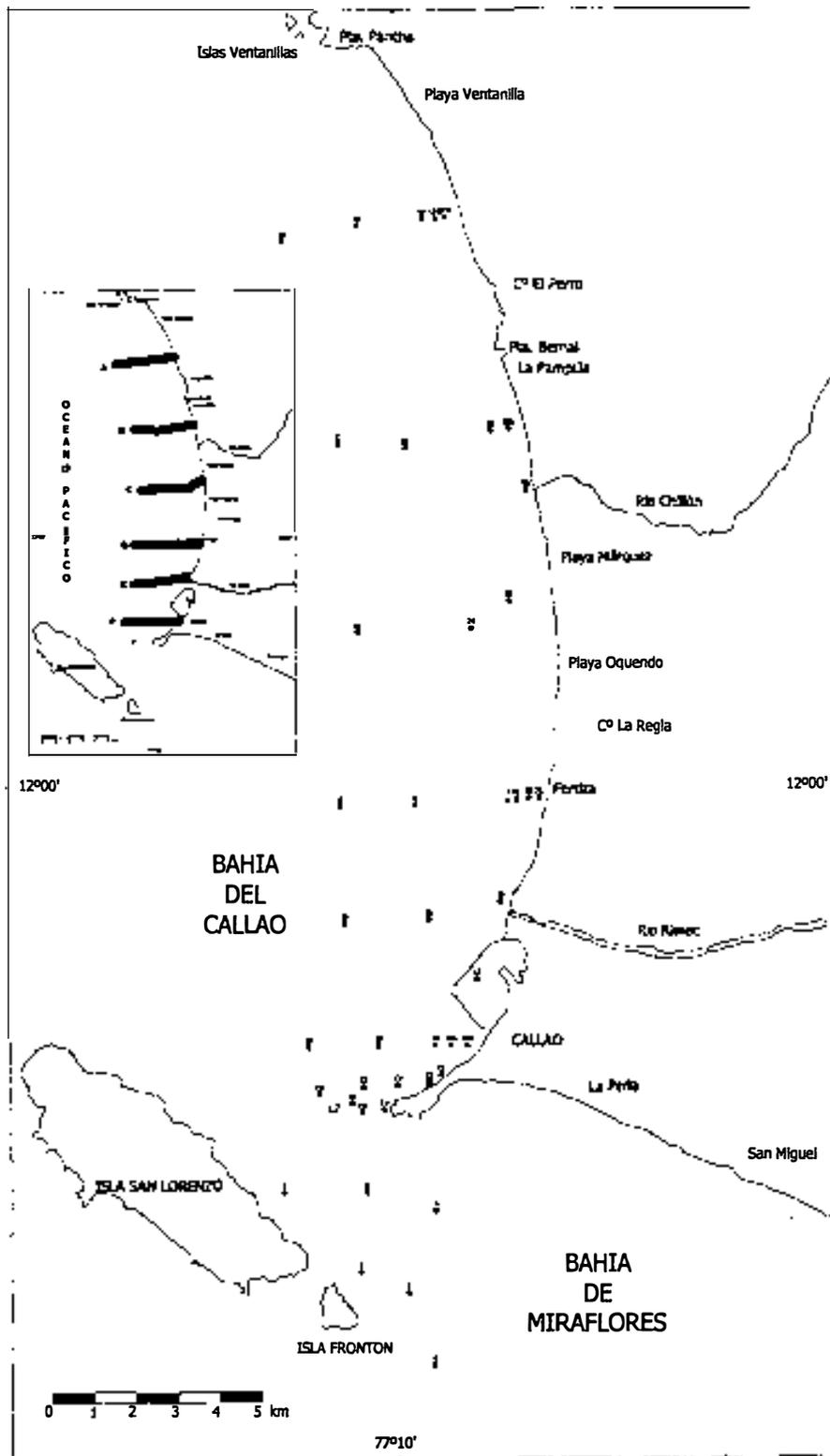
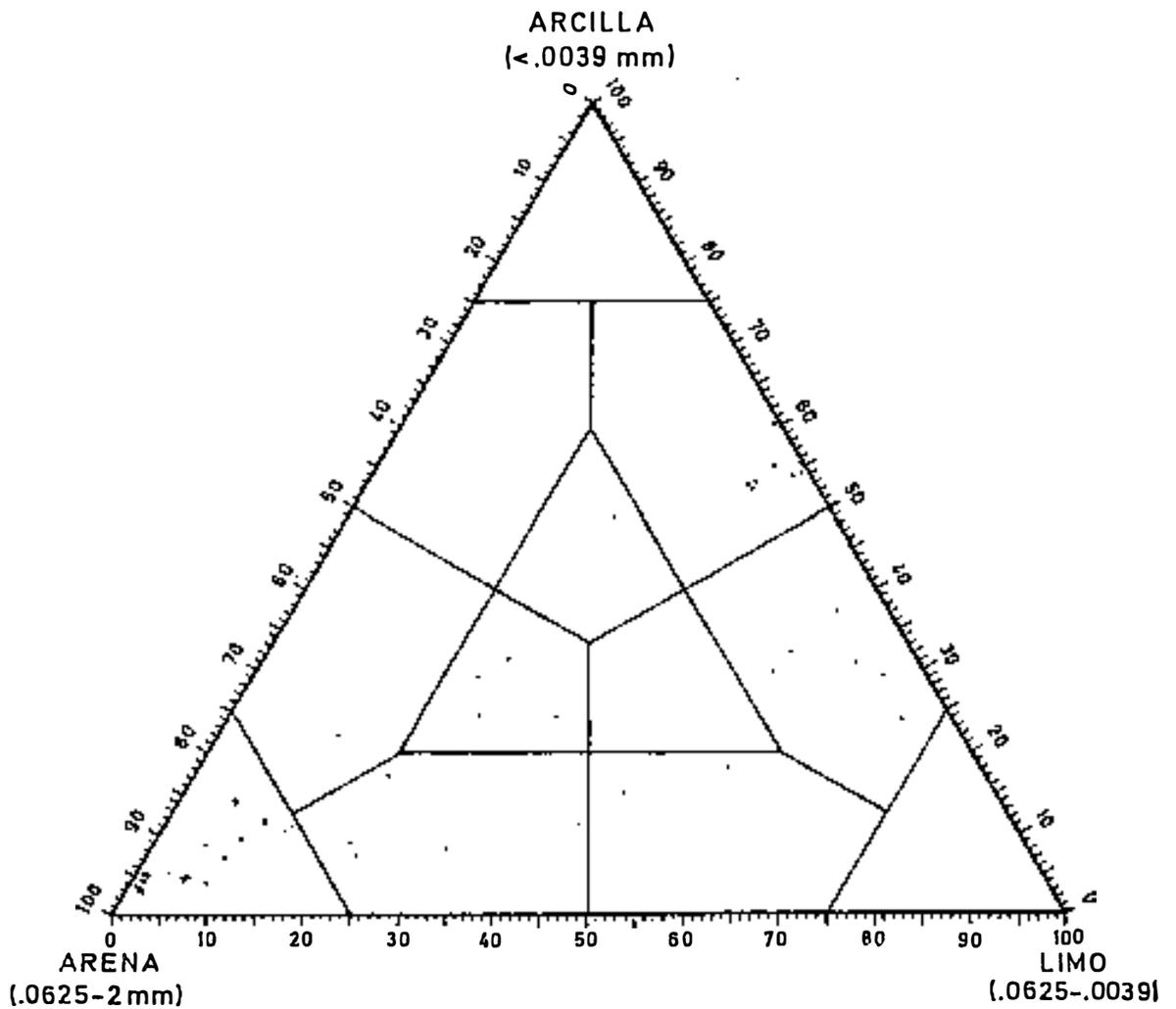


Figura 25. Estaciones y perfiles de muestreo del fondo marino en el área de estudio

DIAGRAMA TERNARIO DE SHEPARD (1954)
(arena – limo – arcilla)



- Muestras con arena + limo + arcilla
- + Muestras con arena + limo + arcilla + grava

Figura 26. Composición textural de los sedimentos en el área de estudio

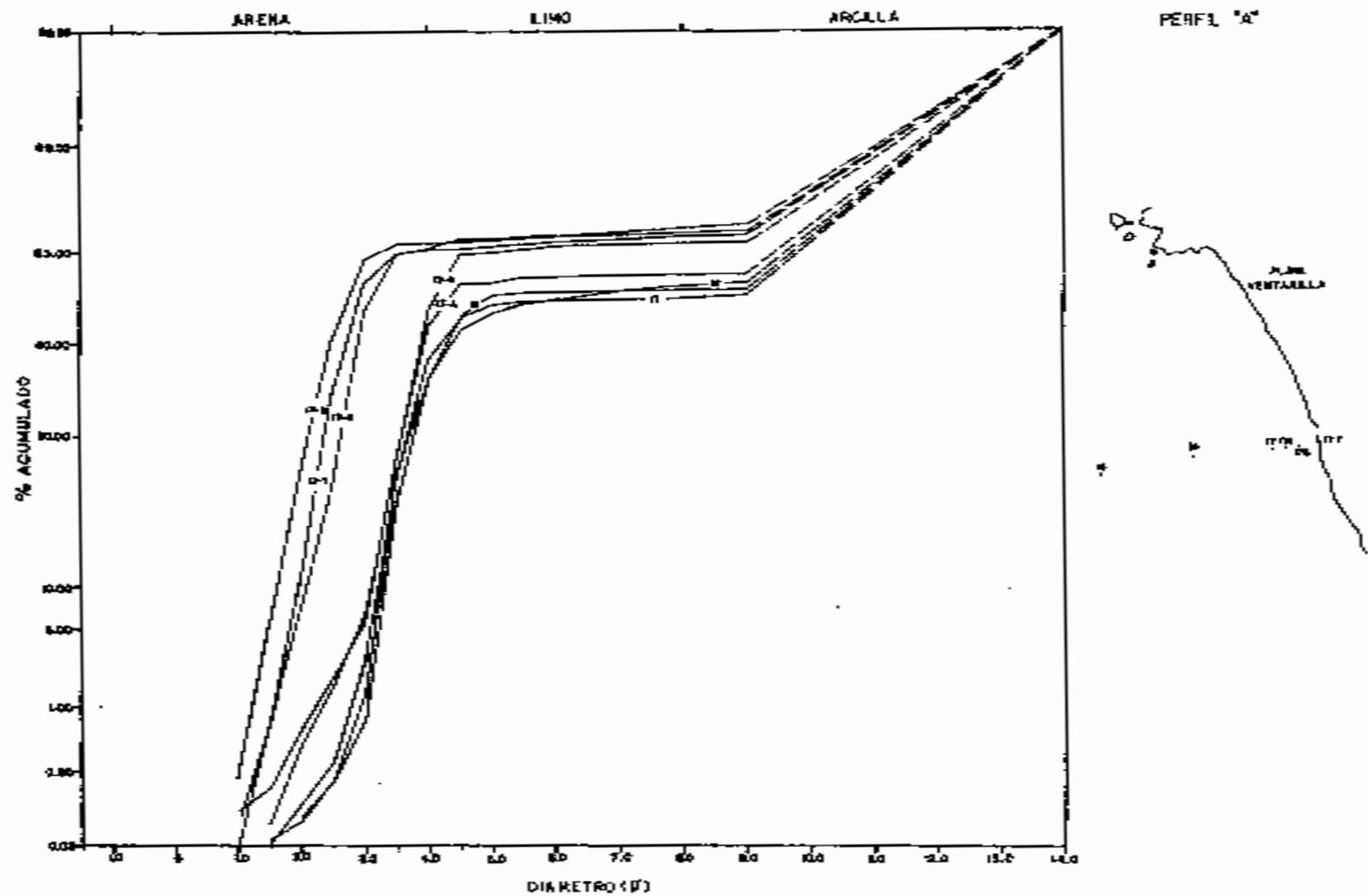


Figura 27a. Distribución de diámetro de grano en porcentaje acumulado en el perfil A

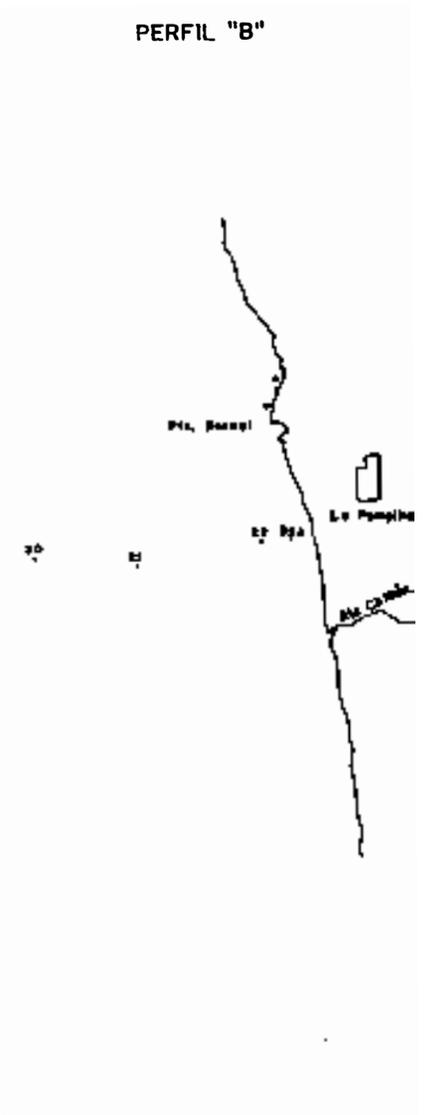
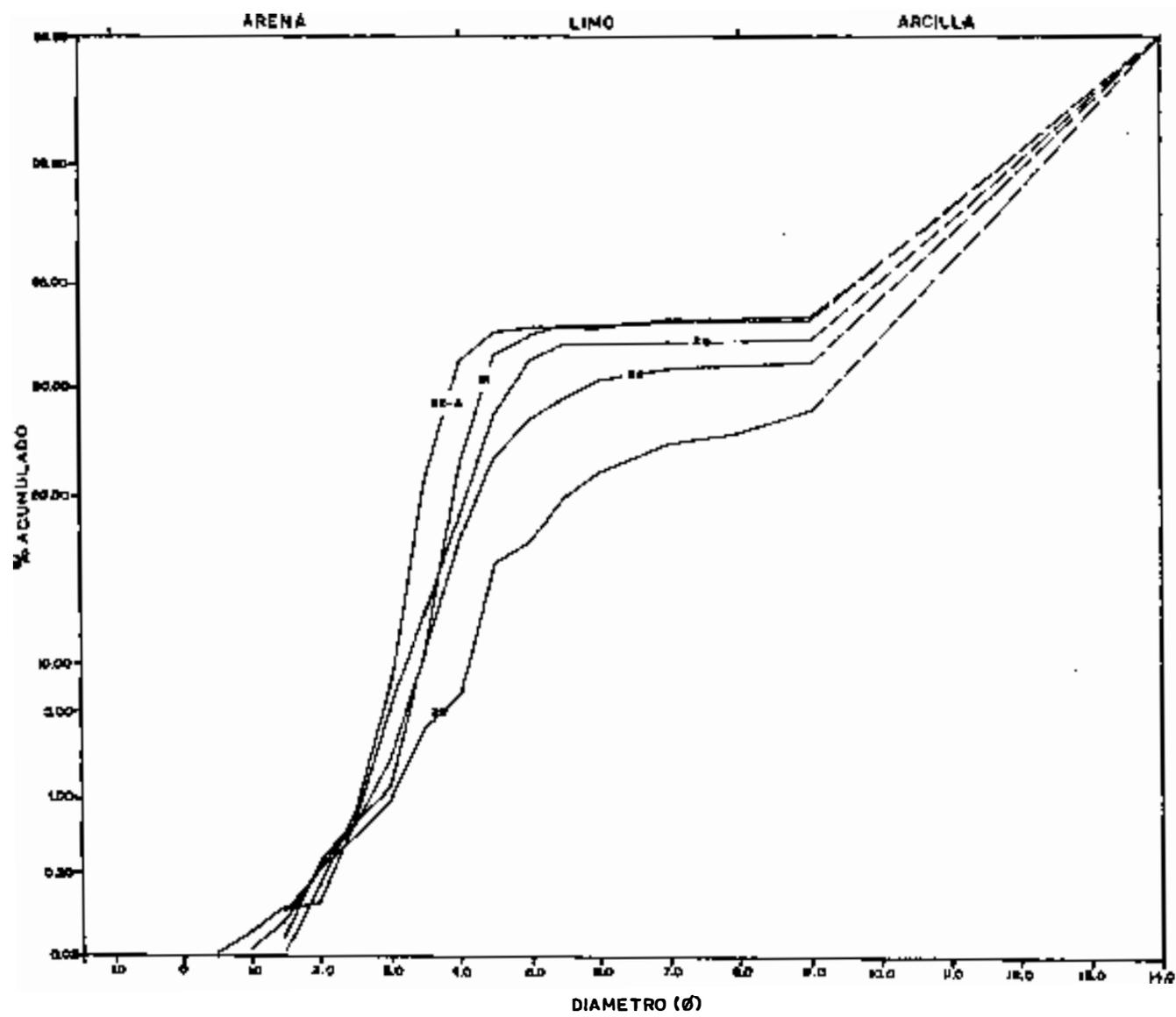


Figura 27b. Distribución de diámetro de grano en porcentaje acumulado en el perfil B

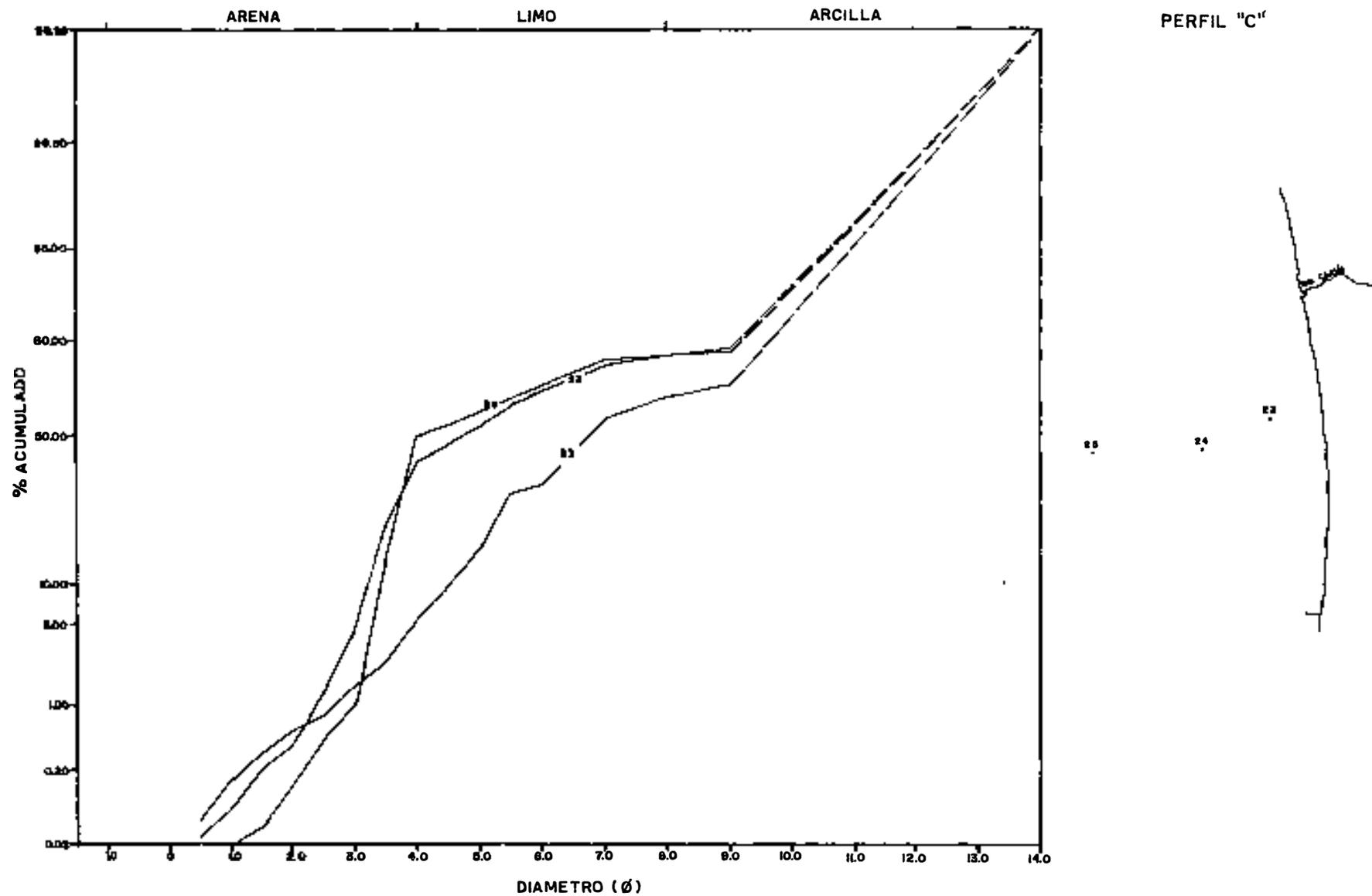


Figura 27c. Distribución de diámetro de grano en porcentaje acumulado en el perfil C

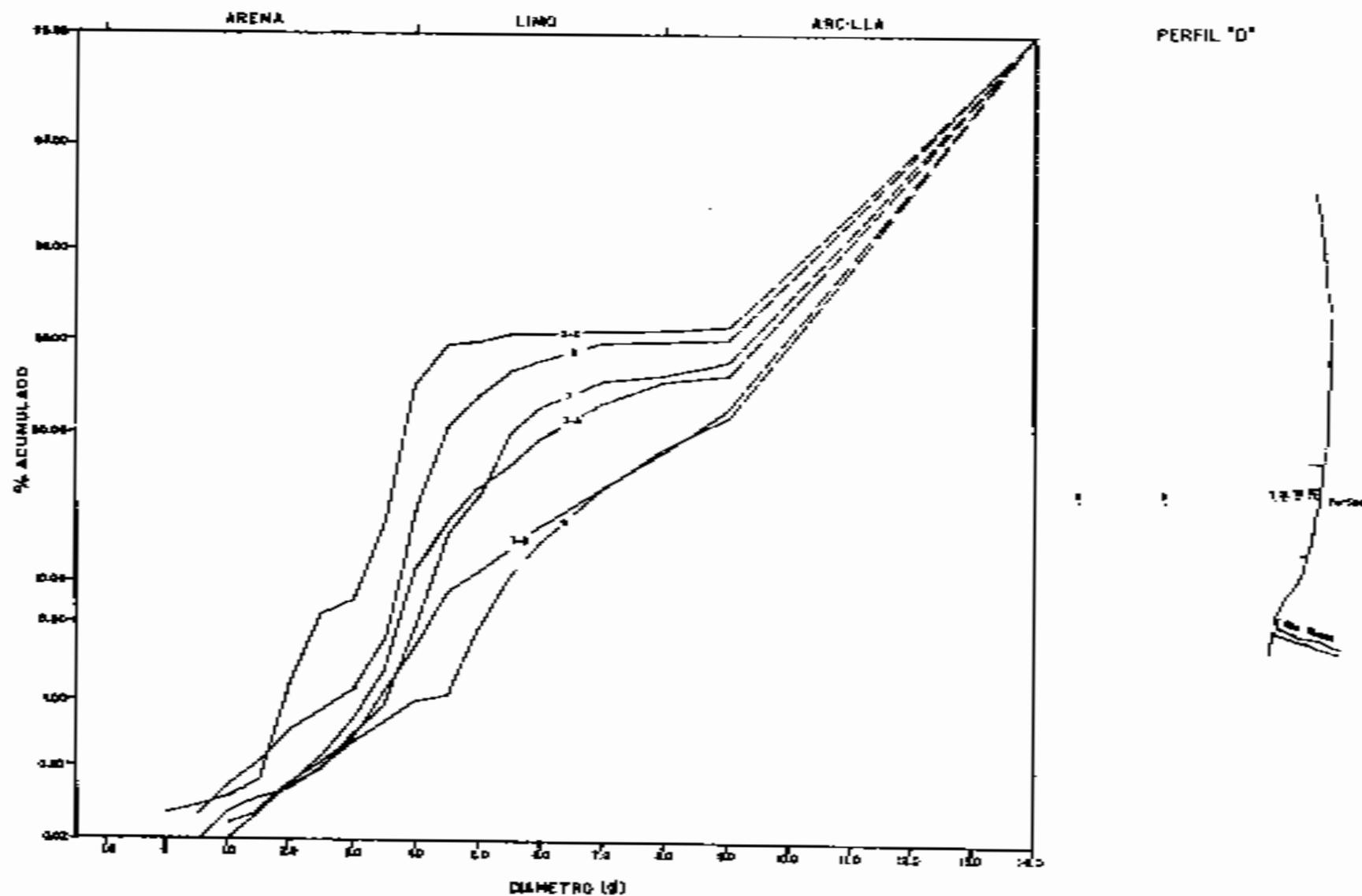
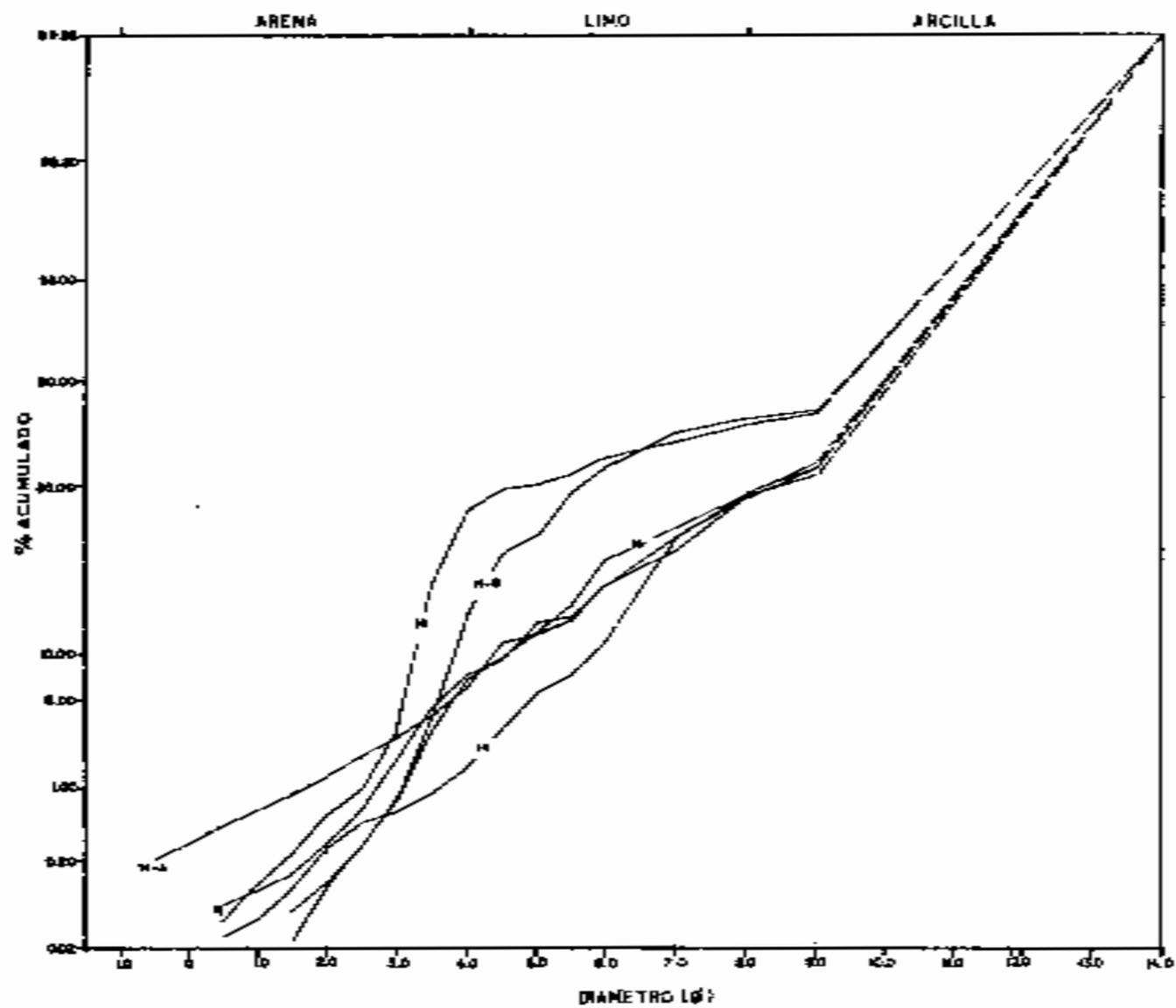


Figura 27d. Distribución de diámetro de grano en porcentaje acumulado en el perfil D



PERFIL "F"



Figura 27f. Distribución de diámetro de grano en porcentaje acumulado en el perfil F

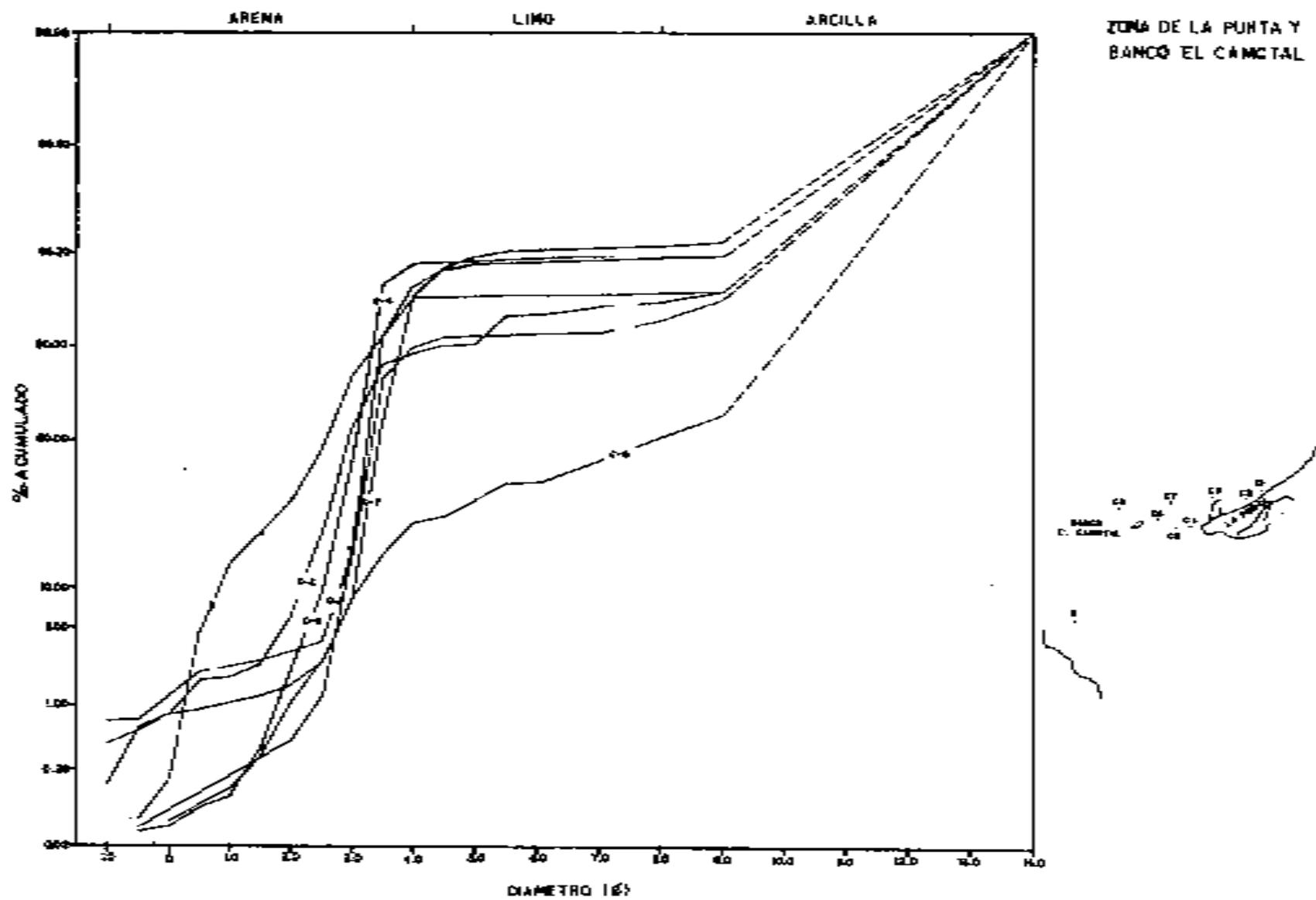


Figura 27g. Distribución de diámetro de grano en porcentaje acumulado entre a la zona de la Punta y el banco El Camotal

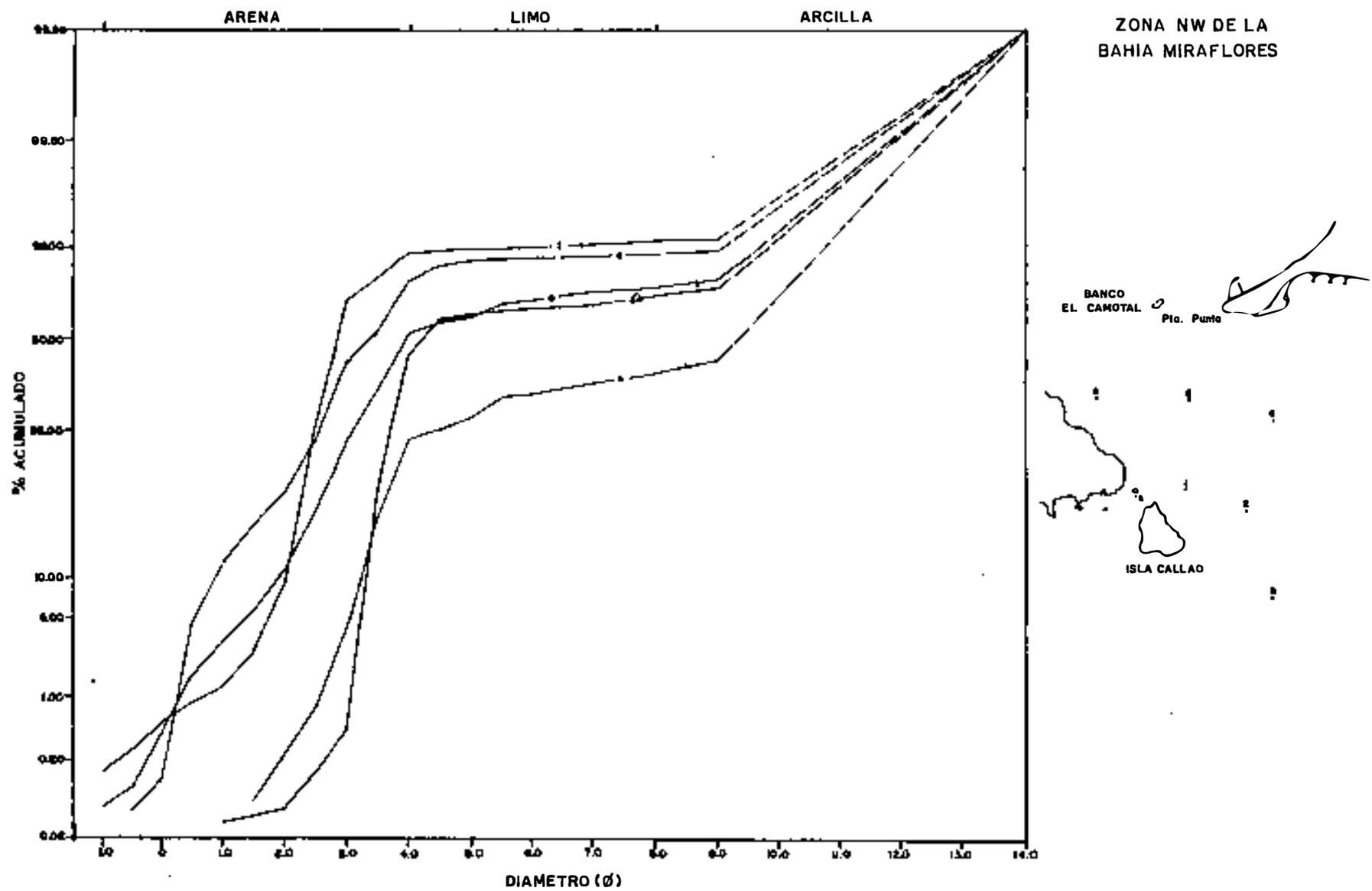


Figura 27h. Distribución de diámetro de grano en porcentaje acumulado en la zona NW de la bahía de Miraflores

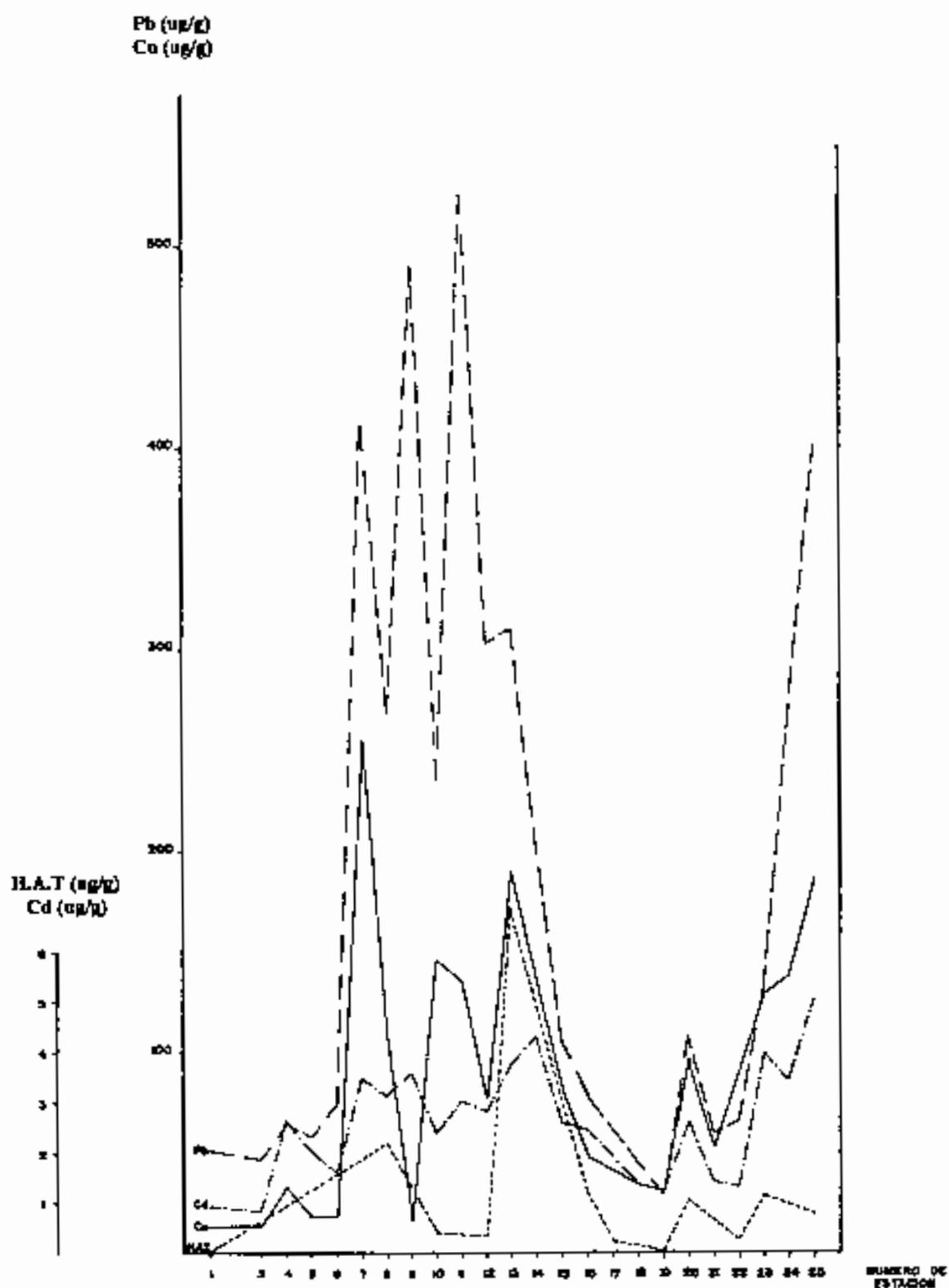


Figura 28. Número de estación Vs. Concentración de elemento contaminante

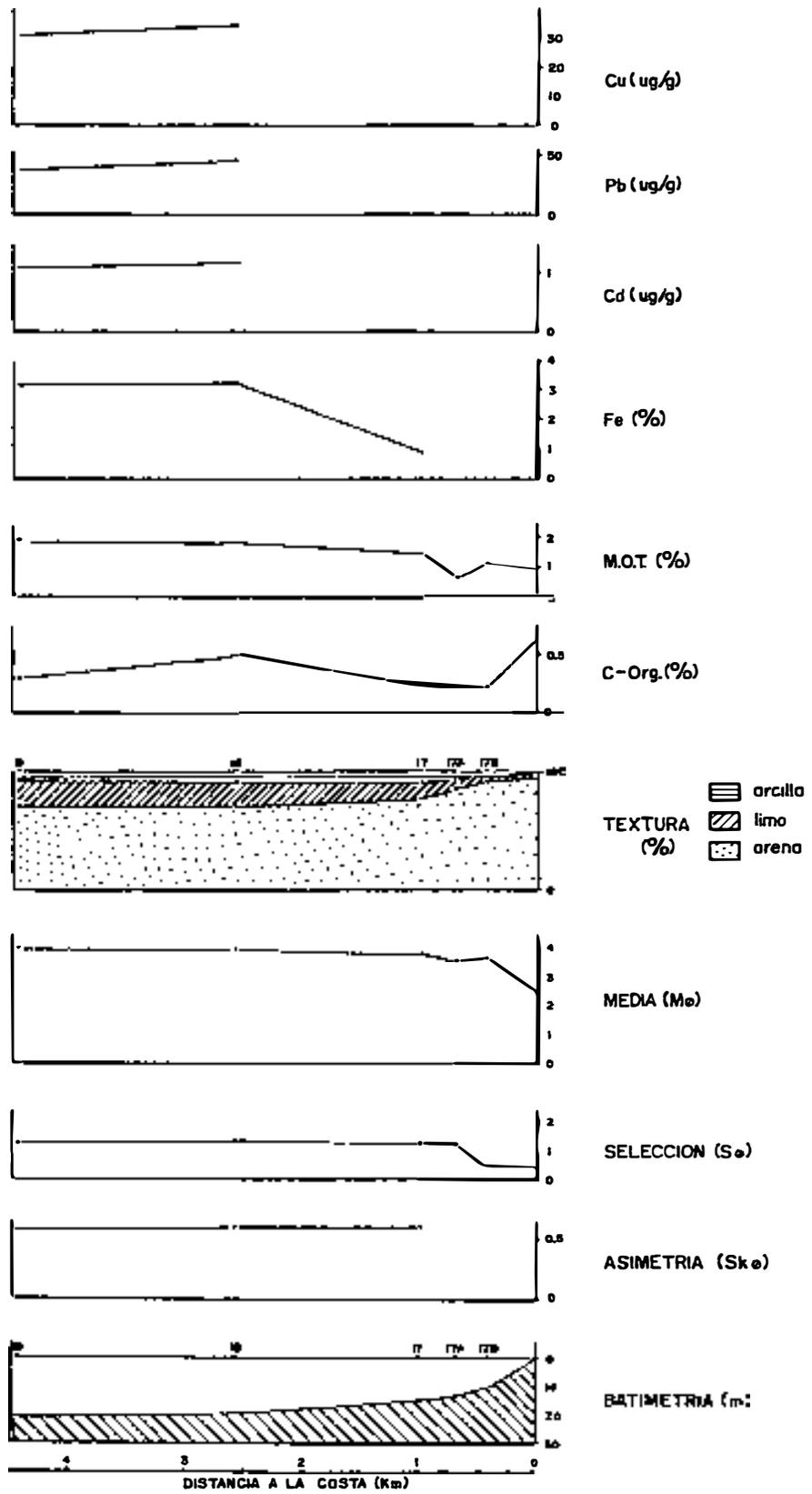


Figura 29a. Variación batimétrica de contenidos geoquímicos y granulométricos en el perfil A

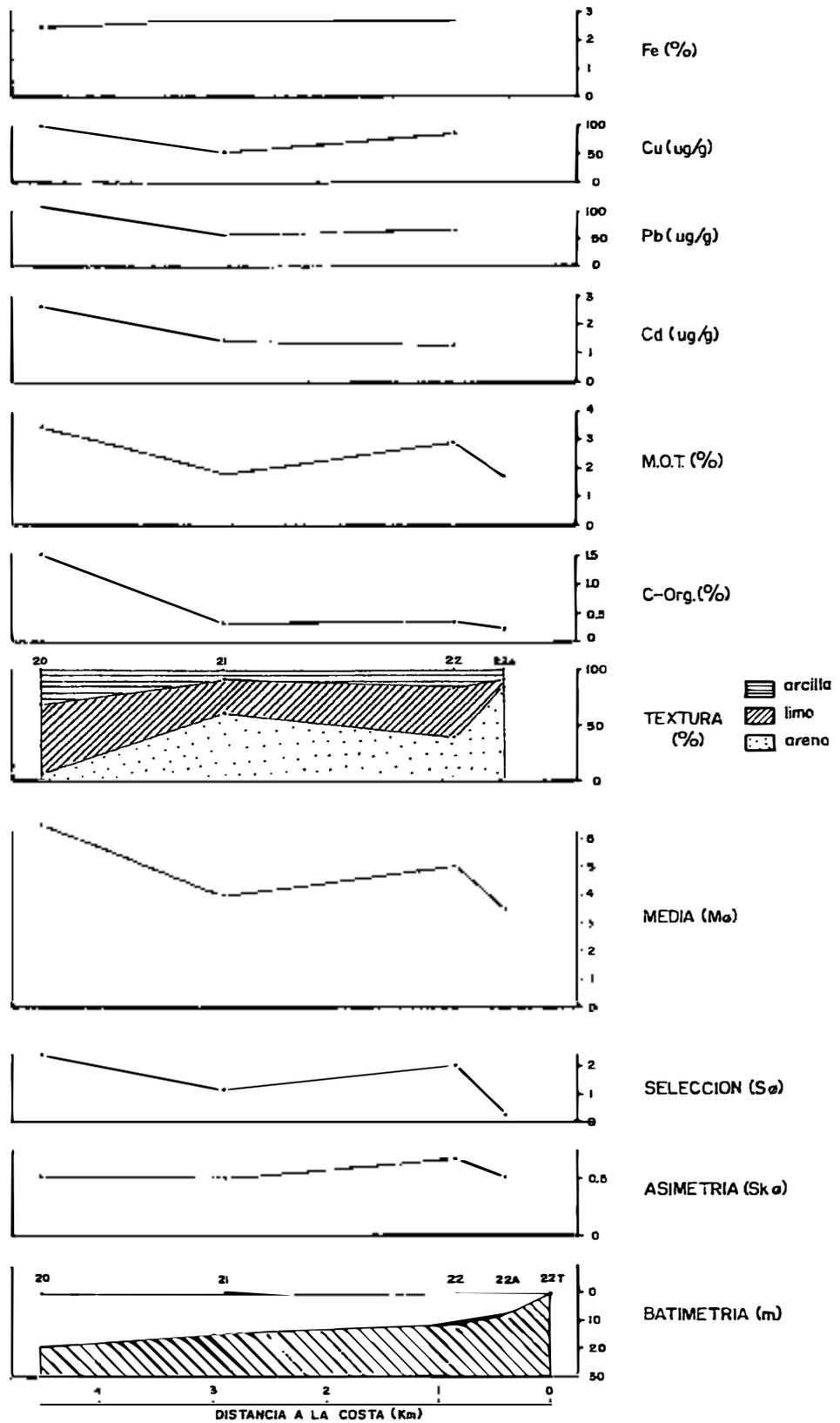


Figura 29b. Variación batimétrica de contenidos geoquímicos y granulométricos en el perfil B

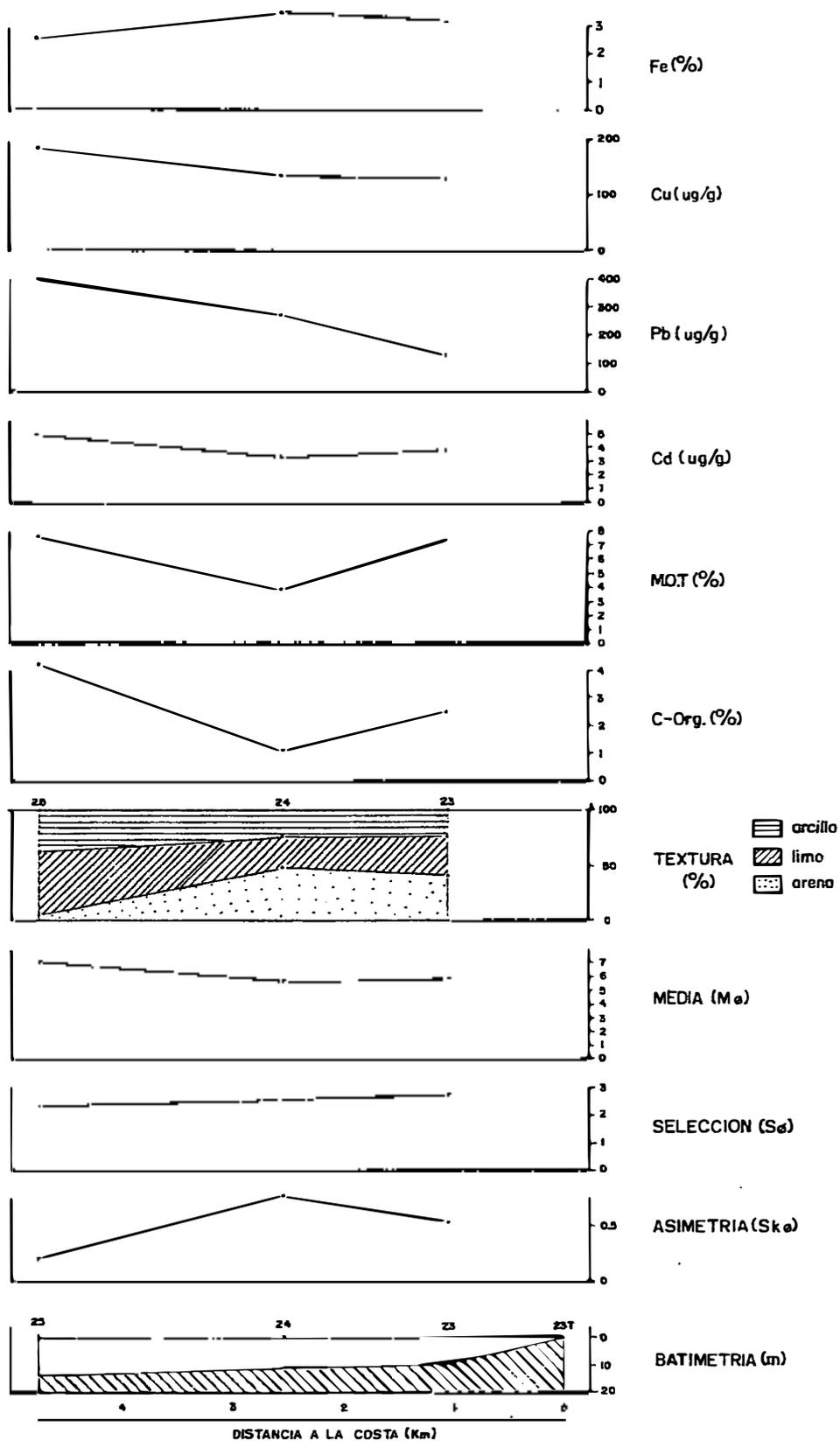


Figura 29c. Variación batimétrica de contenidos geoquímicos y granulométricos en el perfil C

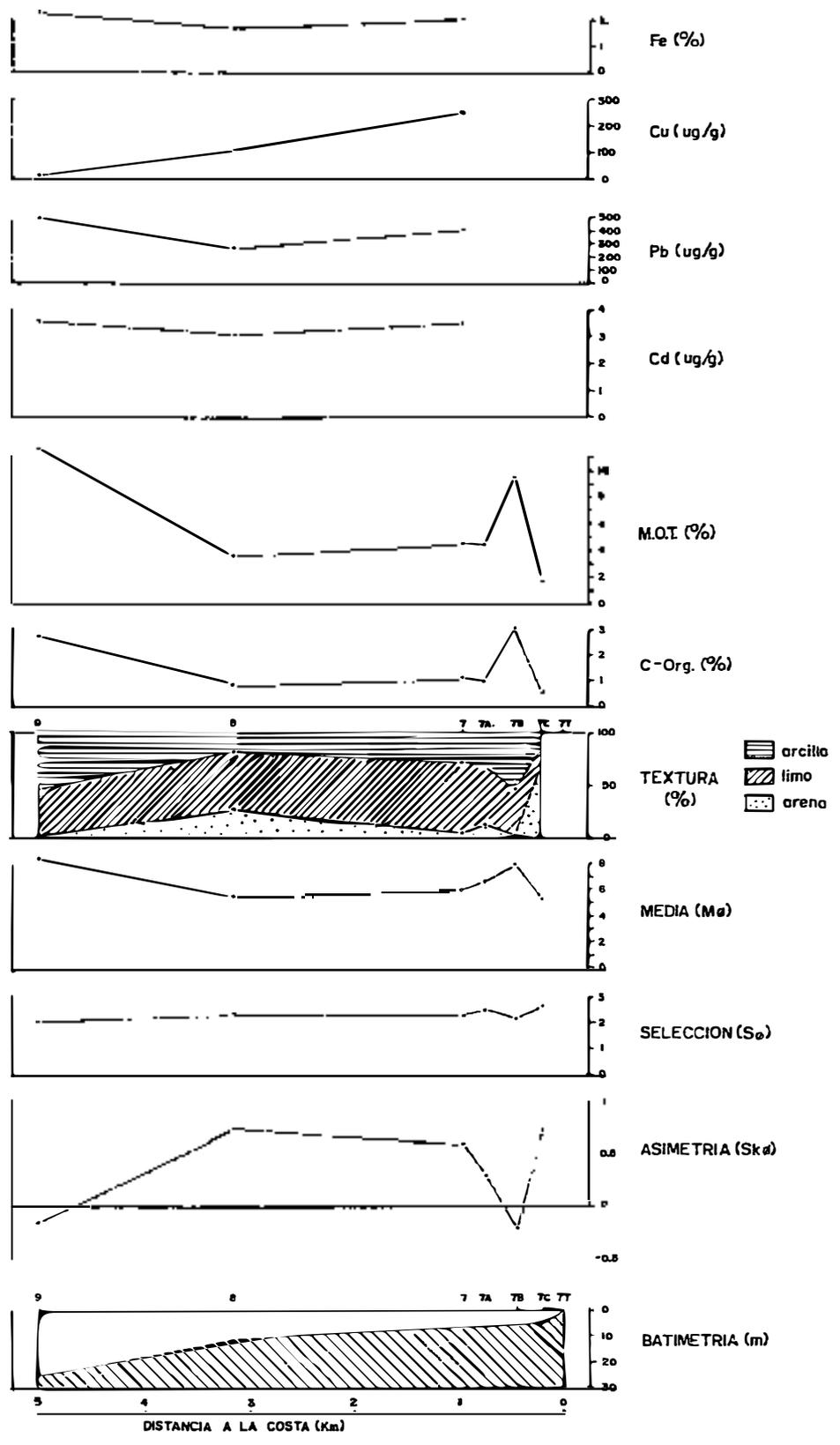


Figura 29d. Variación batimétrica de contenidos geoquímicos y granulométricos en el perfil D

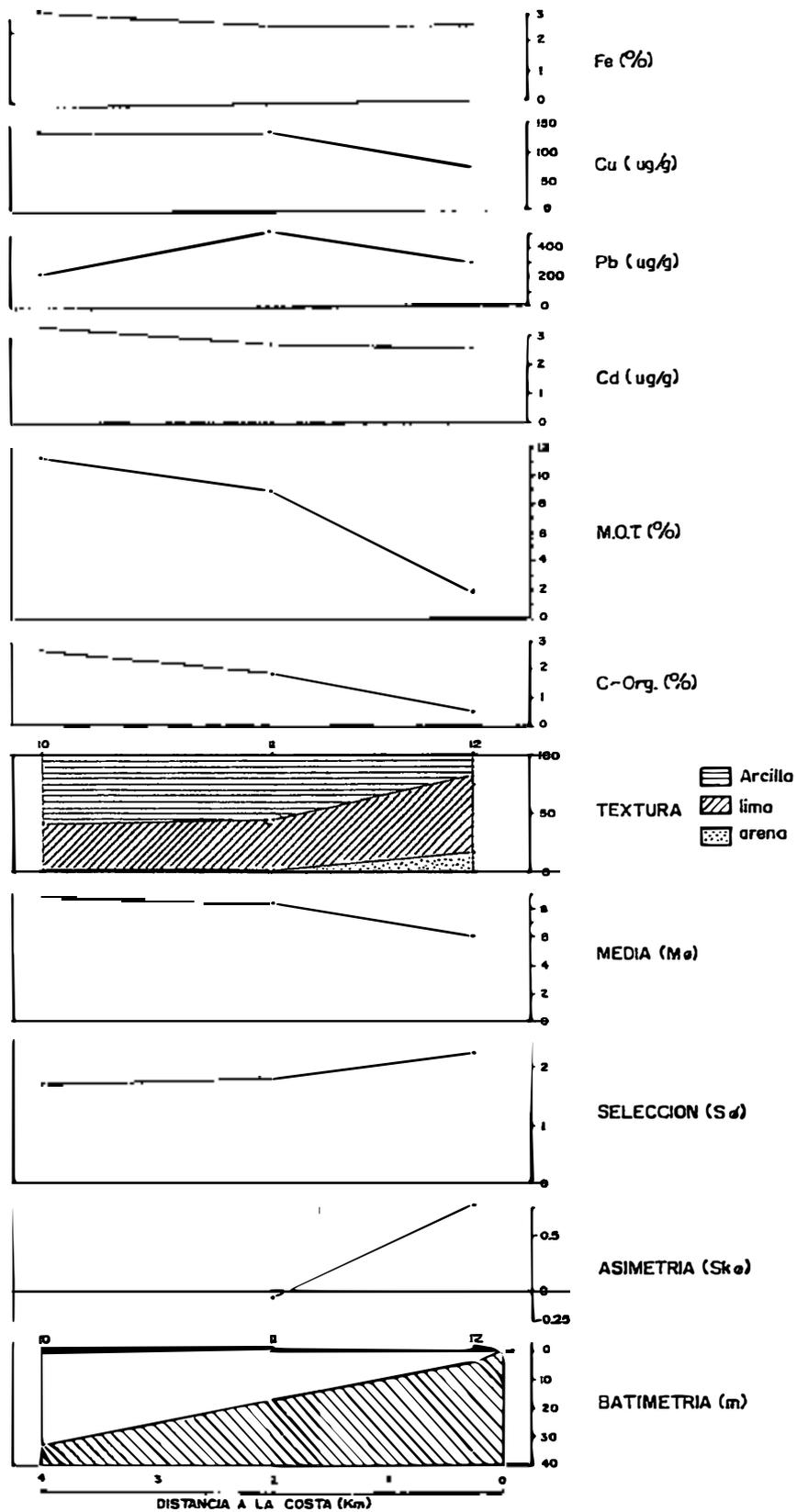


Figura 29e. Variación batimétrica de contenidos geoquímicos y granulométricos en el perfil E

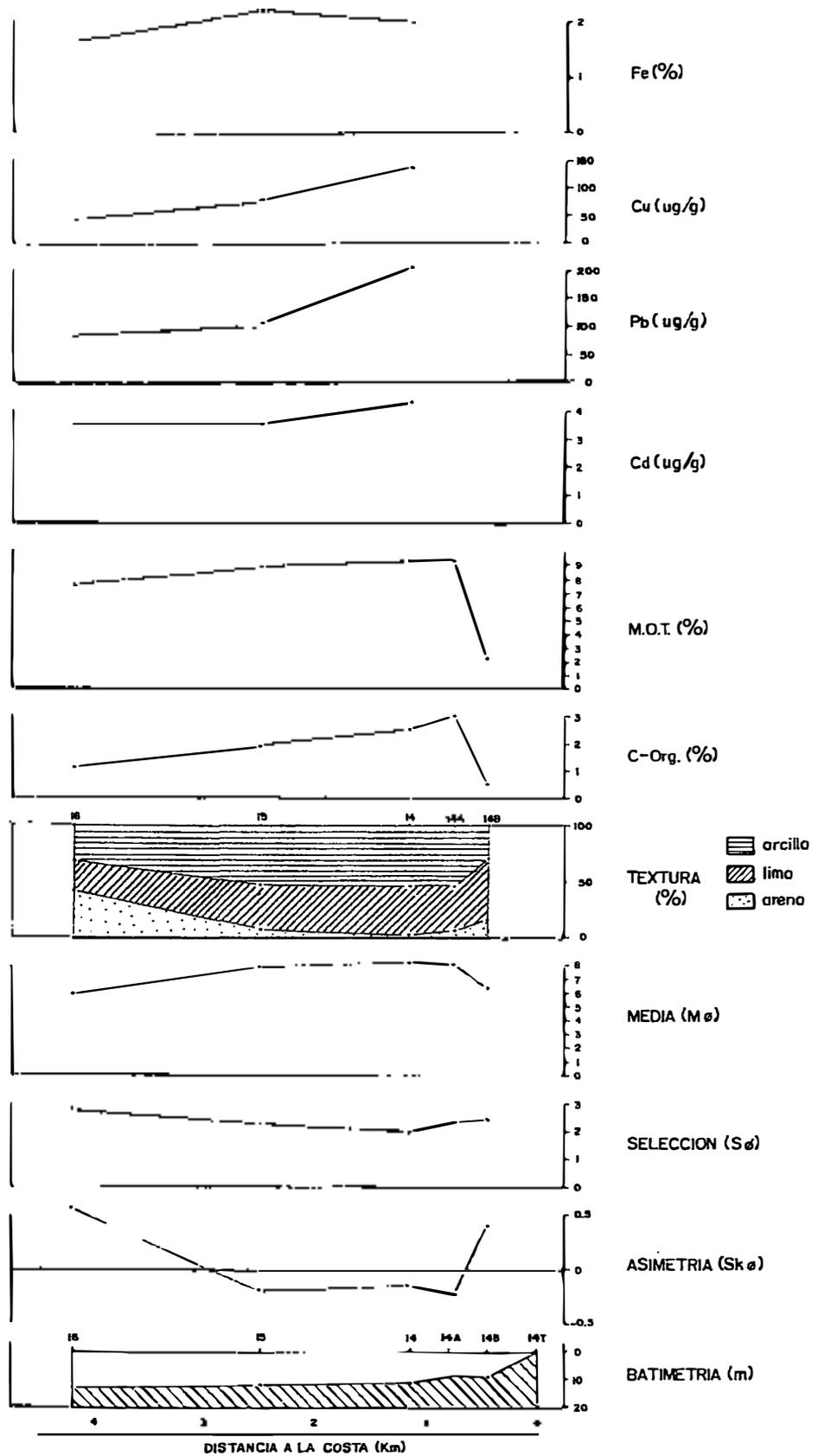
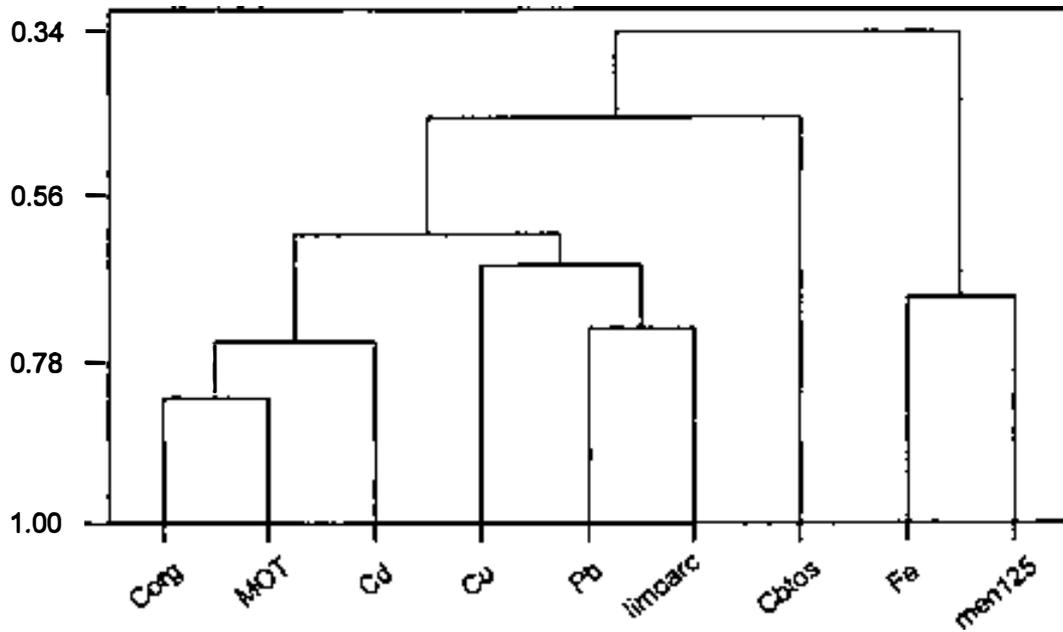


Figura 29f. Variación batimétrica de contenidos geoquímicos y granulométricos en el perfil F

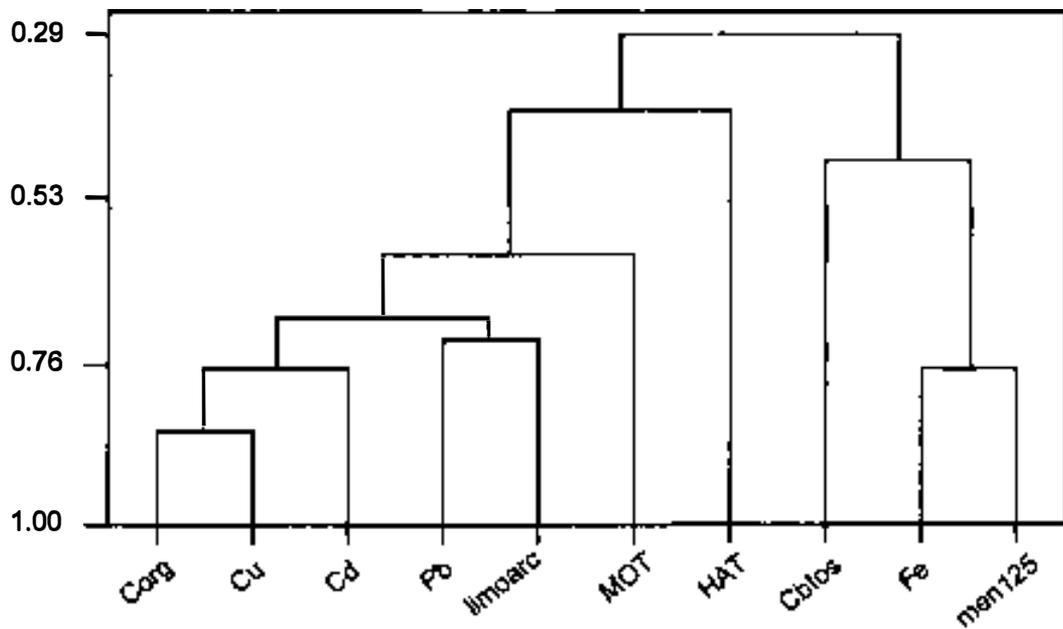
Distance



Variables

(a)

Distance



Variables

(b)

Figura 30 Dendrogramas de agrupamiento de las variables físicas y químicas
a) Sin incluir hidrocarburos. b) Incluyendo hidrocarburos.

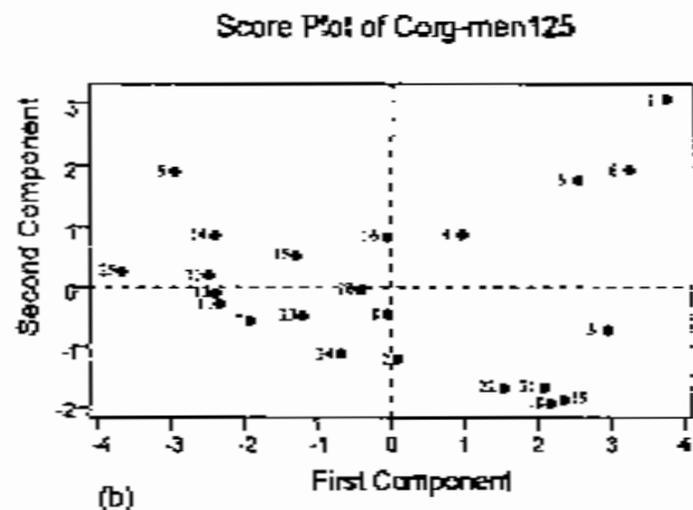
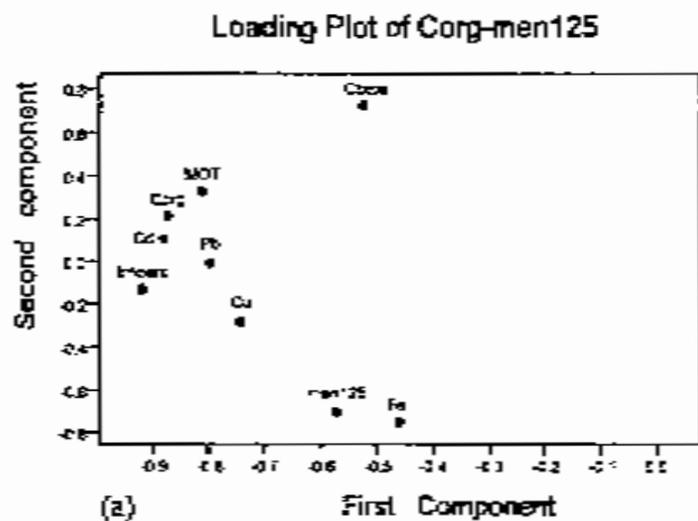


Figura 31 Representación gráfica respecto a las dos primeras componentes, sin incluir los hidrocarburos: (a) de las variables y (b) de las estaciones.

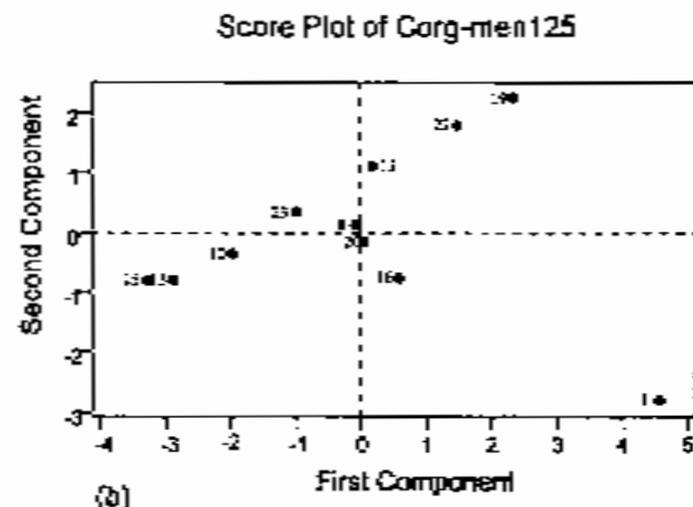
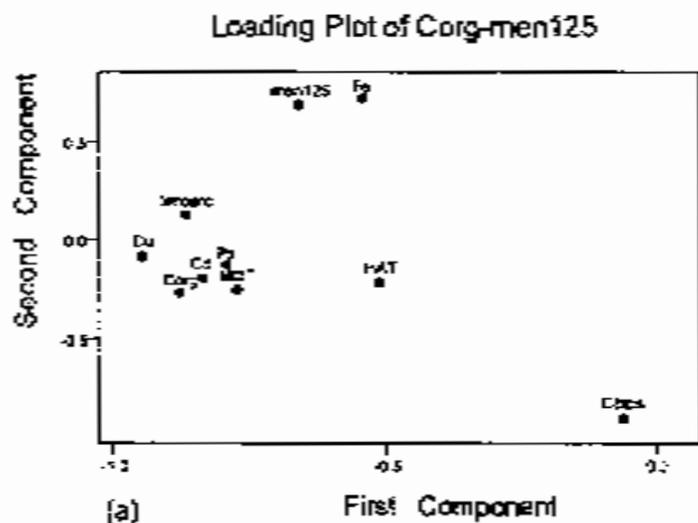


Figura 32 Representación gráfica respecto a las dos primeras componentes, incluyendo los hidrocarburos: (a) de las variables y (b) de las estaciones.

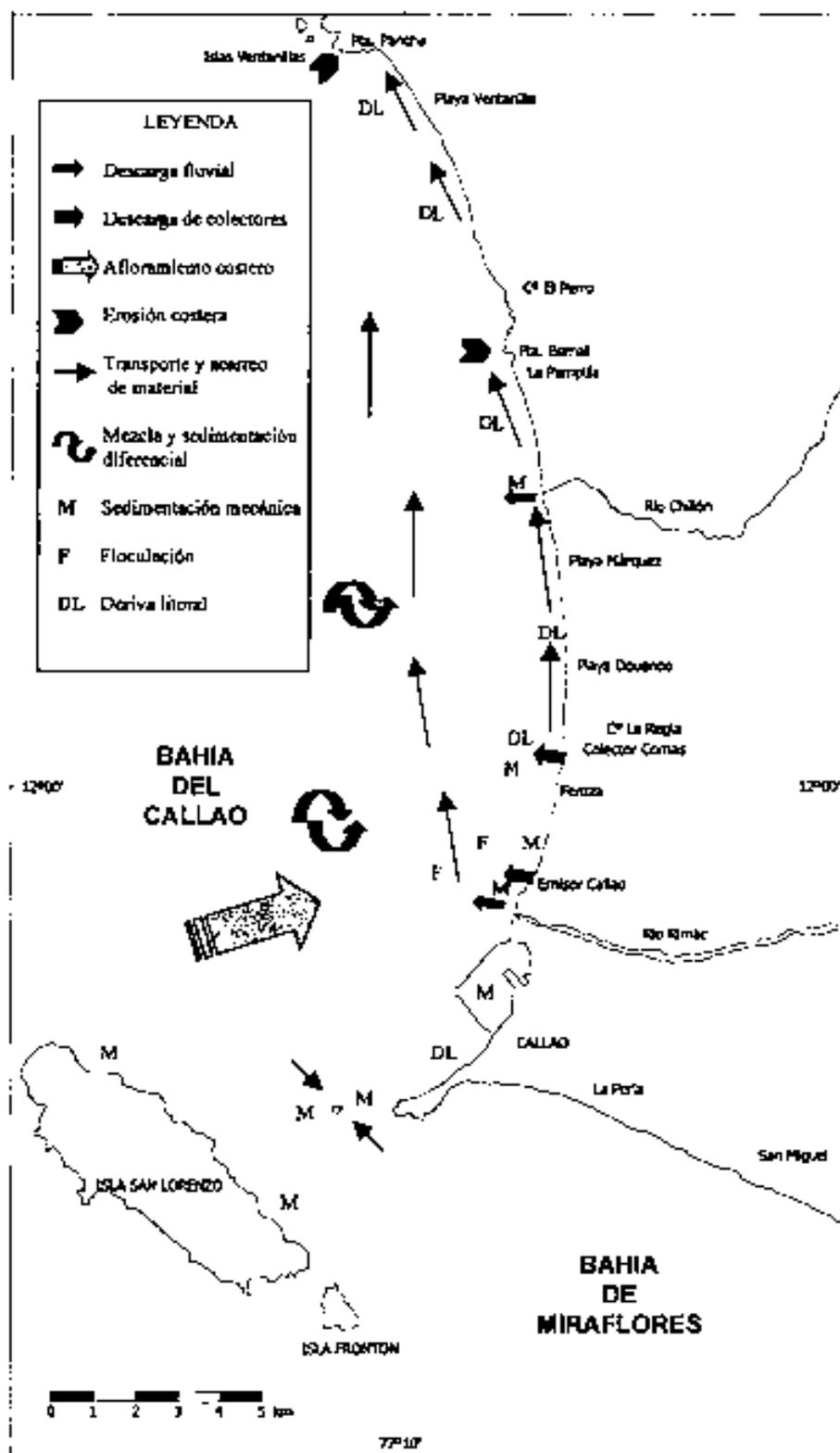
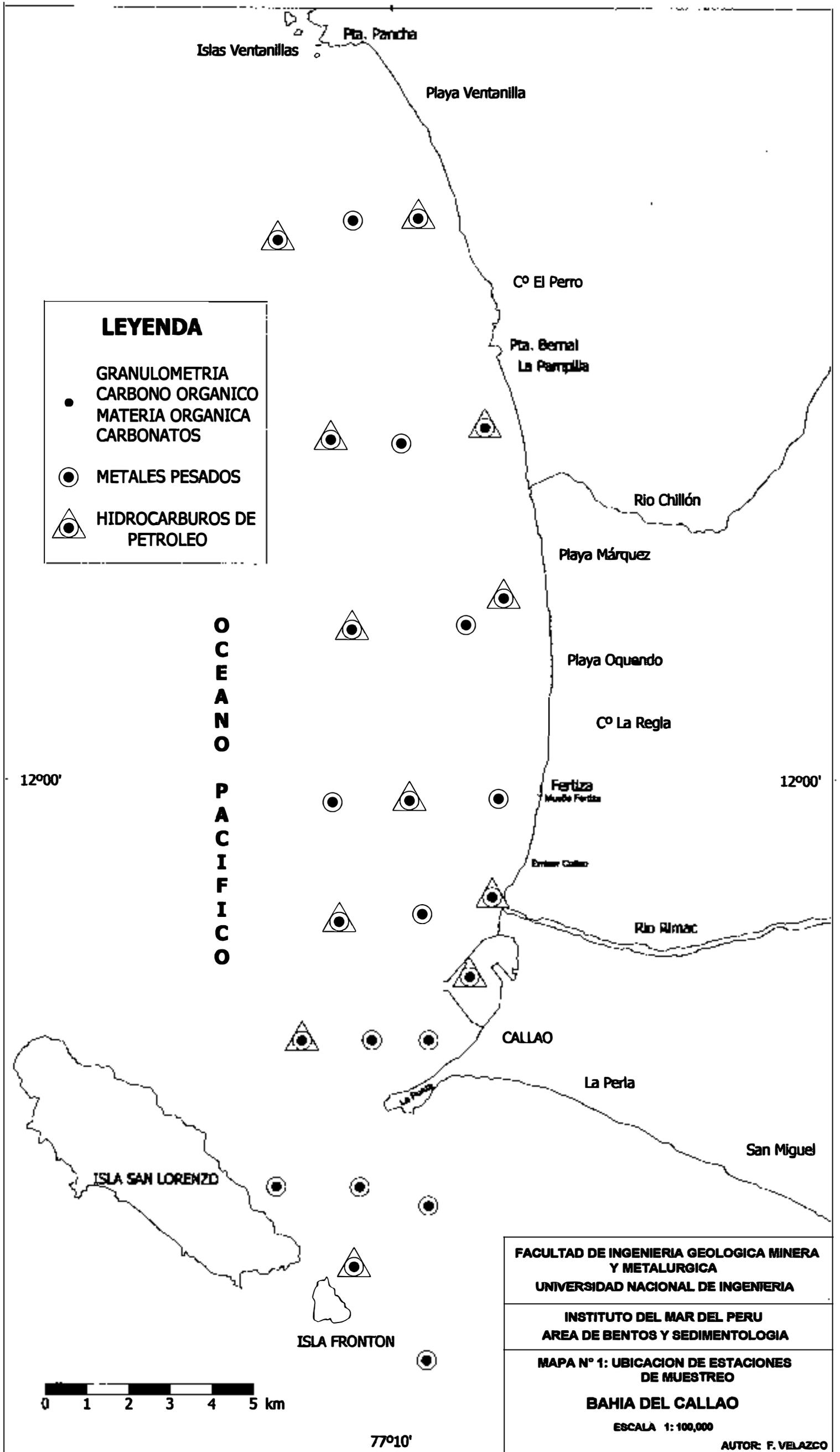


Figura 33. Esquema de los procesos sedimentarios en la bahía del Callao

ANEXO 3: MAPAS



Islas Ventanillas Pta. Pancha

Playa Ventanilla

C° El Perro

Pta. Bernal
La Pampilla

Rio Chillón

Playa Márquez

Playa Oquendo

C° La Regla

Fertiza
Mundo Fertiza

Embar. Callao

Rio Rímac

CALLAO

La Perla

San Miguel

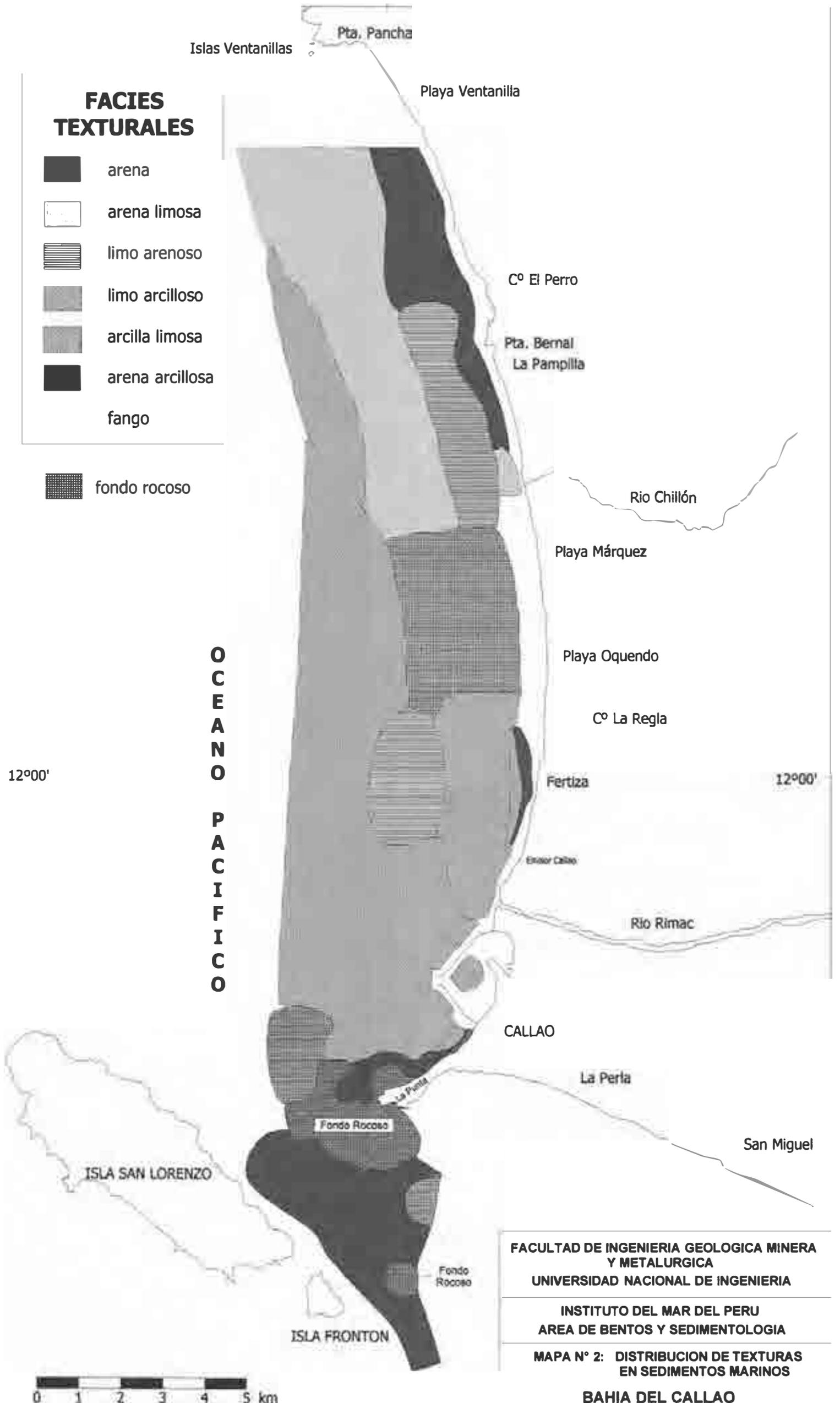
ISLA SAN LORENZO

ISLA FRONTON

FACIES TEXTURALES

-  arena
-  arena limosa
-  limo arenoso
-  limo arcilloso
-  arcilla limosa
-  arena arcillosa
- fango

-  fondo rocoso



FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA
Y METALURGICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

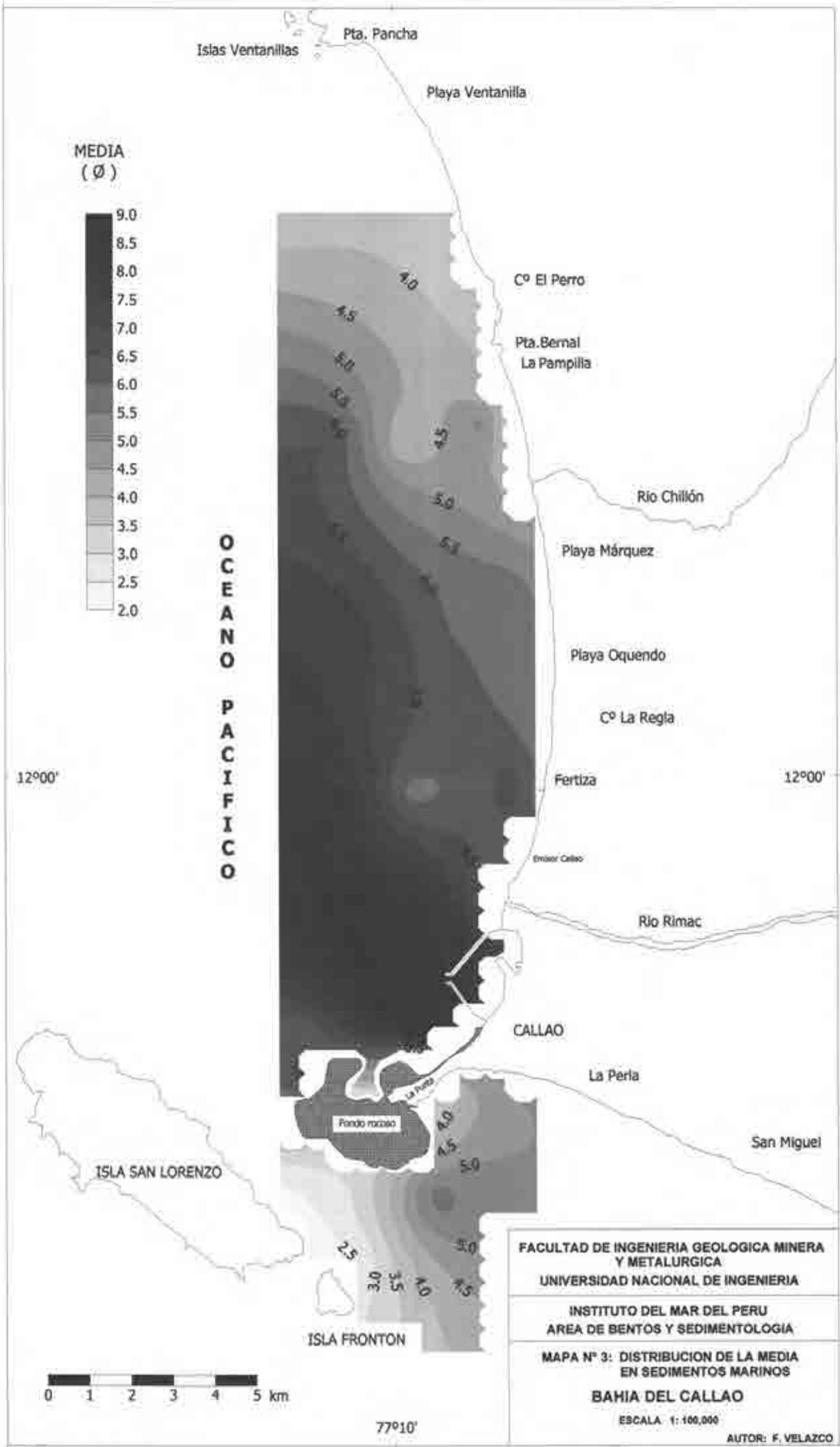
INSTITUTO DEL MAR DEL PERU
AREA DE BENTOS Y SEDIMENTOLOGIA

MAPA N° 2: DISTRIBUCION DE TEXTURAS
EN SEDIMENTOS MARINOS

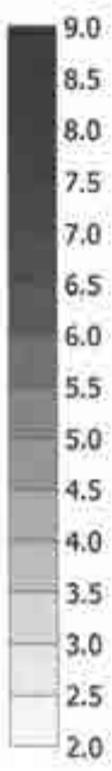
BAHIA DEL CALLAO

ESCALA 1: 100,000

AUTOR: F. VELAZCO



MEDIA
(Ø)



O
C
E
A
N
O

P
A
C
I
F
I
C
O

12°00'

12°00'

ISLA SAN LORENZO

ISLA FRONTON



77°10'

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA
Y METALURGICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

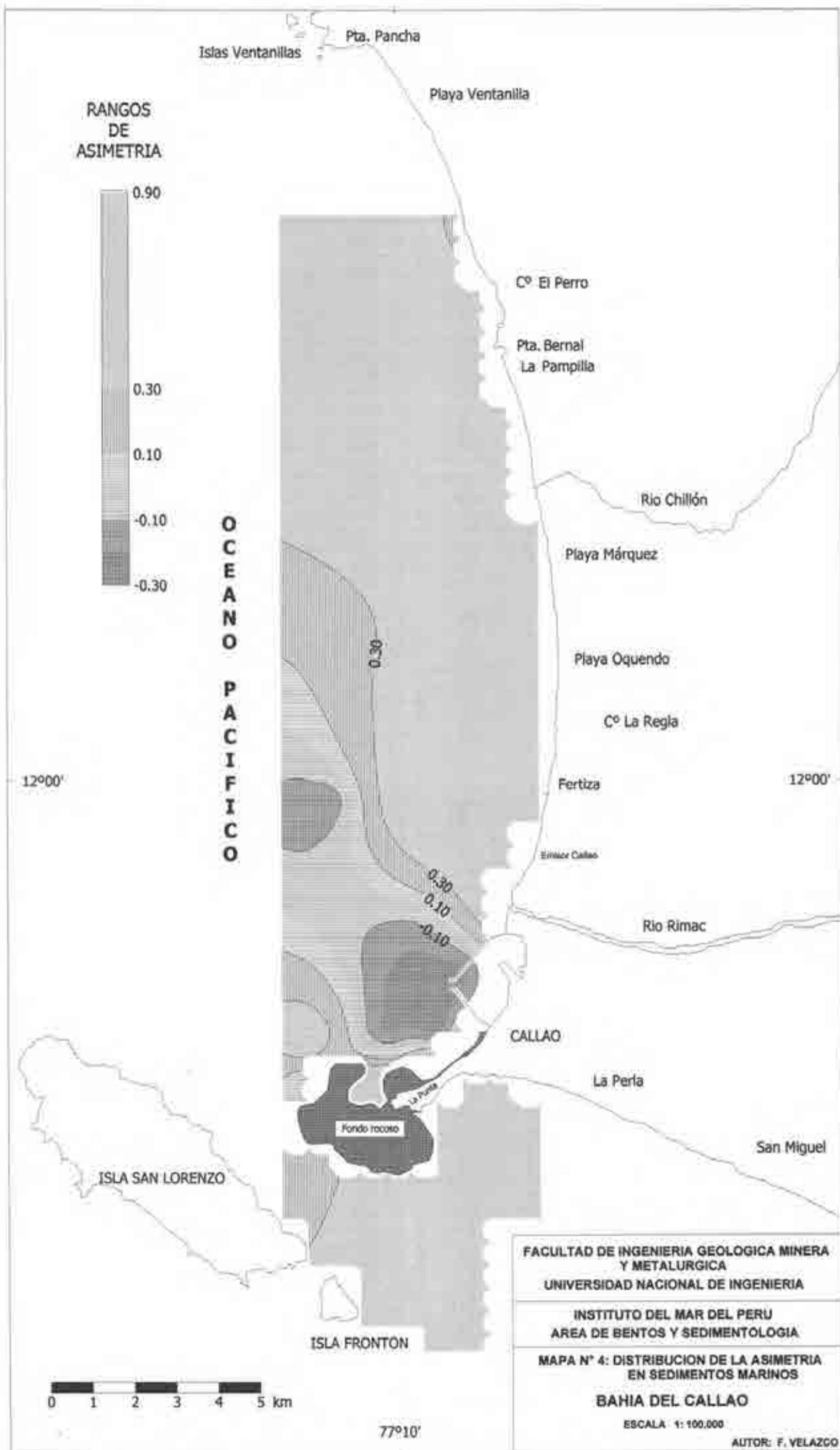
INSTITUTO DEL MAR DEL PERU
AREA DE BENTOS Y SEDIMENTOLOGIA

MAPA N° 3: DISTRIBUCION DE LA MEDIA
EN SEDIMENTOS MARINOS

BAHIA DEL CALLAO

ESCALA 1:100,000

AUTOR: F. VELAZCO



CARBONO ORGANICO (%)

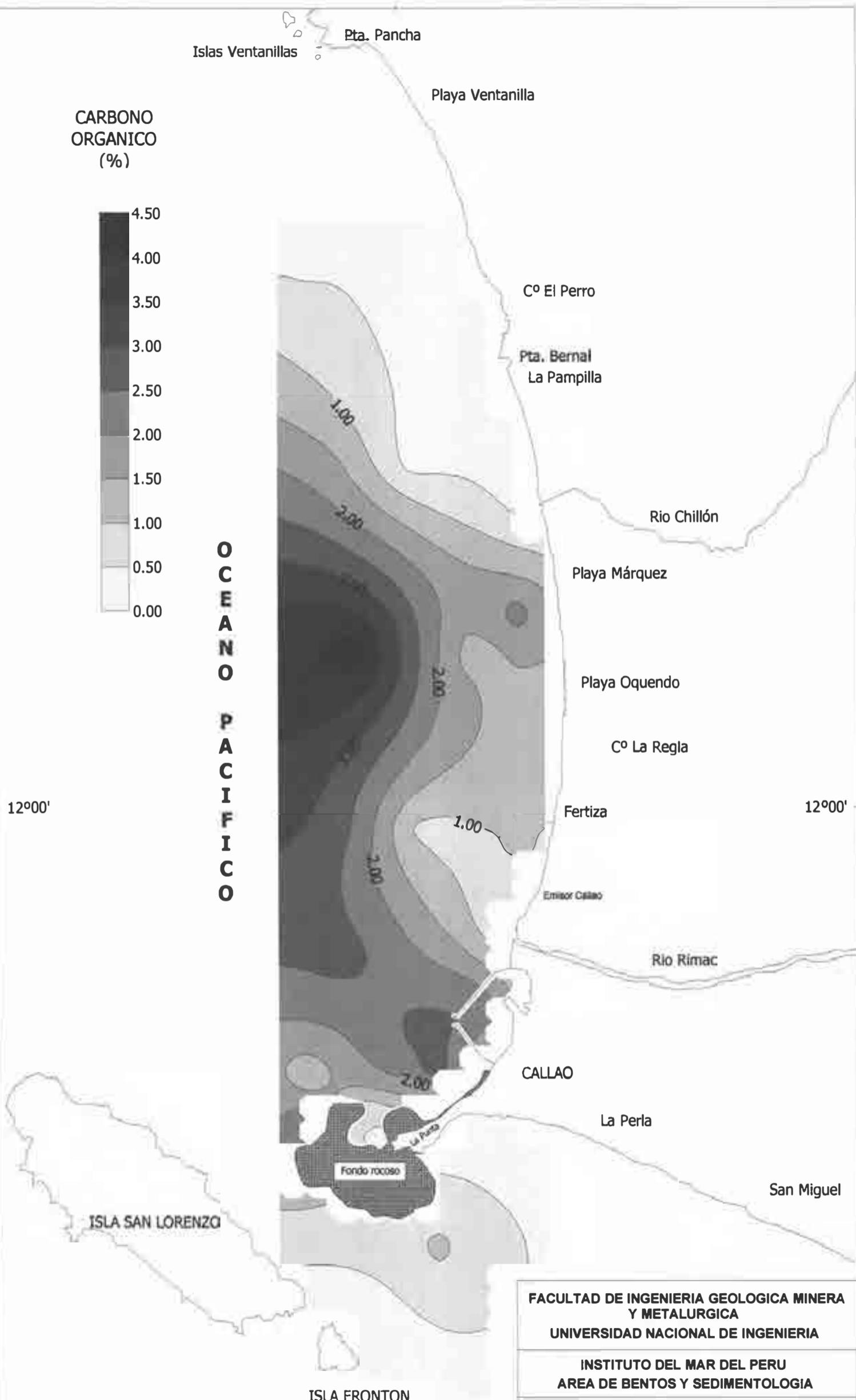


O
C
E
A
N
O

P
A
C
I
F
I
C
O

12°00'

12°00'



77°10'

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

INSTITUTO DEL MAR DEL PERU
AREA DE BENTOS Y SEDIMENTOLOGIA

MAPA N° 5: CARBONO ORGANICO EN SEDIMENTOS MARINOS

BAHIA DEL CALLAO

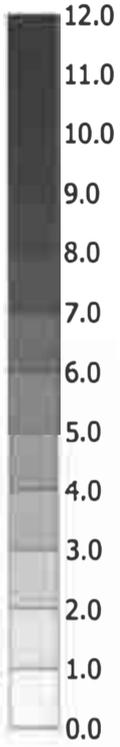
ESCALA 1: 100,000

AUTOR: F. VELAZCO

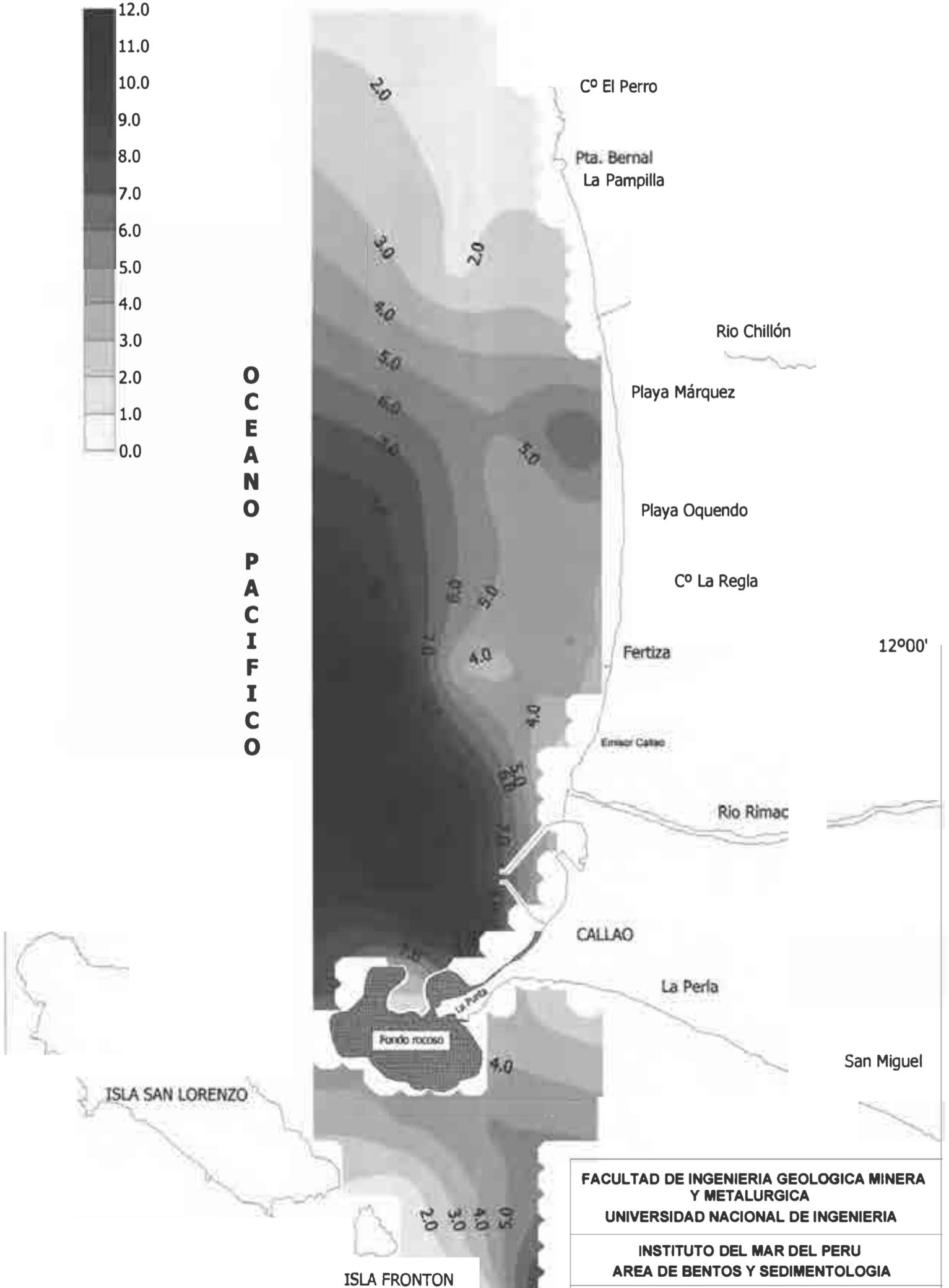
Islas Ventanillas Pta. Pancha

Playa Ventanilla

MATERIA ORGANICA TOTAL (%)



O
C
E
A
N
O
P
A
C
I
F
I
C
O



77°10'

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

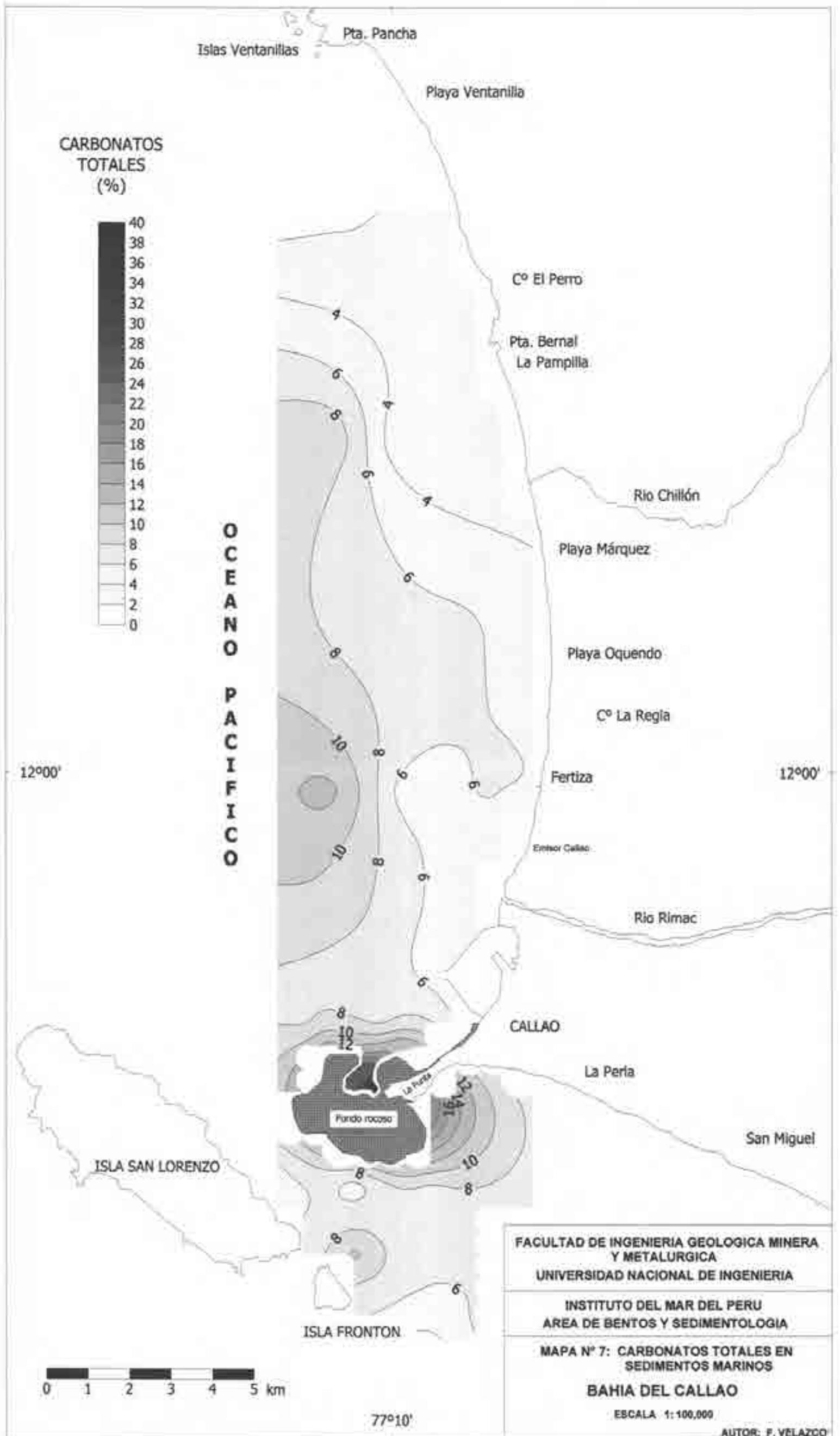
INSTITUTO DEL MAR DEL PERU
AREA DE BENTOS Y SEDIMENTOLOGIA

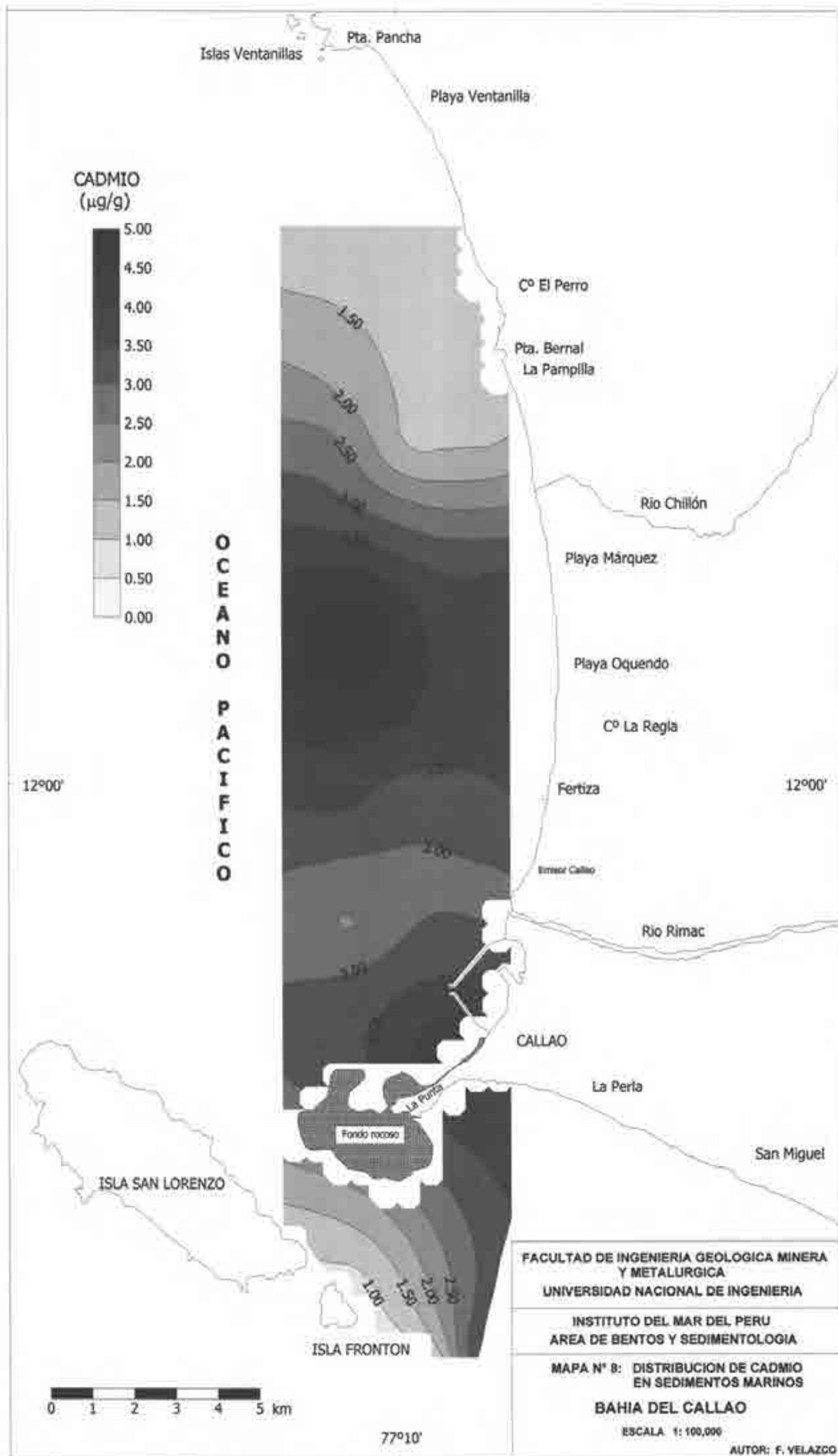
MAPA N° 6: MATERIA ORGANICA EN SEDIMENTOS MARINOS

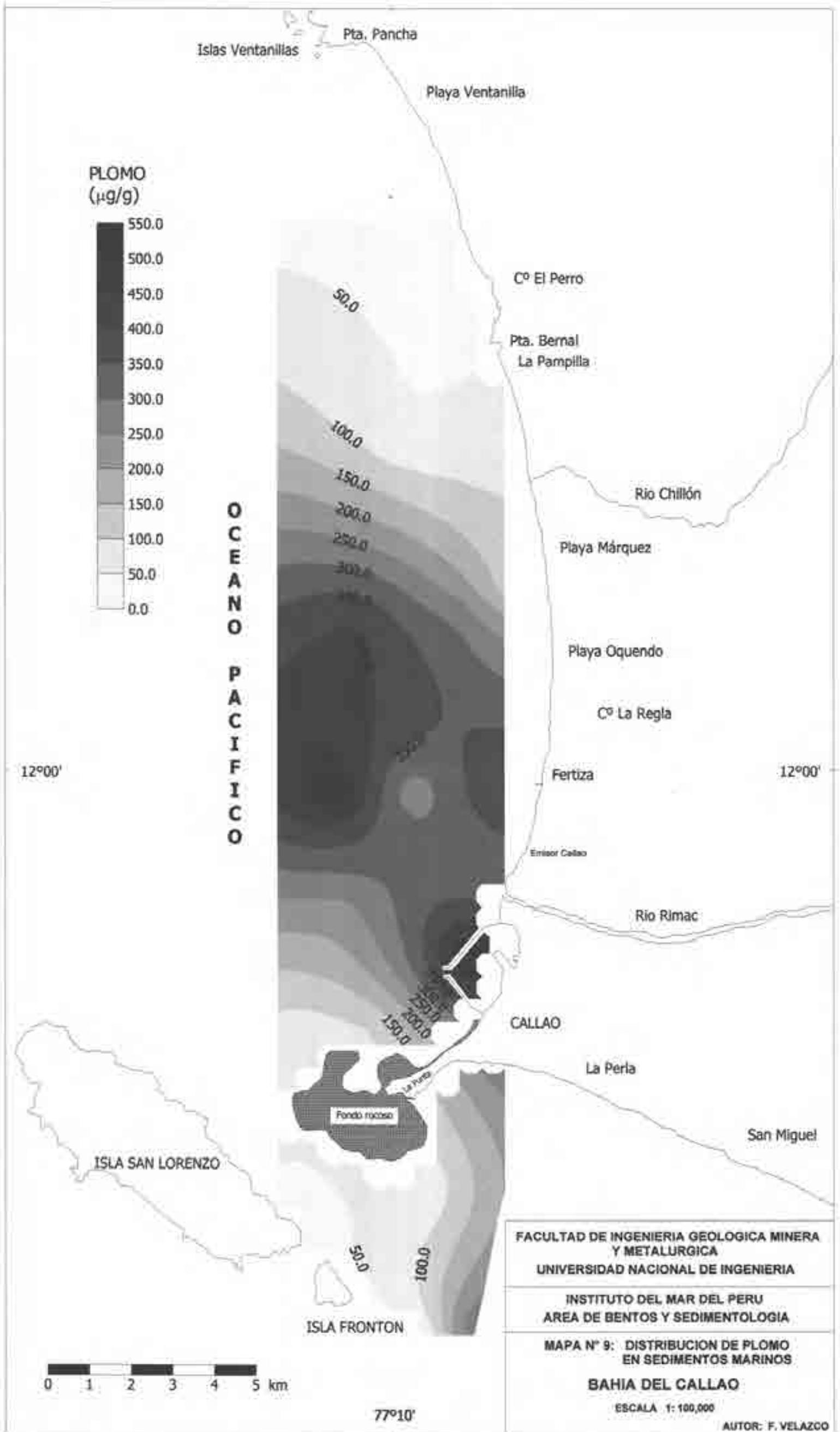
BAHIA DEL CALLAO

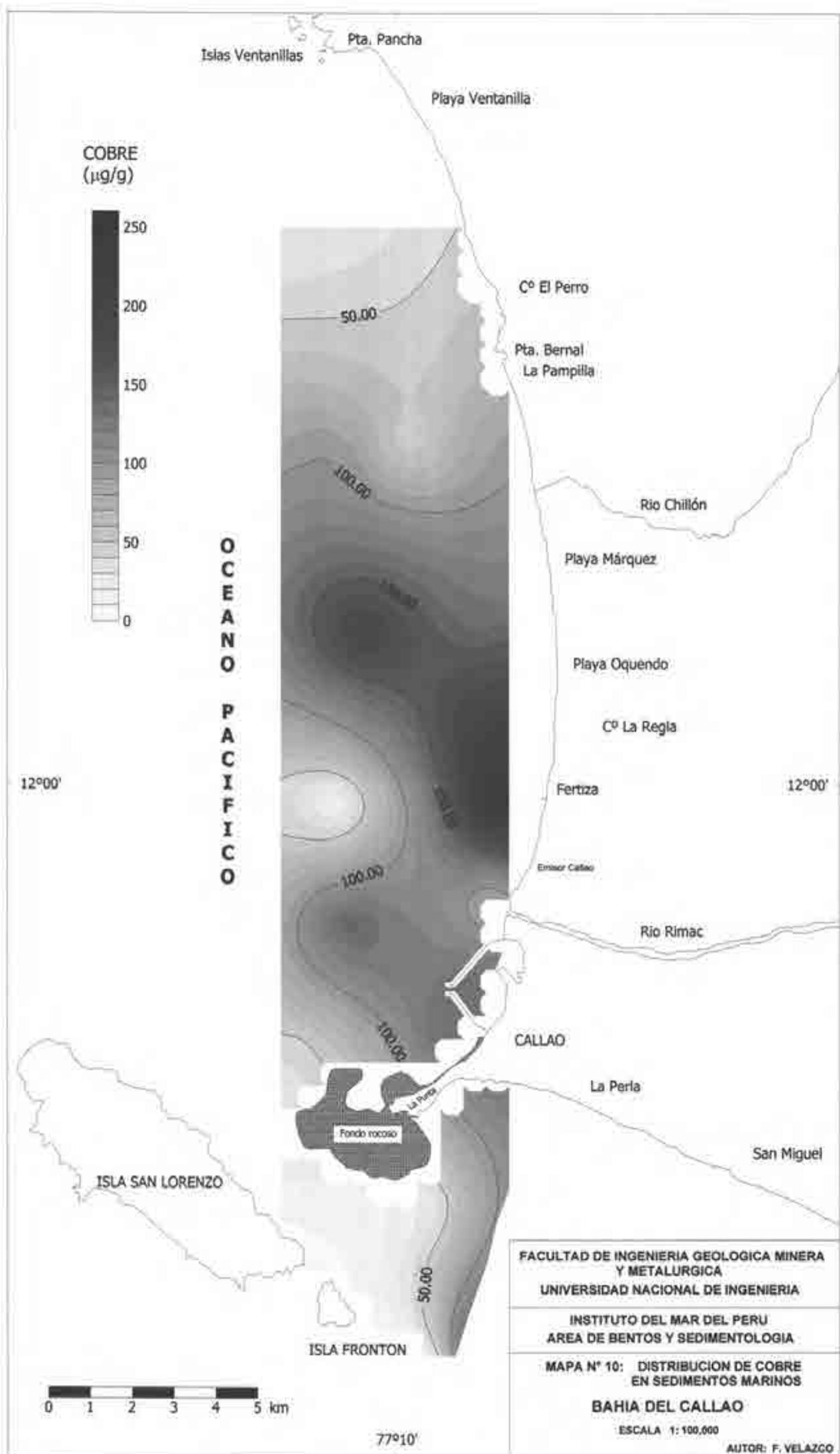
ESCALA 1: 100,000

AUTOR: F. VELAZCO

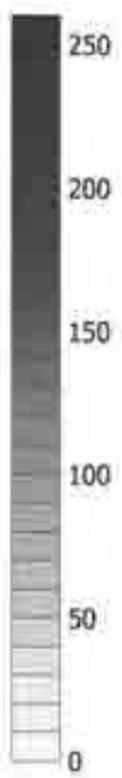








COBRE
(µg/g)



O
C
E
A
N
O
P
A
C
I
F
I
C
O

12°00'

12°00'

50.00

100.00

100.00

100.00

50.00

Fondo rocoso

ISLA SAN LORENZO

ISLA FRONTON

Cº El Perro

Pta. Bernal
La Pampilla

Rio Chillón

Playa Márquez

Playa Oquendo

Cº La Regla

Fertiza

Emisor Callao

Rio Rimac

CALLAO

La Perla

San Miguel

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA
Y METALURGICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

INSTITUTO DEL MAR DEL PERU
AREA DE BENTOS Y SEDIMENTOLOGIA

MAPA N° 10: DISTRIBUCION DE COBRE
EN SEDIMENTOS MARINOS

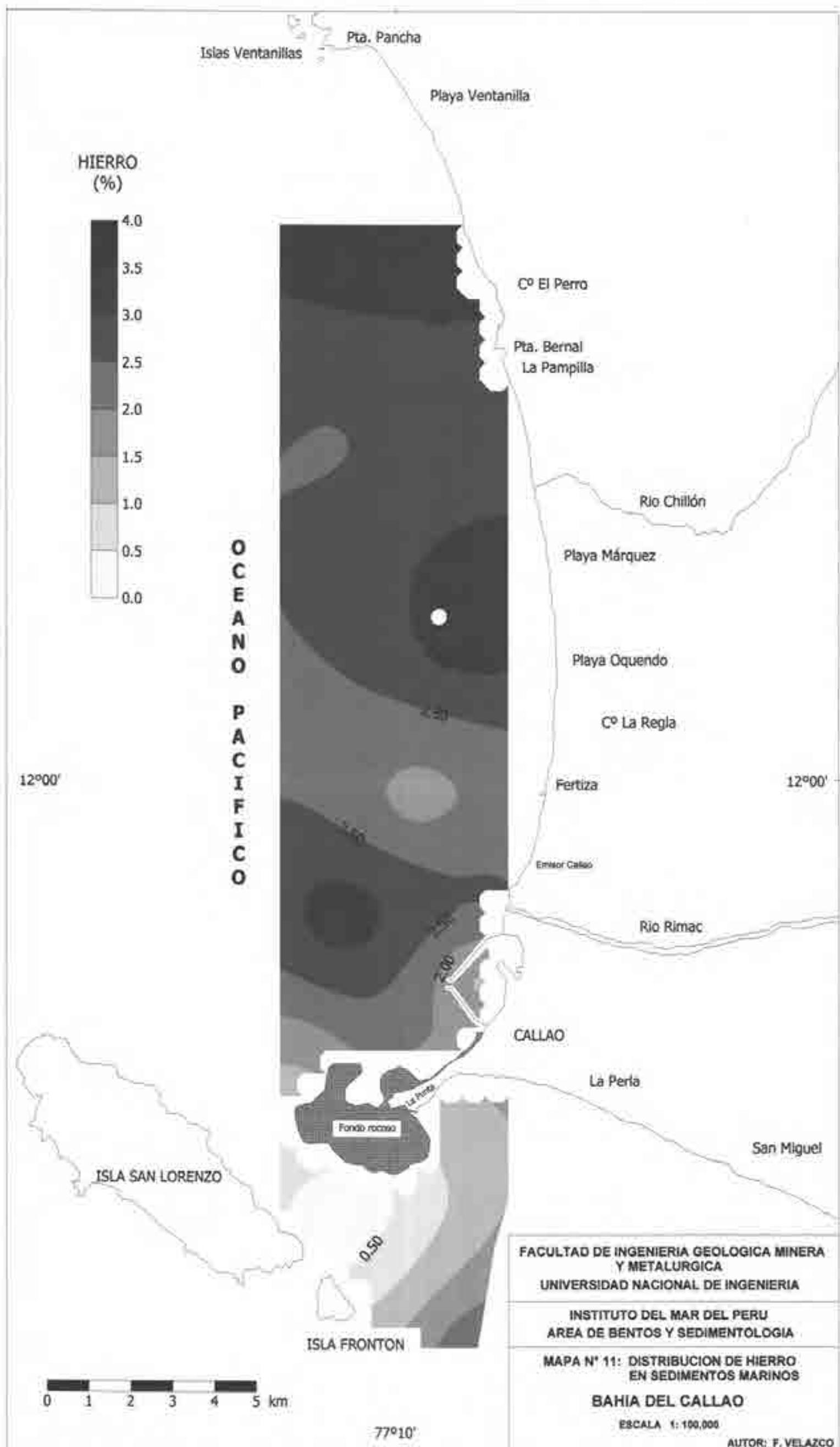
BAHIA DEL CALLAO

ESCALA 1: 100,000

AUTOR: F. VELAZCO



77°10'



HIERRO (%)



O
C
E
A
N
O
P
A
C
I
F
I
C
O

12°00'

12°00'

77°10'



FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

INSTITUTO DEL MAR DEL PERU
AREA DE BENTOS Y SEDIMENTOLOGIA

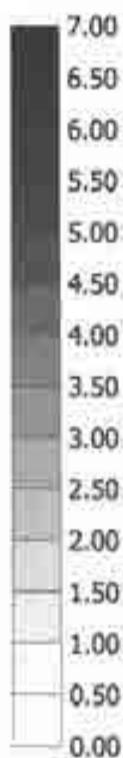
MAPA N° 11: DISTRIBUCION DE HIERRO EN SEDIMENTOS MARINOS

BAHIA DEL CALLAO

ESCALA 1: 100,000

AUTOR: F. VELAZCO

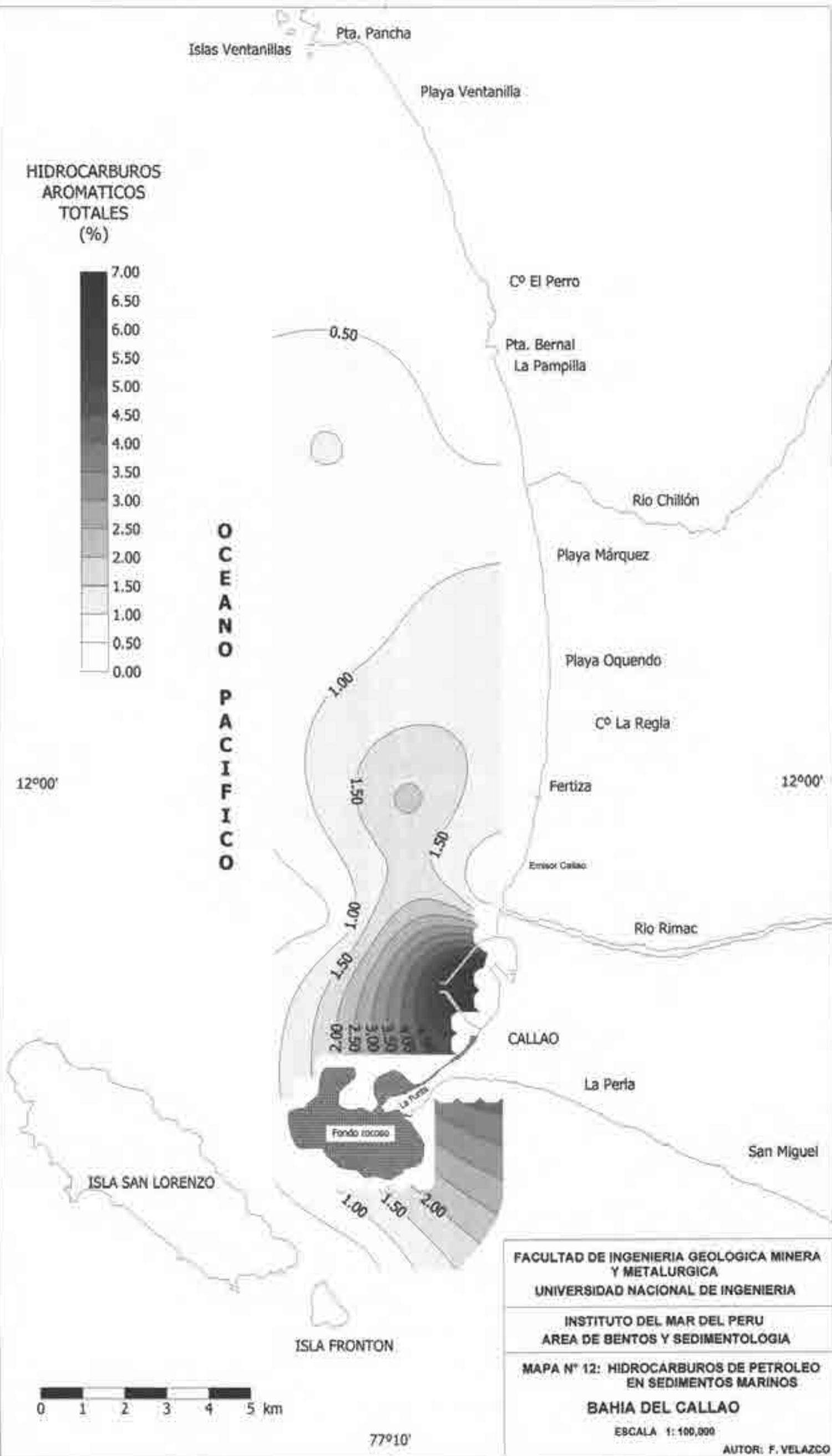
HIDROCARBUROS AROMATICOS TOTALES (%)



OCEANO PACIFICO

12°00'

12°00'



77°10'

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

INSTITUTO DEL MAR DEL PERU
AREA DE BENTOS Y SEDIMENTOLOGIA

MAPA N° 12: HIDROCARBUROS DE PETROLEO EN SEDIMENTOS MARINOS

BAHIA DEL CALLAO

ESCALA 1:100,000

AUTOR: F. VELAZCO

ANEXO 4: FOTOGRAFIAS



Foto N° 1: Muestreo del fondo marino mediante una draga tipo Van Veen. Foto N° 2: Muestreo mediante buceo.
Foto N° 3: Selección y almacenamiento de muestras para diferentes análisis (inferior derecha). (a) Para metales traza y (b) para hidrocarburos.



Análisis en el laboratorio de la granulometría de la fracción gruesa (arena y grava) por el método del tamizado (Foto N° 4), la fracción fina (limo y arcilla) se analiza por el método de la pipeta (Foto N° 5). Observación al microscopio de los componentes de la fracción gruesa (Foto N° 6).

Análisis de la materia orgánica y carbonatos por calcinación de la muestra utilizando una mufla (Foto N° 7). Análisis del carbono orgánico en los sedimentos por oxidación de la muestra y posterior titulación (Foto N° 8).



Foto N° 9: Espectroscopio de absorción atómica para análisis de metales traza
Foto N° 10: Rotavapor para análisis de hidrocarburos aromáticos totales.
Foto N° 11: Espectrofluorómetro marca SHIMATSU para lectura de hidrocarburos



Foto N° 12: Estereoscopio para estudio de diagrama de olas y línea de costa.
Foto N° 13: Mosaico de fotos aéreas del SAN, escala 1:30,000 (a) y diagrama de olas (b)



Tipos de fondo hallados. Foto N° 14: Fondo fangoso en parte sur de la bahía. Foto N° 15: Fondo arenoso (con ripple marks), frente a zona de Ventanilla. Foto N° 16: Fondo rocoso en alrededores del Banco Camotal.

ANEXO 5: DESCRIPCIÓN DEL FONDO MARINO

DESCRIPCION DE INSPECCION VISUAL MEDIANTE BUCEO SCUBA DEL FONDO MARINO EN 4 ESTACIONES EL DIA 24 DE JUNIO PARA EL PROYECTO IMARPE-CORDE CALLAO.

Durante el programa de muestreo para organismos biológicos realizado el 24 de Junio en las Estaciones 1, 2, 5 y 6, mediante Buceo Scuba se recolectó del fondo de las estaciones 5 y 6: conchas de abanico, cangrejos, caracoles, y otros organismos en menor proporción, la mayor abundancia de ellos estuvo destinada para análisis de contenido de metales pesados. Se adjunta a continuación una breve descripción del fondo observado.

Estación 1.

Fondo arenoso, visibilidad escasa: aproximadamente 15 cm, corriente intensa. No se encontró organismos para recolección, en la zona estaba ubicada una red de pesca que obstaculizaba el trabajo.

Estación 2.

Fondo conformado por cantos rodados, a manera de empedrado, algunos moluscos de una sola caparazón (Calyptreaeae), muy pequeños se encontraban fuertemente adheridos, hubiera sido preciso extraerlos con un puñal o junto con el canto al que se encontraban adheridos, haciéndose sumamente lenta, complicada y peligrosa su recolección, dadas las condiciones de intensa corriente y casi nula visibilidad <10 cm.

Estación 5.

Fondo arenoso con abundantes restos de conchas de abanico, corriente de muy baja intensidad, visibilidad de aproximadamente 1.5 m. El fondo presenta gran cantidad de fauna comparado con las anteriores estaciones, se observaron abundantes conchas de abanico (moluscos), cangrejos (crustáceos), erizos y estrellas de mar (equinodermos); también caracoles (*Thais chocolata*) pero en menor proporción, etc. Existe una gran densidad de tubos de poliquetos, sobre y dentro de la superficie arenosa (Foto N° 12).

Estación 6.

Fondo arenoso con presencia de algunos cantos, en otras zonas hay mayor densidad de cantos, en ambos casos con presencia de restos de conchas de abanico. corriente de muy baja intensidad, visibilidad aproximada 2 m. La fauna es similar a la estación 5, la abundancia también en el mismo orden, pero es posible encontrar pequeñas anémonas sobre algunos cantos, también se observaron algas (rodofitas).

**DESCRIPCION VISUAL DEL FONDO MARINO DE 9 ESTACIONES
DURANTE EL MUESTREO DE LOS DIAS 8, 9 Y 10 DE DICIEMBRE DE
1994. PROYECTO IMARPE-CORDE CALLAO.**

Durante el programa de muestreo para organismos biológicos realizado el 8, 9 y 10 de Diciembre de 1999, mediante Buceo Scuba se recolectó del fondo de las estaciones 3, 9, 14, 18, 21, 4, C-1, C-2 y C-4: Conchas de Abanico, Cangrejos, Caracoles, y otros organismos en menor proporción, la mayor abundancia de ellos estuvo destinada para Análisis de contenido de metales pesados. Se adjunta a continuación una breve descripción del fondo observado.

Estación 3

Fondo arenoso, ligera corriente, visibilidad <15 cm, presencia de Ripples (estructuras sedimentarias en forma de cresta originadas por corrientes submarinas).

Estación 9

Fondo fangoso, corriente nula, visibilidad nula. se percibe un fuerte olor a sulfuro de hidrógeno, no se observó presencia de vida.

Estación 14

Fondo fangoso, corriente nula, se percibe un olor a sulfuro de hidrógeno muy fuerte y persistente, no se observó presencia de vida (Foto N° 14).

Estación 18

Fondo arenoso, ligera corriente pero mayor que en todas las estaciones observadas en este último muestreo, visibilidad 15 cm, presencia de Ripples.

Estación 21

Fondo fangoso, ligera corriente, visibilidad nula, se percibe el olor de sulfuro de hidrogeno.

Estación 4

Fondo fangoso, ligera corriente, visibilidad (<15 cm), se percibe un olor sulfuroso ligero.

Estación C-1

Fondo arenoso, sin corriente, visibilidad 2 m, presencia de crustáceos (jaivas) y bivalvos, zona límite entre cantos y arena.

Estación C-3

Fondo de cantos rodados, ligera corriente, presencia de algas, anémonas, crustáceos (jaivas), erizos, gasterópodos (*Thais Chocolata*), visibilidad 2 m (Foto N° 16).

Estación C-4

Fondo arenoso, corriente, visibilidad 1.5 m, presencia de crustáceos (jaivas), zona límite entre cantos y arena, en zona de arena hay presencia de ripples.

FEDERICO VELAZCO CASTILLO
BUZO PROFESIONAL
PTTE. N° CO-00078 - BU