PNUMA

MARES REGIONALES

Estudio del Impacto Ambiental de la Descarga Submarina en el puerto de Coloso

Informes y Estudios del Programa de Mares Regionales del PNUMA No. 153

Preparado en colaboración con la

CPPS

PNUMA 1993

INDICE

Página

RESUMEN iii
INTRODUCCIÓN iv

1. ANTECEDENTES GENERALES DEL PROCESO EN ESCONDIDA 1

1.1 SUMINISTRO DE AGUA 1

1.2 PROCESAMIENTO METALÚRGICO Y TRANSPORTE DE CONCENTRADO 1
Circuito de Molibdeno 1
Disposición de Relaves 2
Transporte Hidráulico del Concentrado 2

1.3 PROCESO EN EL PUERTO DE COLOSO 3
Remoción de Sólidos Suspendidos 3
Celdas de Carbón Activado 3
Filtros de Cartucho 3
Planta de Osmosis Reversa 3

2. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL EN COLOSO 4

2.1 CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE 4
Simulación del Proceso 4
Composición y Nivel de Toxicidad del Efluente Simulado 5

2.2 SISTEMA DE DISPOSICIÓN SUBMARINA DEL EFLUENTE 5
Selección del Punto de Vertimiento 5
Diluciones Requeridas por la Composición del Efluente 5
Diseño del Sistema 6
Comportamiento de la Descarga 6

2.3 DESCARGA SUBMARINA DEL EFLUENTE Y ANÁLISIS DE PROBABLES ESCENARIOS 7
Escenario de Probabilidad Natural 1 7
Escenario de Probabilidad Natural 2 8
Escenario de Probabilidad Natural 3 8
Escenario de Probabilidad Natural 4 8

2.4 ESTUDIO DE LINEA BASE 8
Meteorología 8
Correntometría 8
Estudio de Comunidades Inter y Submareales 9
Oceanografía Físico-Biológica 9

2.5 EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA DESCARGA SUBMARINA 10

3. VERIFICACIÓN DE LA DILUCIÓN CON TRAZADORES 11

4. SEGUIMIENTO Y MONITOREO **11**

4.1 MONITOREO DE LA EMISIÓN 11

4.2 MONITOREO DE PUESTA EN MARCHA 11

4.3 PROGRAMA DE BIOENSAYOS 12

4.4 MONITOREO DE LARGO PLAZO 12

5. ALCANCES SOBRE EL ESTUDIO AMBIENTAL EN COLOSO **13**

5.1 ANTECEDENTES LEGALES 13

5.2 COSTO DEL PROGRAMA AMBIENTAL 13

5.3 POLÍTICA COMUNICACIONAL 13

ANEXO 1: TABLAS

ANEXO 2: FIGURAS

RESUMEN

El estudio de Impacto Ambiental de la Descarga Submarina en el Puerto de Coloso, se realizó con el objeto de caracterizar los efectos que tendría el desaguado del concentrado de cobre que se efectúa en dichas instalaciones, 14 km al sur de Antofagasta. El puerto forma parte de la infraestructura construída por Minera Escondida entre 1988 y 1990, siendo utilizado para recibir y filtrar la pulpa de concentrado que se conduce por una tubería desde el sitio de la mina, procediéndose a su embarque periódico hacia distintos mercados alrededor del mundo.

El estudio comprende la descripción tanto de los aspectos productivos, con énfasis en el procesamiento metalúrgico, como asimismo la caracterización del vertimiento efectuada antes del inicio de las operaciones del puerto a fines de 1990. Se incluye además, el diseño de un sistema de tratamiento en el puerto, los criterios para la selección del punto de descarga, la ingeniería del sistema de disposición submarina, un completo modelamiento de la pluma de dilución y de la dispersión del vertimiento en el medio, con un pronóstico del impacto resultante.

Se entrega un resumen de lo realizado como parte del establecimiento de una detallada línea base ambiental, con una definición de los escenarios probables para considerarlos en el pronóstico de impacto. Se incluyen también los resultados de las pruebas de verificación del modelamiento de la pluma de dilución, efectuadas con Rodamina WT a comienzos de 1991, durante la puesta en marcha del sistema de descarga submarina.

El plan de seguimiento y monitoreo es descrito en cierto detalle, mencionándose brevemente los resultados obtenidos durante el primer año de operación de las instalaciones del puerto. El costo estimado de este programa ha sido de US$ 3.4 millones, desarrollándose paralelamente un intenso programa comunicacional hacia la comunidad.

INTRODUCCIÓN

La mina Escondida está ubicada en la Segunda Región de Chile, a 160 Km al sureste de la ciudad de Antofagasta y a 3.100 metros de altura sobre el nivel del mar (Figura 1). El yacimiento es de propiedad de Minera Escondida Limitada, la cual está conformada en un 57.5% por la empresa australiana The Broken Hill Proprietary (BHP), en un 30% por la empresa inglesa Río Tinto Zinc (RTZ), en un 10% por un consorcio japonés encabezado por Mitsubishi Corporation y, en un 2.5%, por la Corporación Financiera Internacional del Banco Mundial.

El depósito fue descubierto en marzo de 1981 como resultado de un intenso y dinámico programa de exploraciones, desarrollado en el norte de Chile a partir de 1979. Desde esa fecha se estudiaron diversos conceptos de desarrollo, con actualizaciones periódicas en la medida en que se obtenía nueva información de las prospecciones que se realizaban en terreno.

La primera versión del estudio de factibilidad fue finalizada a mediados de 1984. Desde esa fecha y durante el año 1985, se produjeron cambios en la propiedad del yacimiento que culminaron con los actuales propietarios de Escondida. En los dos años siguientes, se efectuaron intensos esfuerzos para lograr el financiamiento que permitiría ejecutar el proyecto. De esta forma, en agosto de 1988 se lograron los créditos necesarios, que junto al aporte de los propietarios, permitieron construir la infraestructura necesaria y preparar la mina para su entrada en producción, con una inversión final de US$ 835 millones.

El sistema de producción contempla la explotación de 35.000 toneladas diarias de mineral sulfurado de cobre, mediante un proceso de flotación convencional, resultando de esta forma 2.000 toneladas diarias de concentrado de cobre. Este material es transportado junto con agua de proceso hasta el puerto de Coloso, por medio de una tubería de 7 a 8 pulgadas de diámetro y una extensión de 170 km, donde se procede a desaguarlo para su posterior embarque. Sin embargo, este último proceso planteó la necesidad de conocer con anticipación los efectos que la descarga del efluente líquido pudiera tener en el ecosistema marino. Para ello se diseñó un programa que incluyó la simulación del proceso metalúrgico, el proceso de tratamiento del agua en Coloso, el diseño de un sistema seguro de descarga, que a su vez implicó un estudio oceanográfico detallado, el establecimiento de una línea base ambiental y una evaluación del impacto probable en la forma de un pronóstico.

Antes de la decisión de inversión y como parte de las diferentes actualizaciones realizadas en el estudio de factibilidad, se analizaron distintas alternativas de disposición terrestre, además de la submarina. Dichas alternativas, de una forma u otra, implican una evaporación con la subsecuente concentración y precipitación de elementos salinos, con el consiguiente inconveniente de su acumulación en el tiempo y el manejo de su disposición. Atendiendo además a los aspectos técnicos adicionales, tales como el área requerida para la evaporación, las limitaciones físicas en el sector del puerto, los problemas inherentes al bombeo si el lugar de disposición no estuviera en Coloso, como también el control de la infiltración en el terreno, los costos involucrados habrían sido significativamente mayores sin proporcionar una alternativa mas segura en el manejo de este efluente.

Hacia fines de 1988 y habiéndose comenzado los trabajos de preparación de la infraestructura en la mina, se procedió a calificar a los grupos técnicos y científicos que, finalmente, desarrollarían los programas diseñados en Coloso. Los trabajos fueron asignados a la empresa GEOTECNICA CONSULTORES de Chile y a la empresa RESCAN ENVIRONMENTAL SERVICES de Canadá. La primera, desarrolló los estudios de línea base, parte de la oceanografía, las evaluaciones de impacto y las proposiciones de monitoreo ambiental. La empresa canadiense se encargó de la simulación en laboratorio para caracterizar el efluente, el diseño tanto de la ingeniería del sistema de tratamiento como también del sistema de disposición submarina, el modelamiento de la pluma de dilución, instrumentación y análisis oceanográficos, y las pruebas de verificación con el sistema en operación.

Este informe resumido, constituye una guía representativa de los ocho tomos con la información del estudio de impacto, que fuera entregado a la autoridad marítima de Chile y al Servicio de Salud de la ciudad de Antofagasta. La autorización respectiva para proceder finalmente con la construcción y operación de la descarga submarina, fue concedida a mediados de 1990 por la autoridad correspondiente, representada en Chile por la DIRECCIÓN GENERAL DEL TERRITORIO MARÍTIMO Y MARINA MERCANTE.

PREFACIO

En noviembre de 1981, Panamá, Colombia, Ecuador, Perú y Chile adoptaron el Plan de Acción para la Protección del Medio Marino y Areas Costeras del Pacífico Sudeste (PA/PSE). El objectivo principal del PA/PSE es la "protección del medio marino y las áreas costeras, para promover la preservación de la salud y el bienestar de las generaciones presentes y futuras. El Plan tiende a proporcionar el marco apropiado para el establecimiento y aplicación de una política adecuada e integral que permita alcanzar tal objectivo, teniendo en cuenta las necesidades particulares de la región."

Dentro de las actividades del Plan de Acción, las evaluaciones de impacto ambiental de actividades de desarrollo en las zonas costeras han sido consideradas como una prioridad para la protección de las áreas marinas costeras. Este estudio ha sido preparado por un grupo de consultores contratado por la Empresa Minera Escondida, y constituye el primer estudio de caso preparado por la empresa privada utilizado por la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) como base para un curso inter-regional sobre las evaluaciones de impacto ambiental en áreas costeras de América Latina y el Caribe.

1. ANTECEDENTES GENERALES DEL PROCESO EN ESCONDIDA

Desde el descubrimiento del yacimiento se desarrolló una serie de trabajos exploratorios que permitieron determinar la existencia de una cubierta estéril sin mineralización y, bajo ella, un cuerpo mineralizado con súlfuros de cobre principalmente del tipo calcosina (Cu_2S) y covelina (CuS), con cantidades menores de molibdenita (MoS_2). Las zonas más ricas alcanzan sobre los 400 metros de espesor.

En base a los resultados de los estudios de factibilidad, en agosto de 1988 comenzaron los trabajos de preparación de la mina, que opera a tajo abierto, incluyéndose las actividades de construcción de la infraestructura necesaria para la etapa de producción. Ello significó un nuevo campamento, talleres, bodegas, planta concentradora, espesadores de relave y de concentrado, sistemas de captación de aguas subterráneas, subestaciones eléctricas, líneas y torres de alta tensión para integrarse al Sistema Interconectado del Norte Grande de Chile (SING) y, asimismo, un nuevo camino de acceso. Las reservas extraíbles alcanzan a 662 millones de toneladas, con una ley media de 2.12% de cobre, considerándose un horizonte de 52 años de operación. El inicio de la etapa de producción comenzó en noviembre de 1990.

1.1 SUMINISTRO DE AGUA

El procesamiento metalúrgico del mineral requiere la utilización de agua a una razón promedio de 423 litros por segundo. Estos recursos se obtienen de napas subterráneas salobres ubicadas en el margen este y noreste del salar de Punta Negra, 40 Km al sureste de la mina (Fig.2). El campo de pozos se ubica en un eje norte-sur y a lo largo de 30 Km, estando conectados por un sistema de tuberías y bombas eléctricas que permiten su aducción a la planta metalúrgica. Análisis químicos realizados al agua subterránea de Punta Negra han permitido señalar que ésta es salobre, con un contenido de sólidos disueltos entre 3.500 y 4.000 ppm. Estos sólidos disueltos corresponden a cantidades variables de bicarbonato de sodio, sulfato de potasio, cloruro de magnesio, cloruro de calcio, cloruro y sulfato de sodio principalmente.

1.2 PROCESAMIENTO METALÚRGICO Y TRANSPORTE DEL CONCENTRADO

Minera Escondida procesa 35.000 toneladas diarias de mineral sulfurado, resultando de esta forma 2.000 toneladas de concentrado de cobre y 33.000 toneladas de relaves.

El mineral que se extrae de la mina se chanca y se envía a la planta concentradora, mediante un sistema de correas transportadoras para su molienda, en una combinación de molinos semiautógenos y de bolas. Posteriormente a la molienda, el mineral se flota y el cobre se concentra metalúrgicamente mediante flotación, utilizándose principalmente acondicionadores de pH (cal), colectores y espumantes (Fig.3). Este concentrado de cobre, que puede tener cierta cantidad de molibdeno, originalmente constituiría el mineral de alimentación de la planta o circuito de molibdeno en donde ambos tipos de mineral serían separados. En la actualidad, por razones técnicas y económicas, esta planta no está operando y no se considera su funcionamiento futuro.

Por las características metalúrgicas del mineral de molibdeno (MoS_2), para su separación de los minerales de cobre se requiere el uso de ferrocianuro de sodio como depresante y ácido sulfúrico para bajar el pH de 11.5 a 5.5. Ello significaría la incorporación de complejos de cianuro y la solubilización de metales en la fracción líquida de la pulpa de concentrado que disminuirían la calidad del agua de proceso. Originalmente se consideró tratarla antes de abandonar la planta de molibdeno. Sin embargo, en los estudios originales para simular el vertimiento, se incluyó como parte fundamental para el diseño del sistema de tratamiento que actualmente opera en el puerto.

Circuito de Molibdeno

En el sistema original diseñado para la planta de molibdeno (Figura 3), el concentrado de Cu-Mo es acondicionado con ácido sulfúrico a pH 5.5, para activar la superficie de las partículas de mineral de cobre, antes de agregar ferrocianuro de sodio como depresante de dichas partículas. En esencia, en este circuito se flota el mineral de molibdeno para separarlo del mineral o concentrado de cobre, que en esta etapa constituye el relave o las colas. El ferrocianuro de sodio se usa en vez de cianuro de sodio para

evitar la solubilización de cobre asociado a la calcosina. En la columna de flotación "rougher", que es la primera etapa en la flotación de la molibdenita, el pH ya es de 6.5 a 7.0, lo cual permite liberar suficiente cianuro para depresar la calcosina y flotar el concentrado de molibdenita. Debido a que la etapa de acondicionamiento ácido afecta fuertemente la liberación de cobre, el control del pH sería muy importante en la operación de este circuito.

Una vez que el concentrado de cobre ha sido separado en la columna de flotación "rougher", el concentrado de molibdenita es sometido a una flotación de limpieza en columnas con cianuro de zinc y sodio, que se lleva a cabo en tres etapas.La primera columna tiene como objetivo depresar la pirita (FeS_2) y el mineral de cobre residual, para retornarlos a la alimentación del circuito. La mayor parte del agua de limpieza retorna al espesador de alimentación del circuito de molibdeno y de allí al colector de reciclaje del agua de proceso, donde es nuevamente utilizada en el circuito de cobre.

Las colas de flotación "rougher" se envían a la etapa de flotación "scavenger", donde el pH es mantenido aproximadamente a 7.5, adicionándose nuevamente ferrocianuro de sodio. La flotación "scavenger" incluye una remolienda que permite recuperar y flotar partículas de molibdenita que retornan a la flotación "rougher". Las colas del circuito "scavenger" constituyen el concentrado final de cobre. El pH de la pulpa de concentrado es elevado a 11.3 con cal, dejándose acondicionar durante 24 horas para precipitar los metales disueltos como hidróxidos, desde la fracción líquida, antes de su envío por tubería a Coloso.

El procedimiento indicado, controlaría en su mayor parte el contenido de cianuro y de metales en la fracción líquida de la pulpa, en caso de que se opere el circuito de molibdeno.

Disposición de Relaves

La zona de relaves de Escondida se ubica inmediatamente al sureste de la mina, en una depresión cerrada en cuyo centro se encuentra el salar de Hamburgo (Fig.4). El área tiene una superficie aproximada de 30 Km^2 y comprende las cotas 3.000 a 3.050 m.s.n.m. La superficie de la depresión o cuenca está constituída por una costra salina superficial que varía en profundidad, con una alternancia de arcillas y limos salinos, con menor proporción de arenas y gravas.

Durante un período aproximado de 5 años los relaves serán depositados gravitacionalmente, procediéndose después a su disposición por medio de bombas. El agua que acompaña a la pulpa de relave es parcialmente recuperada y recirculada tanto mediante espesadores, como también mediante bombas instaladas en la zona de relaves. Debido al carácter cerrado de la cuenca, no será necesario ni se contempla la construcción de muros de contención.

Transporte Hidráulico del Concentrado

El transporte gravitacional de concentrado en forma de pulpa a lo largo de una tubería, tiene justificaciones operacionales, donde la componente ambiental fue relevante. Al mediano y largo plazo, el sistema elegido tendrá un costo operacional más bajo en comparación, por ejemplo, al transporte por ferrocarril o por camiones. Sin embargo, la inversión efectuada ha sido cercana a los US$ 10.000.000, estando la tecnología para este sistema probada por BHP en operaciones que tiene en Brasil.

Es importante destacar que, de este modo, se evitan todos los inconvenientes inherentes a un transporte a granel. Esto incluye los problemas de traspaso con generación de polvillo en suspensión, como también el flujo continuo de camiones hacia el puerto, donde existiría una operación bulliciosa, sucia y contaminante. En contraste, lo que existe es una operación tranquila y limpia.

El concentrado es transportado en forma de pulpa a una razón promedio de 2.000 toneladas diarias, con un 56% de sólidos y 44% de agua,con una ley de 42% de cobre, a lo largo de una tubería de 170 Km de extensión, con un diámetro de 7" a 8" y de 14 a 16 mm de espesor (ver Fig.1). El proceso es discontinuo, y la detención de la pulpa se realiza mediante tres estaciones de válvulas que funcionan sincronizadamente, mediante señales a través de un fibra óptica paralela a la tubería. Se han considerado todos los mecanismos necesarios que permitan disipar la presión en la tubería al detener el flujo.

1.3 PROCESO EN EL PUERTO DE COLOSO

La pulpa de concentrado es recibida en Coloso por dos estanques agitadores que evitan la decantación de la fracción sólida (Figura 5). De allí, se envía a la planta de filtros para ser desaguado. Las instalaciones incluyen tres filtros de prensa automáticos, cada uno ajustado para 49.4 toneladas/hora, con una capacidad máxima de 148 toneladas/hora de concentrado. Producto del proceso de filtración, se obtiene un polvillo de concentrado con 8 a 10% de humedad, que se envía por correas cubiertas a un edificio de almacenamiento de 60.000 toneladas de capacidad. Durante las operaciones de embarque, el concentrado se envía a través de un muelle mecanizado para el carguío en los barcos metaleros, a razón de 1.000 toneladas/hora, considerándose un sistema de protección que controle al máximo el levantamiento de polvillo e impida una probable contaminación. Se efectúan dos a tres embarques mensuales, de dos a tres días cada uno, lo que significa que en promedio mensual las faenas de carguío no toman más de diez días, de acuerdo al esquema de producción diseñado.

Remoción de Sólidos Suspendidos

El agua resultante del desaguado es conducida a un espesador de 18.3 m de diámetro, para recuperar las partículas finas de concentrado en suspensión. Este material sedimentado es retornado al proceso mediante bombas para su envío a los estanques agitadores.

El sobrenadante del espesador se envía luego a una piscina de decantación de tres compartimientos, para remover las partículas que pasan la etapa de espesamiento. Luego, el agua es bombeada hacia un filtro pulidor para retener partículas más finas, pasando luego a un estanque de almacenamiento. Desde este punto, parte del agua es utilizada en la limpieza tanto de filtros como de la planta en general y en una red contra incendios que cubre todas las instalaciones. El resto, constituye el efluente que se descarga en el mar después de ser sometido a una segunda etapa de tratamiento.

Como resultado del proceso de purificación y clarificación del agua, el contenido de sólidos suspendidos después de pasar por el filtro pulidor es menor que 20 mg/l.

Celdas de Carbón Activado

Se instalaron cinco celdas de 1.8 m de diámetro por 3.6 m de alto que retienen los compuestos orgánicos. Originalmente, se consideró la retención de complejos cianurados de cobre, suponiéndose el funcionamiento de la planta recuperadora de molibdeno en la mina. La eliminación de un porcentaje importante de estos complejos solubilizados se haría bajo condiciones de pH neutro, alcanzado mediante una bomba dosificadora de ácido clorhídrico en la línea de alimentación a las celdas, (Figura 6).

La operación de las celdas se hace a presión y con flujos ascendentes, considerándose el uso permanente de cuatro celdas con una de reserva. El carbón activado está contenido en canastas, existiendo un filtro duplex y tres filtros de zoquetes en la entrada y salida del sistema de celdas, para minimizar la incorporación de fragmentos de gránulos de carbón al flujo. El carbón activado permite remover los residuos de espumante remanentes del proceso metalúrgico y los colectores de flotación, que son derivados de hidrocarburos. Lo mismo ocurre con los polímeros tipo poliacrilamida de cadena larga y con los floculantes usados en las etapas de espesamiento, los que permanecen en la fracción sólida de la pulpa, esto es, acompañando al concentrado de cobre. El anti-incrustante orgánico adicionado en la piscina de decantación es también removido por el carbón activado.

Filtros de Cartucho

Los filtros de cartucho incorporados en el paso final del tratamiento, remueven las partículas con un tamaño menor que dos micrones, disminuyendo el contenido de sólidos suspendidos en el efluente desde 20 mg/l a valores que pueden ser menores que 2 mg/l.

Planta de Osmosis Reversa

Parte del efluente es tratado mediante una planta de osmosis reversa para producir un máximo de 200.000 lt/día de agua. Este recurso se utiliza en forma experimental, para la creación de áreas verdes en el sector de Coloso. Según se aprecia en la Fig.6, la alimentación a esta planta es de 3.4 l/s para

producir 2.4 l/s de agua apta para riego y 1.0 l/s de colas salobres, que se juntan con el efluente inicial para constituir una descarga promedio final de 18 l/s.

2. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL EN COLOSO

La decisión de enviar el concentrado por tubería desde Escondida hasta Coloso, tomó en consideración diversos aspectos, en donde una operación limpia para el puerto fue especialmente relevante. Sin embargo, el proceso de desaguado planteó la necesidad de conocer con anticipación los efectos que la descarga del efluente líquido pudieran tener en el ecosistema marino. Para ello, se diseñó un programa que incluyó la simulación del proceso metalúrgico en Escondida, el proceso en Coloso, el diseño de un sistema seguro de descarga, el que a su vez implicó un estudio detallado de oceanografía física, el establecimiento de una Línea Base Ambiental y una Evaluación de Impacto en la forma de pronóstico.

2.1 CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE

Para tipificar y evaluar las características químicas y toxicológicas del agua de proceso del efluente en Coloso, se realizaron simulaciones a escala de laboratorio, las cuales se centraron en el circuito de molibdeno que, como se ha mencionado, constituiría el punto más sensible en cuanto a la incorporación de complejos de cianuro y metales solubilizados en la fracción líquida del concentrado. La simulación del proceso se hizo en julio de 1989, en los laboratorios de BHP Minerals en California, USA. Por otra parte, las pruebas y caracterizaciones químicas y toxicológicas fueron efectuadas por los laboratorios de B.C. RESEARCH en Vancouver, Canadá, a través de la consultora canadiense RESCAN ENVIRONMENTAL SERVICES.

Simulación del Proceso

El circuito de molibdeno fue simulado en laboratorio utilizándose para ello concentrado seco de cobre obtenido en pruebas metalúrgicas anteriores, con compósitos de sondajes de Escondida y agua de características químicas similares a la del salar de Punta Negra.

La simulación comprendió sólo la etapa del concentrado de cobre en el circuito de molibdeno, incluyendo el acondicionamiento con ácido sulfúrico del concentrado de Cu-Mo, la adición de ferrocianuro de sodio en la flotación "rougher", la primera columna de flotación de limpieza y el circuito de flotación "scavenger". El acondicionamiento a pH 11.3 durante 24 horas fue también simulado y controlado, de acuerdo al diseño del proceso, realizándose varias pruebas para evaluar los resultados obtenidos bajo distintas condiciones de proceso.

De la simulación, se obtuvieron 50 litros del efluente resultante de la filtración del concentrado, para pruebas de tratamiento y evaluación de toxicidad. Durante la simulación a escala de laboratorio, se determinó en numerosas muestras el contenido de metales y cianuro en diversos puntos del circuito.

Investigaciones realizadas en las distintas etapas del circuito simulado indicaron que el cianuro es precipitado a pH 5.5 - 6.0 como ferri-ferrocianuro, el cual corresponde a un sólido insoluble conocido como "azul prusiano". Este precipitado de cianuro de fierro sigue y acompaña al concentrado de cobre como un sólido, que sería separado en Coloso en la fracción líquida que constituye el efluente.

La reacción que ocurre en este proceso es la siguiente:

$$2Fe_2(SO_4)_3 + 3Na_4Fe(CN)_6 \longrightarrow Fe_4[Fe(CN)_6]_3 + 6Na_2SO_4$$

El origen del sulfato de fierro está relacionado a la reacción del ácido sulfúrico con el fierro presente en el concentrado de cobre de alimentación, en la etapa de acondicionamiento ácido. El ferrocianuro de sodio es adicionado como reactivo líquido.

Los compuestos de ferrocianuros con metales (CNWAD) son considerados altamente insolubles en agua, con constantes de solubilidad en el rango entre 14.9 y 15.9; el ferri-ferrocianuro (azul prusiano)

es aún menos soluble, con una constante de 40.5. Como ya ha sido señalado, la planta de molibdeno no está en funcionamiento y los reactivos de cianuro no se utilizan en el proceso.

Composición y Nivel de Toxicidad del Efluente Simulado

En la Tabla 1 se indican las concentraciones de metales en el efluente simulado, que se consideran críticas para la vida marina. Estos valores se comparan con los requisitos químicos para agua potable y de riego, según normas chilenas vigentes para calidad de agua, como también con los valores máximos permitidos de estos elementos de acuerdo a una norma chilena en estudio que aún no entra en vigencia. Se puede apreciar que sólo en algunos casos los valores máximos son sobrepasados.

Es importante señalar que, la concentración de metales del efluente determinada en las pruebas de simulación, no consideró el tratamiento a efectuarse en Coloso, el cual disminuiría la concentración de complejos de cianuro y de elementos disueltos. Sin embargo, tampoco se consideró en esta simulación el aumento de concentración que se produciría por la incorporación de las colas de la planta de osmosis reversa, cuando dicha planta está en funcionamiento.

Pruebas standard de toxicidad aguda LC50 fueron efectuadas en los laboratorios de B.C. Research de Vancouver, Canadá, con individuos juveniles de la trucha arcoiris Salmo gairdneri, indicando que el agua de proceso no presenta toxicidad aguda a un 100% de concentración (Tabla 2).

2.2 SISTEMA DE DISPOSICIÓN SUBMARINA DEL EFLUENTE

La selección del punto de vertimiento submarino se efectuó en base a determinaciones oceanográficas y batimétricas (Figura 7). El sistema de descarga, por otra parte, fue diseñado para lograr la mayor dilución posible a la distancia más corta del punto de vertimiento. Para ello fue necesario considerar la composición del efluente en el punto de emisión, a partir de las simulaciones de laboratorio, para intentar cumplir con una meta de diseño que debe estar determinada necesariamente por una norma o especificación de calidad para el medio receptor.

Se consideró una meta de diseño basada tanto en una norma que en Chile aún está en estudio, como también la especificación sugerida por la U.S. E.P.A. para cuerpos receptores acuáticos. Con ello se pudo determinar la dilución inicial requerida y determinar, mediante un estudio de sensibilidad, la alternativa de diseño hidráulico mas apropiada. Del mismo modo, se pudo diseñar el anclaje y la protección de la tubería o emisario.

Selección del Punto de Vertimiento

Para seleccionar el punto del vertido, fue necesario proceder a un perfilaje de la columna de agua frente a Coloso en varios puntos, con el fin de determinar variaciones de temperatura, salinidad, densidad y contenido de oxígeno disuelto en función de la profundidad. La información obtenida, que fuera utilizada durante los estudios de línea base, permitió identificar una oxiclina que se mantiene entre 25 y 35 metros de profundidad a lo largo del año, definiendo una zona de bajo contenido de oxígeno, con menor actividad biológica, que se extiende bajo los 35 metros (Figura 8). Se estableció, como criterio, que el vertimiento nunca debería sobrepasar la oxiclina, para lo cual se escogió una profundidad de 60 metros, que se obtiene de acuerdo a la batimetría del área, a 1.320 metros hacia el noroeste del Puerto de Coloso. Esta ubicación permite además, proteger una especie única de piure que se desarrolla localmente en el área costera (Figura 7).

Diluciones Requeridas por la Composición del Efluente

En Chile no existe una norma o criterio de calidad de agua de mar, aún cuando la norma chilena oficial 1333/5 de 1987 del Instituto Nacional de Normalización (INN), establece requisitos de calidad del agua para diferentes usos, pero no hace referencia a la composición química de ella. A la fecha, dicha norma se encuentra en proceso de revisión y fue enviada a consulta pública en octubre de 1988, considerándose algunos criterios de calidad de agua para la vida acuática, como concentraciones máximas permisibles para substancias tóxicas en aguas marinas y continentales.

En el diseño del difusor, se puso énfasis en el cumplimiento de los criterios de calidad de agua recomendados por la US EPA, los cuales son más exigentes que los valores contenidos en la Norma Chilena 1333/5 propuesta. La Tabla 3 presenta las diluciones requeridas para los elementos más importantes contenidos en el efluente. En el caso del cobre, para cumplir con la norma de la EPA (440/5-86-001, mayo 1986), a partir de una concentración inicial de 0.58 mg/l, la dilución requerida es de 343:1.

Diseño del Sistema

El diseño consideró las características de densidad del efluente (1002.9 kg/m^3), que al ser menos denso que el agua de mar (1025.9 kg/m^3), permite aplicar un sistema de dilución con un difusor al extremo del emisario submarino. Después de una serie de análisis de sensibilidad, los parámetros finales de diseño, que consideran un flujo variable entre 12 y 28 l/s, son los siguientes (Fig. 7):

- Estanque de almacenamiento del efluente en la costa, de 3 m de diámetro y 14.3 m de alto, para proporcionar una carga hidráulica apropiada. El fondo de la salida de la tubería desde el estanque, se ubica a 1.5 m bajo la línea de más baja marea.

- Tubería o emisario de 1.320 m de longitud, de polietileno de alta densidad, 200 mm de diámetro interno, enterrada en su sección inicial hasta pasar la zona de rompientes y anclado con bloques de concreto hacia la zona mas profunda.

- Difusor de polietileno de alta densidad, 600 mm de diámetro, con 16 orificios de salida de 19 mm de diámetro cada uno. Los orificios están ubicados a los costados del difusor, a 45° de su línea central, definiendo dos ejes laterales en donde la distancia entre orificios es de 4 m.

- El difusor se instaló perpendicularmente a la tubería de descarga, para optimizar su eficiencia.

Comportamiento de la Descarga

El comportamiento de la pluma de dilución, en el campo cercano del difusor, se determinó numéricamente con el modelo UMERGE, que analiza una descarga de boyantez positiva, mediante el seguimiento iterativo de un pequeño elemento de la pluma a lo largo de su trayectoria y dilución. El modelo considera además, la interferencia debida a la convergencia de plumas adyacentes provenientes de distintos orificios de salida del difusor, evitándose así la sobre-estimación de la dilución. En este proceso se consideraron las condiciones más desfavorables que, en el campo cercano, corresponden a una alta estratificación y a una baja velocidad de corrientes (Figura 9).

Se realizaron mediciones de corrientes frente a la costa de Coloso a cuatro profundidades y en dos ubicaciones distintas (Figura 10). En la selección de la condición de corrientes para el modelamiento de la dilución en el campo cercano, se utilizó el método de la U.S. Army Corps of Engineers y de la U.S. Environmental Protection Agency. Este método standard, utiliza el 10% de los valores mas desfavorables de cualquier variable ambiental. De acuerdo a esto, se consideró el 10% de las velocidades más bajas de corrientes en la dirección predominante durante el período de mediciones, obtenidas de ocho correntómetros que registraron esta información cada 15 minutos y durante 100 días, ordenándose para ello sobre 80.000 mediciones. En el modelamiento se utilizó la velocidad de dos centímetros por segundo y alta estratificación, obteniéndose una dilución en la altura terminal de la pluma de aproximadamente 260 veces en el campo cercano, a 50 m bajo la superficie y a 8 m sobre el difusor. En la Figura 11 se ilustra esquemáticamente la pluma proveniente del difusor, bajo las condiciones anteriormente indicadas.

Para completar los cálculos de dilución, una vez que la pluma alcanza su altura terminal, se utilizó otro modelo para determinar la extensión lateral de ella. El modelo corresponde al de BROOKS (1975), el cual se caracteriza por considerar la influencia de las velocidades de las corrientes en la dilución lateral de la pluma. De acuerdo a BROOKS, las condiciones más desfavorables ocurren cuando las corrientes son más intensas.

Las Figuras 12 y 13 presentan los resultados de la dilución final, combinando los campos cercano y lejano. Se puede apreciar que la curva envolvente de la dilución final de 400:1, se ubica en un radio

menor que 100 metros alrededor del difusor y a una altura que no sobrepasa los 20 metros sobre éste. Mas allá de esta envolvente, se cumplirá ampliamente con los valores de la norma Nch 1333/5 en estudio.

A modo de comparación con los casos indicados anteriormente, en la Tabla 4 se presenta un resumen de las diluciones del campo cercano y la altura terminal de la pluma, basado en **datos reales de estratificación** obtenidos en el invierno de 1989 y en el verano de 1990. Es importante señalar que la altura terminal varía entre 37.8 y 41.6 m bajo la superficie, y que la dilución en el campo cercano es significativamente más alta, variando entre 675:1 y 1007:1. Los resultados indicados cubren el rango del flujo proyectado de descarga que fluctúa entre 12 y 28 litros por segundo.

2.3 DESCARGA SUBMARINA DEL EFLUENTE Y ANÁLISIS DE PROBABLES ESCENARIOS

Se calculó la dilución y destino de la pluma con un modelo numérico de circulación y un modelo de dilución, ambos en un campo que cubre tanto el área de descarga como el área potencial de impacto.

El modelo numérico de circulación permite conocer el patrón de corrientes en toda el área de interés, considerando condiciones como batimetría y geometría de la costa, por lo que su uso junto a un modelo de dilución apropiado, permite una mejor aproximación del campo lejano, en que las corrientes dependen de las condiciones físicas de la costa y del fondo propias de la zona (a diferencia de la zona cercana a la descarga).

Se ha definido en este estudio a un "escenario", como un patrón de corrientes y un perfil de densidad asociado, representativo de condiciones meteorológicas y oceanográficas de un período del año que tiene cierta probabilidad de ocurrencia a lo largo de la vida útil del proyecto.

Es importante destacar que, los patrones de corrientes definidos en los escenarios deben ser relacionados con un perfil de densidad particular que presenta la picnoclina a distintas profundidades. Como ya se ha indicado, un chorro de efluente con menor densidad que el agua de mar, sube por la columna de agua por boyancia hasta que la mezcla del chorro con agua de mar iguala a la densidad del agua de mar a ese nivel. Esto se denomina altura de atrapamiento o altura terminal de la pluma.

Una vez alcanzado el nivel de atrapamiento, se calculó la dispersión de la pluma en el campo lejano, con un modelo numérico que contempla las velocidades de corrientes en el campo de dilución y en el espesor de la columna de agua que contiene la pluma. Los resultados para cada escenario son expresados como curvas de igual porcentaje de concentración de un elemento, con respecto a la concentración en el efluente y medida en el difusor antes de su descarga. Cabe destacar que estas concentraciones, son aquellas debidas exclusivamente a la descarga y deben ser agregadas a la concentración natural del elemento de interés en el agua de mar.

La descripción de escenarios que se entrega a continuación considera las medidas de correntometría directa obtenidas por los dos sistemas de correntómetros, e incluye además, las observaciones de derivadores que se obtuvieron adicionalmente.

Las concentraciones de metales adicionados al medio, como se verá en cada caso, son fracciones bajísimas de los valores de la emisión.

Escenario de Probabilidad Natural 1

Corresponde a la circulación de una capa de agua superficial de 15 a 20 m de espesor, forzada por vientos predominantes en todo el verano del S y SW, con una velocidad promedio de 8 m/s y corrientes resultantes del orden de 15 cm/s.

Estas condiciones representan corrientes superficiales reinantes durante el período del año septiembre - abril y gobernarían la dispersión de la pluma si esta llega a la superficie. Esto requeriría una estratificación muy débil, es decir, un perfil de densidades de poca gradiente, lo cual es muy poco probable, especialmente en verano. Este escenario es muy poco probable y se definió solamente con fines ilustrativos (Figura 14).

Escenario de Probabilidad Natural 2

Corresponde a corrientes a 20 m de profundidad, en la que se forma una picnoclina en verano en el límite entre la capa superior y la subyacente. El viento forzante de esta situación es el predominante entre septiembre y abril, al igual que en el caso anterior, por lo que es una situación de mayor probabilidad en primavera y verano (Figura 15).

Las corrientes resultantes en la zona de descarga, son del orden de los 18 cm/s y tienen un patrón muy similar a la situación anterior. Este escenario es representativo para el fenómeno de dispersión de la pluma en el campo lejano, en los meses anteriormente mencionados, cuando la pluma asciende cerca de la picnoclina por menor estratificación de densidad de la columna de agua bajo los 20 m. Es así que a esta situación se le asigna una probabilidad de ocurrencia de aproximadamente 40% en ese período del año (Figura 15).

Escenario de Probabilidad Natural 3

Representa un evento de surgencia generado por vientos del sur de gran intensidad, caracterizado por una corriente superficial dirigida hacia la izquierda con respecto al viento que la genera. La corriente superficial asociada es hacia el NW, con velocidades de 10 cm/s en la zona de descarga. Debido a que la surgencia está asociada a un transporte de masa ascendente en la columna de agua, la estratificación desaparece, por lo que la pluma puede llegar a la superficie y de ahí ser arrastrada por la corriente.

Este escenario es frecuente en la zona de Coloso durante los meses de septiembre a mayo y, según datos de sensores infrarrojos (satélites) y pronósticos basados en intensidad y dirección de vientos, se estima que esta situación puede ocurrir en promedio al menos una vez al mes durante esos meses, siendo la probabilidad de ocurrencia del evento, en base a la información disponible, de un 10% durante dicho período (Figura 16).

Escenario de Probabilidad Natural 4

Este escenario se construyó en base a los datos registrados por los correntómetros profundos, los cuales indicaron vectores hacia el SW con velocidades del orden de 8 cm/s. Estas corrientes profundas se asocian a un perfil de densidad estratificado en que la picnoclina manifestada por la pendiente del perfil de densidad representa condiciones de verano medidas en terreno, cuya probabilidad de ocurrencia es de un 40% en el período septiembre - abril, siendo este escenario el más probable de acuerdo a la estratificación promedio medida en verano (Figura 17).

2.4 ESTUDIO DE LÍNEA BASE

El estudio de Línea Base Ambiental, incluyó diversos muestreos realizados en Febrero y Septiembre de 1989, y Enero y Agosto de 1990 (Figura 18). Durante su desarrollo, se obtuvo una gran cantidad de información sobre el ecosistema de la zona. Cabe destacar que este trabajo se inició con más de dos años de anticipación al comienzo de las operaciones del puerto, siendo su objetivo principal caracterizar la situación ambiental antes de su puesta en marcha, para detectar cualquier inconveniente que eventualmente se presentara y tomar las medidas de mitigación adecuadas. A continuación, se presentan, en forma resumida, las principales conclusiones de los diferentes aspectos considerados:

Meteorología

El patrón diario de los vientos en Coloso presenta durante el día un flujo mar-tierra (SW), asociados a las mayores intensidades. En la noche, la dirección del flujo se invierte (tierra-mar). Para el patrón anual se observa que los vientos reinantes durante el verano son los provenientes del sur y en invierno los del este. La temperatura media mensual durante el año fluctúa entre 14.8°C y 21.4°C, registrándose ocasionalmente valores máximos absolutos de 24°C y mínimas de 9.5°C.

Correntometría

El patrón de circulación de las aguas en verano indica que en los primeros 20 m, las corrientes fluyen hacia el N-NE y en la capa más profunda el flujo es hacia el S-SW, con velocidades inferiores a 7.5 cm/s.

En invierno, las corrientes en superficie son predominantemente hacia el SW y las de profundidad hacia el N y NW, con velocidades de 9 cm/s (Figura 19).

Estudio de Comunidades Inter y Submareales

En el intermareal de la zona de Coloso se encuentran tres franjas características (Figura 20):

- El intermareal superior, caracterizado por caracoles littorinos.
- El intermareal medio, subdividido a su vez en dos franjas:
  Alto: caracterizado por chorito maico
  Bajo: caracterizado por piures
- El intermareal inferior, caracterizado por algas crustosas Lithothamnoides.

En la zona submareal, se reconocieron 4 especies como los principales componentes de estas comunidades (Figura 21):

Lessonia trabeculata
Pyura chilensis
Pyura praeputialis
Lithothamnoides

Oceanografía Físico-Biológica

Densidad: Las aguas de Caleta Coloso se caracterizan en verano por la presencia de una picnoclina ubicada a 25 m de profundidad aproximadamente. Durante el invierno, la densidad de la columna de agua es más uniforme (Figura 22).

Temperatura: La temperatura fluctuó entre los 12.7°C y los 21.7°C durante los meses de verano, presentando una termoclina situada entre los 10 y 25 m. En invierno, la temperatura varió en un rango de 12.49°C y 15.5°C. La termoclina se presentó entre los 5 y 15 m (Figura 22).

Oxígeno Disuelto: Se identificó una oxiclina cuya ubicación vertical varía durante el año. Bajo ella, existe una zona con un contenido de oxígeno inferior a 1 mg/l, característico del Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) (Figura 22).

Salinidad: La salinidad de la columna de agua, tanto horizontal como vertical, fue muy homogénea en todas las estaciones, registrándose valores mínimos de 34.5 $^{0}/_{00}$ y máximos de 34.7 $^{0}/_{00}$.

Clorofila: El rango de concentración en la columna de agua fue de 0 a 10 mg/l. La zona eufótica llega a profundidades de hasta 20 m aproximadamente (Fig.22).

Zooplancton: La característica más relevante de la comunidad de zooplancton a lo largo del período fue la dominancia de los copépodos neríticos Acartia tonsa y Paracalanus parvus. La Figura 23 muestra la abundancia de zooplancton por m^3 y su orden de dominancia.

Fitoplancton: El fitoplancton siempre estuvo dominado por algas diatomeas entre las que destacaron L. danicus, N. delicatissima, N. pseudoserrata, R. fragilissima y R. stolterfothii. (Figura 23). La composición tanto biológica como numérica del fitoplancton, concuerda con trabajos anteriores efectuados en la zona por las Universidades locales.

Comunidades de Fondos Blandos: Los análisis granulométricos de los fondos en la zona del difusor, mostraron una dominancia de las arenas del tipo media-fina a muy gruesa, con

cantidades variables de conchuela y presencia de rocas. La abundancia numérica de la biota está dominada por los gusanos poliquetos, representando sobre el 85% del total de la fauna, como también desde el punto de vista de su contribución a la biomasa total. La contribución porcentual de los grupos mayores son mostrados en la Figura 24.

Elementos Traza: En la Tabla 5 se muestran los contenidos de elementos traza en agua de mar y en algunos de los organismos más representativos de la zona.

Estadística de Pesca Artesanal en Caleta Coloso: Durante el período de estudio (marzo 1989-junio 1991) se apreció un incremento en la actividad pesquera, lo que se refleja en un aumento del número de embarcaciones, zarpes y personas embarcadas. El principal recurso para el año 1989 fue la cholga (72%) y durante el año 1990 se registró un importante incremento de los desembarques de jaiba y mariscos (50%). La Figura 25 muestra los sitios de pesca de la flota artesanal de Coloso y algunas estadísticas para el período anteriormente mencionado. Es importante destacar que este seguimiento es continuo y que la baja de actividad, en 1991, se debió principalmente a las restricciones impuestas por los organismos de salud en Chile a raíz del brote de cólera como asimismo a los efectos del aluvión de lodo ocurrido en el mes de Junio.

Calidad del Aire: La concentración promedio de partículas totales suspendidas (PTS) detectadas estuvieron bajo la norma de 260 mg/m^3 para promedios de 24 horas (Resolución 1215, Ministerio de Salud). En promedio, las concentraciones de PTS para el área de Coloso durante el período estudiado fueron inferiores a 150 $\mu g/^{m3}$ (Figura 26).

Usos de la Zona: En la zona de Coloso se identificaron distintos tipos de actividades; entre las cuales se puede señalar la pesca artesanal, vivienda, pesca deportiva, venta de productos del mar, balnearios (Huáscar y playa Amarilla),
camping, y deportes (Figura 27).

2.5 EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA DESCARGA SUBMARINA

En base a las características del efluente, a los antecedentes recogidos en el estudio de Línea Base y a los modelos numéricos de circulación y dispersión, se realizó el estudio de evaluación de impacto de la descarga del efluente en el mar.

El objetivo fue predecir los posibles efectos basados en alteraciones probables, desarrollándose con el apoyo de información bibliográfica de bioensayos que evalúan el efecto de diversos compuestos sobre la biota marina. Para ello, se tomaron en cuenta los posibles componentes que pudieran ser afectados, como la calidad del agua, la biota presente, las comunidades inter y submareales y la pesca artesanal, cuantificando por una parte la intensidad, la extensión, en lo referente al área posible de ser afectada, como también la importancia y probabilidad de ocurrencia.

Los resultados de este proceso de evaluación, son presentados en una matriz de evaluación de impacto (Tabla 6). La calificación ponderada total del impacto se obtuvo multiplicando las puntuaciones en la horizontal para cada componente y sumando verticalmente los resultados de este proceso, obteniéndose así un puntaje promedio ponderado. Esta puntuación global del impacto de la descarga en el mar se puede comparar con el máximo puntaje posible (9.000), siendo cero (0) el impacto nulo. El mayor valor se obtendría calificando con la nota máxima (mayor impacto) cada componente para cada uno de los criterios. En este espectro, la descarga de Coloso tiene un valor o puntuación de 73, que corresponde a un 0.8 % del máximo impacto posible de 9.000, lo que en términos absolutos es muy reducido. Finalmente, los resultados de este proceso indicaron que no se presentarían efectos acumulativos e irreversibles y que el ecosistema presente en Coloso no sería alterado.

3. VERIFICACIÓN DE LA DILUCIÓN CON TRAZADORES

Durante Enero de 1991 se evaluó el comportamiento real del sistema emisario-difusor, para confrontar las diluciones pronosticadas mediante estudios de modelación numérica, con los niveles reales de dilución. Las diluciones fueron determinadas utilizando el trazador Rodamina WT, el cual fue introducido con una concentración conocida dentro del estanque de carga del emisario submarino.

Se midieron las concentraciones de rodamina en el agua de mar a varias distancias del difusor, utilizando una bomba que impulsaba agua desde diferentes profundidades, hasta un fluorómetro Turner modelo 10, instalado a bordo de una embarcación, con un límite de detección de 1 ppb. Las diluciones encontradas cerca de los 50 m bajo la superficie y a 7 m sobre el difusor, variaban entre 2.000:1 y 3.000:1. A un kilómetro de distancia los valores medidos fueron de 10.000:1 (Figura 28).

4. SEGUIMIENTO Y MONITOREO

Se diseñó un completo programa de monitoreo que permite obtener información sistemática, detallada y confiable, para el control de los efectos potenciales que la descarga pudiera tener en el medio.

4.1 MONITOREO DE LA EMISIÓN

Este programa tiene como objetivo establecer un sistema de vigilancia y control de los niveles de concentración máxima en el efluente después del tratamiento en la planta de Coloso. Para ello se considera el control diario en el estanque de carga, analizando la concentración de los elementos más importantes.

Semanalmente, se prepara un compósito de todas las muestras diarias tomadas durante la semana. Si la concentración de un parámetro dado excede la concentración definida por la autoridad marítima, se toma acción inmediata para solucionar el problema operacional en el sistema, analizándose diariamente en el laboratorio la concentración de tal parámetro (Tabla 7). Además, diariamente se registran los valores de pH y las mediciones de flujo en el efluente descargado.

4.2 MONITOREO DE PUESTA EN MARCHA

Junto con el inicio de las operaciones del puerto y de la primera emisión al ambiente, se realizaron tres campañas de muestreo entre los meses de diciembre de 1990 y marzo de 1991, constituyendo un monitoreo de corto plazo con el propósito de medir el posible impacto durante el inicio de las operaciones. Durante su desarrollo se realizaron diferentes actividades, las cuales, en su mayoría, presentaron resultados semejantes a los del estudio de Línea Base. Las principales conclusiones se resumen a continuación:

Temperatura: La fluctuación de las temperaturas medidas fue pequeña, destacándose una termoclina ubicada entre los 5 y 20 m. La máxima superficial fue de 20.54 °C y la mínima en profundidad de 12.56 °C.

Oxígeno disuelto: Los niveles de oxígeno mostraron máximos superficiales y una zona de bajo contenido de oxígeno a partir de los 25 m de profundidad. Esto último es característico de aguas ecuatoriales subsuperficiales.

Densidad: Se observó una picnoclina pronunciada entre los 10 y 25 m de profundidad y una zona más homogénea hasta el fondo.

Salinidad Los rangos de salinidad entre superficie y fondo fueron de 34.83 $^{0}/_{00}$ y 34.5 $^{0}/_{00}$, mostrando en la columna de agua una gran homogeneidad.

Zooplancton y Fitoplancton: En ambos casos, la dominancia de las comunidades estuvo dada por los mismos organismos del estudio de Línea Base, los copépodos P. parvus y A. tonsa en el caso

del zooplancton y los dinoflagelados y diatomeas en el fitoplancton. En este último caso, las concentraciones máximas de células por ml fueron de 299, 144 y 136 respectivamente durante las tres campañas, coincidiendo la primera con un evento de marea roja.

Clorofila a: En general, los valores encontrados (6.20 - 13.08 y 7.9 $\mu g/l^{-1}$) son comparables a la línea base y las diferencias encontradas corresponden a las variaciones propias de las comunidades fitoplanctónicas.

Elementos traza en agua de mar: Los resultados de elementos traza en agua de mar del inter y submareal son resumidos y presentados en la Tabla 8.

4.3 PROGRAMA DE BIOENSAYOS

Como parte del control de la calidad del agua del efluente en Coloso, están siendo desarrollados ensayos trimestrales de toxicidad aguda, de acuerdo al método ASTM-STPG634.1977, utilizando la especie local de pez Cheirodon pisciculus. Para ello, se utilizó el agua del efluente sin diluir. Los resultados de los dos primeros ensayos indicaron un 100% de sobrevivencia y son presentados en la Tabla 9.

4.4 MONITOREO DE LARGO PLAZO

Después de finalizado el monitoreo de puesta en marcha, se continúa con un monitoreo bianual a largo plazo, durante todo el tiempo de operación del puerto, estimado en 52 años y considerando la misma área del Estudio de Línea Base. Este monitoreo mide componentes del ecosistema que pudieran indicar impactos a más largo plazo o no previstos. El primero de ellos se realizó a comienzos del mes de agosto y terminó a fines de septiembre, contemplando las siguientes actividades: Meteorología, Oceanografía Física y Biológica, Estudio de Comunidades Inter y Submareales, Elementos Traza en Organismos y en Agua de Mar, Calidad del Aire y Seguimiento de la Pesca Artesanal en Caleta Coloso. Los resultados están a la fecha siendo procesados (Tabla 10).

5. ALCANCES SOBRE EL ESTUDIO AMBIENTAL EN COLOSO

El desarrollo del estudio de impacto se realizó de acuerdo a las políticas de las empresas propietarias de Escondida y de los organismos participantes en el proyecto. Se ha puesto especial énfasis en seguir los procedimientos utilizados internacionalmente para este tipo de estudio, manteniendo la rigurosidad técnica y científica durante su desarrollo.

5.1 ANTECEDENTES LEGALES

Es importante señalar que la falta de una política ambiental y de recursos naturales en Chile sigue siendo, pese a los esfuerzos realizados, una carencia importante en el contexto nacional. Sin embargo, mediante el mecanismo establecido por Resolución 12600/550 del 21 de agosto de 1987 de la Dirección General de Territorio Marítimo y Marina Mercante (DGTM), se palió en parte esta carencia en uno de los ámbitos más críticos: el medio acuático marino. Esta Resolución, pionera en materia de conservación del medio ambiente nacional, se ampara en el artículo 142, Título Noveno (De la Contaminación) del D.L. N° 2222 del 31 de mayo de 1978, llamada también Ley de Navegación. Así, el desarrollo del programa anteriormente descrito se enmarcó dentro de la normativa vigente, la cual impone estrictas exigencias de tipo ambiental a los vertimientos en el mar, exigencias que si bien son muy completas, en los aspectos oceanográficos, químicos, físicos, biológicos y de diseño no son especificadas en lo referente a normas de emisiones y de cuerpos receptores.

5.2 COSTO DEL PROGRAMA AMBIENTAL

El costo estimado de este programa fue el siguiente :

ITEM	COSTO APROXIMADO US$
Asesoría, Estudios Científicos e Instrumentación	800,000
Planta Tratamiento en Coloso	1,250,000
Diseño y Construcción Sistema de descarga	1,400,000
T O T A L	**3,450,000**

Las cifras indicadas corresponden a los costos asignables sólo a materias de carácter ambiental, sin ningún beneficio adicional. No se incluyen aquí los costos de la tubería de concentrado (US$ 10.000.000), los sistemas de protección de las correas transportadoras ni el edificio cubierto de almacenamiento de concentrado, por tener ellos un beneficio de menor costo operacional o evitar la pérdida del producto final, además de su componente ambiental.

5.3 POLÍTICA COMUNICACIONAL

Durante el desarrollo de los programas ambientales, se ha puesto especial cuidado en comunicar a la comunidad sobre el alcance de los estudios y sobre las acciones que la empresa emprendía para realizar sus operaciones con una gestión ambiental moderna, científicamente orientada y tecnificada. Consecuente con ello, el grupo de trabajo está compuesto por dos biólogos y un geólogo, accionando desde la Gerencia de Recursos y Medio Ambiente de la empresa, la cual depende directamente de la Vicepresidencia de Operaciones. Con ello, se asegura un nivel apropiado en la toma de decisiones y un total respaldo de los máximos niveles de la empresa para los planes y programas de trabajo.

Una vez comenzados los estudios ambientales en Coloso,se procedió a informar sobre ellos en detalle a las autoridades regionales, quienes ya tenían la información técnica general sobre el proyecto mismo en su totalidad. Junto con ello, se procedió a informar a los medios de comunicación y a participar activamente en exposiciones y conferencias organizadas por las dos universidades locales.

Se dió especial importancia al detalle científico y técnico que se proporcionaba a la autoridad marítima, en la medida en que los estudios avanzaban, como parte importante en la tramitación del permiso respectivo. En este proceso, se pudo identificar la inquietud manifestada indirectamente por diversos grupos y organizaciones locales, incluyendo grupos activistas ecologistas. A todos ellos se les invitó a conocer los trabajos y antecedentes científicos de los proyectos ambientales en desarrollo, abriéndoles las puertas a la información en la fuente misma.

Paralelamente a lo anterior, se construyó un mirador en el sector del puerto en donde el numeroso público que acude al sector en los paseos de fin de semana y días festivos, pudo encontrar información de primera fuente, desde gráficos, tablas, fotos, y explicaciones personales a cargo de un técnico designado por la empresa. De esta forma se pudo entregar información directa a más de siete mil (7.000) personas en un período aproximado de un año. El mirador está siempre disponible con información y el público puede acudir sin previo aviso y acceder a ella.

Simultáneamente a las acciones emprendidas en Antofagasta, se comenzó a participar activamente en seminarios y paneles científicos enfocados al medio ambiente en Santiago y otras localidades. Se difundió abundante material escrito y folletines, que ayudaban en la ilustración de las acciones realizadas por la empresa.

Durante 1990 y 1991, es estableció un programa de visitas a la faena minera para colegios y grupos de estudiantes universitarios. En estas visitas, además de mostrar las actividades operacionales, se les entrega información técnica y ambiental.

Han sido numerosos los casos individuales o de grupos pequeños de personas, a los cuales se les ha llevado directamente al puerto y se les ha proporcionado abundante información mediante detalladas exposiciones. De esta forma, se ha establecido un contacto directo con autoridades de gobierno de distintos niveles, parlamentarios, empresarios, periodistas, científicos, y diversos tipos de organizaciones.

La actividad comunicacional en materia ambiental es permanente. Se han establecido convenios de cooperación con importantes organizaciones e instituciones, mediante los cuales Minera Escondida aporta su experiencia y contribuye a la educación y formación de especialistas en materias científicas y de gestión ambiental industrial.

ANEXO 1

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Concentraciones de Metales en el Efluente Simulado y Comparación con Normas Sobre Calidad de Agua (Requisitos Químicos)

Tabla 2: Copia del Informe del Bioensayo con el Efluente de Coloso

Tabla 3: Diluciones Requeridas para Cumplimiento de Normas

Tabla 4: Descarga Submarina en Coloso. Análisis de Sensibilidad en el Volumen del Efluente. Dilución en la Pluma y en su Altura Terminal

Tabla 5: Concentraciones de Elementos Traza en Agua de Mar - Línea Base

Tabla 6: Matriz de Evaluación del Impacto. Descarga del Efluente en Coloso

Tabla 7: Concentraciones máximas en el Efluente

Tabla 8: Elementos Traza en Agua de Mar - Monitoreo Corto Plazo

Tabla 9: Resumen de Resultados del Bioensayo Estático LC_{50}-96h, Realizado con Efluente del Puerto Coloso de Minera Escondida

Tabla 10: Monitoreo de Largo Plazo

ESCONDIDA

CONCENTRACION DE METALES EN EL EFLUENTE SIMULADO Y COMPARACION CON NORMAS SOBRE CALIDADES DE AGUA

(REQUISITOS QUIMICOS)
(Valores en mg/l)

ELEMENTO	EFLUENTE SIMULADO	NORMA AGUA POTABLE Nch 409/1	NORMA AGUAS DE RIEGO Nch 1333	NORMA EN ESTUDIO AGUAS MARINAS Y CONTINENTALES Nch 1333/5
Al	< 0.20	–	5.0	0.20
As	0.019	0.05	0.1	0.01 (*)
Ba	–	–	4.0	–
Be	–	–	0.10	–
B	–	–	0.75	–
Cd	< 0.001	0.01	0.01	0.01
CN^-	< 0.005	0.20 (**)	0.20 (**)	0.005 (**)
CN WAD	0.054	–	–	–
Cl^-	–	250	200	–
Co	–	–	0.05	–
Cu	0.58	1.0	0.20 (*)	0.01 (*)
Cr	–	0.05	0.10	0.05
F^-	–	1.5	1.0	–
Fe	0.32	0.30 (*)	5.0	–
Fenol	–	0.002	–	–
Li	–	–	2.5	–
Mn	–	0.10	0.20	–
Mg	–	125	–	–
Hg	< 0.00005	0.001	0.001	0.0001
Mo	0.42	–	0.010 (*)	–
Ni	< 0.002	–	0.20	0.002
Nitratos	–	10	–	–
Nitritos	–	1.0	–	–
NH3	–	0.25	–	–
Ag	< 0.001	–	0.20	0.005
Pb	< 0.011	0.05	5.00	0.01
Se	0.07	0.01 (*)	0.02 (*)	0.001 (*)
Na	–	–	35.0 en %	–
SO4	–	–	250	–
$SO4^{-2}$	–	250	–	–
V	–	–	0.10	–
Zn	0.005	5.0	2.0	0.02

(*) Valores sobrepasados por el efluente.
(**) Cianuro Libre?

TABLA 1

ESCONDIDA

COPIA DEL INFORME DEL BIOENSAYO CON EL EFLUENTE DE COLOSO

1/07/89 10:00 604 687 4277 RESCAN 002

RESCAN GROUP LTD.

BC RESEARCH
2-41-100-169-89001

96-h STATIC LC50 BIOASSAY RESULTS OF ESCONDIDA PROJECT. COLOSO EFFLUENT

SAMPLE TAKEN: UNKNOWN SAMPLE pH 11.2
SAMPLE RECEIVED: Sep 25, 1989 SAMPLE D.O. 9.0 mg/L
TEST STARTED: Sep 26, 1989 SAMPLE CONDUCTANCE 1600 umho/cm

pH		DISSOLVED OXYGEN		TEST	PERCENT SURVIVAL				96-h
INITIAL	FINAL	INITIAL (mg/L)	FINAL (mg/L)	CONC'N (%v/v)	24h	48h	72h	96h	LC50 (%v/v)
8.0	7.8	9.8	10.0	100.0	100	100	100	100	>100
6.6	6.7	9.8	10.0	0.0 CONTROL	100	100	100	100	

TEST CONDITIONS
Bioassays conducted according to British Columbia PROVINCIAL GUIDELINES AND LABORATORY PROCEDURES FOR MEASURING LETHAL TOXICITY OF LIQUID EFFLUENTS TO FISH, November, 1982.

Number of test fish 10 Test temperature (C) 15.0
Test volume (liters) 10.0 Test solution pH adjusted to 8.0

TEST FISH
Juvenile rainbow trout (Salmo gairdneri)

Acclimated to temperature 15.0 +/- 1 C.
Weight 0.50 +/- 0.10 g Length 4.0 +/- 0.3 cm

Duplicate reference toxicant (sodium pentachlorophenate) bioassays were conducted in order to test the tolerance of the fish stock. These test gave 96-h LC50 values of 107 ug/L (103, 111) and 112 ug/L (90, 120)

DILUTION WATER (Vancouver dechlorinated tap water)

Alkalinity (mg CaCO3/L)	3.0
EDTA hardness (mg CaCO3/L)	4.0
Total suspended solids (mg/L)	< 1.0
Residual chlorine (mg/L)	< 0.002
Conductance (umho/cm)	33

Other parameters available on request.

96-h LC50 is the 96-h median lethal concentration (ie. that causing 50% mortality). The 95% confidence limits are in parantheses. Values were calculated by computer following C.E. Stephens "Methods for Calculating an LC50" (ASTM STP 634, 1977).

B.C. RESEARCH

TABLA 2

ESCONDIDA

DILUCIONES REQUERIDAS PARA CUMPLIMIENTO DE NORMAS

(Valores en ppb)

ELEMENTO	CONCENTRACION DEL EFLUENTE	PROMEDIO AGUA DE MAR COLOSO	CONCENTRACION DILUCION 400 : 1	DILUCION REQUERIDA NORMA Nch 1333/5		DILUCION REQUERIDA U.S. EPA (**)	
				NORMA	DILUCION	NORMA	DILUCION
Cu	580	1.16	2.6	10	64 : 1	2.9	343 : 1
Pb	11	0.77	0.8	10	*	5.6	1 : 1
Cd	< 1	0.29	0.29	10	*	9.3	*
Zn	5	0.84	0.85	20	*	–	–
As	19	2.10	2.14	10	11 : 1	13	0.6 : 1
Hg	< 0.05	0.017	0.017	0.1	*	0.025	3 : 1

(*) Valores sin dilución cumplen la norma

(**) "The Red Book" U.S. EPA 1986, Receiving Waters

TABLA 3

ESCONDIDA

DESCARGA SUBMARINA EN COLOSO

ANALISIS DE SENSIBILIDAD EN EL VOLUMEN DEL EFLUENTE DILUCION EN LA PLUMA Y EN SU ALTURA TERMINAL

(Basado en estudios de estratificación media en Invierno y Verano hechos en 1989–90)

PARAMETROS	FLUJO BAJO 12 l/s		CASO BASE 18 l/s		FLUJO ALTO 28 l/s	
	I*	V**	I*	V**	I*	V**
Altura Terminal m (bajo el nivel del mar)	39.2	41.6	38.7	40.7	38.4	40.0
Dilución	1107	935	911	800	798	719

(*) I – INVIERNO 1989
(**) V – VERANO 1990

TABLA 4

ESCONDIDA

CONCENTRACION DE ELEMENTOS TRAZA EN AGUA DE MAR CALETA COLOSO

(µg / l)

		SUBMAREAL						INTERMAREAL				
	ELEMENTO	As	Cd	Cu	Hg	Pb	Zn	As	Cd	Cu	Pb	Zn
CONTENIDO TOTAL	PROMEDIO	2.17	0.38	1.44	0.02	1.39	1.33	2.38	0.24	2.16	2.83	1.26
	MINIMO	1	0.15	0.27	0.01	0.18	0.15	1.80	0.15	0.51	0.22	0.44
	MAXIMO	5.5	1.59	5.09	0.06	4.89	3.29	3.00	0.46	7.30	11.41	1.97
CONTENIDO DISUELTO	PROMEDIO	2.06	0.27	1.09	–	1.01	0.99	2.34	0.19	1.46	2.04	0.96
	MINIMO	1.0	0.076	0.24	–	0.13	0.079	1.43	0.10	0.36	0.13	0.23
	MAXIMO	3.1	1.03	4.87	–	3.31	3.11	3.00	0.41	3.38	5.64	1.70

CONTENIDO DE ELEMENTOS TRAZA EN ORGANISMOS

Concentraciones mg/Kg

Perumytilus purpuratus

BASE HUMEDA	As	Cu	Hg	Pb	Cd	Zn
PROMEDIO	0.30	4.09	0.06	1.64	1.23	20.20
MAXIMO	0.97	6.26	0.22	2.47	2.00	24.68
MINIMO	0.09	1.30	0.01	0.87	0.95	15.56

Cheilodactylus variegatus

BASE HUMEDA	As	Cu	Hg	Pb	Cd	Zn
PROMEDIO	0.15	0.42	0.02	0.53	0.08	4.66
MAXIMO	0.63	0.89	0.06	1.04	0.16	7.30
MINIMO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	3.81

Pyura praeputialis

BASE HUMEDA	As	Cu	Hg	Pb	Cd	Zn
PROMEDIO	0.16	1.48	0.01	1.22	0.32	8.38
MAXIMO	0.76	2.92	0.03	1.63	0.66	13.81
MINIMO	0.01	0.01	0.01	0.70	0.17	5.70

TABLA 5

ESCONDIDA

MATRIZ DE EVALUACION DEL IMPACTO

DESCARGA DEL EFLUENTE EN COLOSO

COMPONENTES AMBIENTALES	A	B	C	D	PUNTAJE
ESCALA	1-10	0-10	1-10	0-1	
A) ALTERACIONES EN LA BIOTA					
–FITOPLANCTON	1	0.3	1	1	0.3
–ZOOPLANCTON	1	0.3	3	1	0.9
–PECES	1	0.3	1	1	0.3
–ESPECIES DEL INTERMAREAL	1	1	6	0.1	0.6
–ESPECIES UNICAS	1	1	10	0.1	1.0
–BENTOS SUBMAREAL	1	0.3	1	1	0.3
–BIOACUMULACION	6	1	6	1	36
B) ALTERACIONES EN PARAMETROS ABIOTICOS					
–COLUMNA DE AGUA	10	0.3	10	1	30
–ACUMULACION EN SEDIMENTOS	2	0.3	5	1	3
					72.4

MAXIMO PUNTAJE TEORICO DE IMPACTO : 9000
VALORACION IMPACTO DE LA DESCARGA : 72.4
PUNTAJE RELATIVO DE LA DESCARGA : 0.8%

NOTAS:

A. INTENSIDAD DEL IMPACTO.
B. EXTENSION DEL IMPACTO (AREA DE REFERENCIA 30 Km^2).
C. IMPORTANCIA.
D. PROBABILIDAD.

TABLA 6

ESCONDIDA

CONCENTRACIONES MAXIMAS DEL EFLUENTE

MONITOREO CORTO + LAZO

PARAMETRO	CONCENTRACION MAXIMA (ELEMENTOS DISUELTOS)	PROMEDIO ELEMENTOS DISUELTOS AGUA EFLUENTE mg / l PERIODO 7/1/91 AL 20/10/91	
Arsénico	0.100	< 0.010	
Cadmio	0.010	< 0.005	
Cobre	1.000	0.178	
Cianuro	1.000	< 0.100	
Mercurio	0.002	< 0.001	
Plomo	0.010	< 0.005	
Selenio	0.100	< 0.012	
Zinc	0.050	< 0.016	

$\bar{X}$ = PROMEDIO LINEA BASE

TABLA 7

CONCENTRACIONES MAXIMAS DEL EFLUENTE
MONITOREO CORTO + LAZO
ESCONDIDA

ESCONDIDA

CONCENTRACION DE ELEMENTOS TRAZA EN AGUA DE MAR

MONITOREO CORTO PLAZO

SUBMAREAL (µg/l)

	ELEMENTO	As	Cd	Cu	Hg	Se	Pb	Zn
TOTAL	PROMEDIO	1.67	0.05	1.12	0.03	0.59	0.53	1.95
	MINIMO	0.09	0.008	0.58	< 0.01	0.19	0.10	0.88
	MAXIMO	2.80	0.10	3.90	0.80	5.70	1.80	4.05
	$\bar{x}$ LINEA BASE	2.17	0.38	1.44	0.02	-	1.39	1.33
DISUELTO	PROMEDIO	1.28	0.002	0.58	-	-	0.86	1.04
	MINIMO	0.09	0.004	0.47	-	-	0.05	0.70
	MAXIMO	2.90	0.07	1.30	-	-	0.60	3.80
	$\bar{x}$ LINEA BASE	2.06	0.27	1.09	-	-	1.01	0.99

INTERMAREAL (µg/l)

	ELEMENTO	As	Cd	Cu	Hg	Se	Pb	Zn
TOTAL	PROMEDIO	1.48	0.05	2.70	0.02	0.87	0.61	2.30
	MINIMO	0.81	0.02	1.10	< 0.01	0.17	0.15	0.83
	MAXIMO	2.29	0.10	5.80	0.06	3.23	1.12	4.47
	$\bar{x}$ LINEA BASE	2.38	0.24	2.16	-	-	2.83	1.26
DISUELTO	PROMEDIO	1.18	0.03	1.50	-	-	0.32	1.73
	MINIMO	0.56	0.01	0.64	-	-	0.06	0.73
	MAXIMO	2.17	0.04	3.96	-	-	0.50	3.70
	$\bar{x}$ LINEA BASE	2.34	0.19	1.46	-	-	2.04	0.96

$\bar{X}$ = PROMEDIO LINEA BASE

TABLA 8

ESCONDIDA

RESUMEN DE RESULTADOS DEL BIOENSAYO ESTATICO LC_{50}-96h (Cheirodon pisciculus) REALIZADO CON EFLUENTE CALETA COLOSO DE MINERA ESCONDIDA LTDA.

PRIMER BIOENSAYO

Fecha de Inicio: 29 Abril 1991
Fecha de Término: 3 Mayo 1991

El desarrollo de los bioensayos se llevó a cabo según las indicaciones entregadas en:

ASTM (1988). Standard Guides for Conducting Acute Toxicity Test with Fishes, Macroinvertebrates, and Amphibians. Vol. E47.01 E729-88a, Philadelphia, PA, pp. 336-355

Condiciones del Ensayo

Especie usada:	Cheirodon pisciculus
Aclimatación:	Una semana en acuarios con flujo continuo.
Volumen de agua:	1 litro
Número de réplicas:	4
Número de individuos por réplica:	5
Agua de dilución:	Laguna Chica San Pedro.
Origen de los peces:	Laguna Chica San Pedro.
Tóxico de referencia:	Sulfato de cobre ($CuSO_4$)
LC$0 - 96 h Cu^{2+} Probit:	69.6 µg/1 (57.7 ; 83.9)
LC$0 - 96 h efluente Coloso:	>100 % efluente
Respuesta peces (1.5 - 100 % efluente):	100% sobrevivencia

SEGUNDO BIOENSAYO

Fecha de Inicio: 11 Junio 1991
Fecha de Término: 15 Junio 1991

El desarrollo de los bioensayos se llevó a cabo según las indicaciones entregadas en:

ASTM (1988). Standard Guides for Conducting Acute Toxicity Test with Fishes, Macroinvertebrates, and Amphibians. Vol. E47.01 E729-88a, Philadelphia, PA, pp. 336-355

Condiciones del Ensayo

Especie usada:	Cheirodon pisciculus
Aclimatación:	Una semana en acuarios con flujo continuo.
Volumen de agua:	1 litro
Número de réplicas:	4
Número de individuos por réplica:	5
Agua de dilución:	Laguna Chica San Pedro.
Origen de los peces:	Laguna Chica San Pedro.
Tóxico de referencia:	Sulfato de cobre ($CuSO_4$)
LC$0 - 96 h Cu^{2+} Probit:	69.6 µg/1 (57.7 ; 83.9)
LC$0 - 96 h efluente Coloso:	>100 % efluente
Respuesta peces (1.5 - 100 % efluente):	100% sobrevivencia

TABLA 9

ESCONDIDA

PRIMER MONITOREO LARGO PLAZO

PARAMETROS

REALIZADO CON EMPRESA CALETA COLOSO

DE MINERA ESCONDIDA LTDA.

1.- ELEMENTOS TRAZA EN AGUA DE MAR

2.- ELEMENTOS TRAZA EN AGUA ORGANISMOS

3.- OCEANOGRAFIA FISICA

4.- OCEANOGRAFIA BIOLOGICA

5.- COMUNIDADES INTER Y SUBMAREALES

6.- MONITOREO DE POLVO

7.- ELEMENTOS TRAZA EN AGUA SEDIMENTOS

8.- SEGUIMIENTO PESCA ARTESANAL EN PUERTO COLOSO

TABLA 10

ANEXO 2

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Trazado de la Tubería de Concentrado
Figura 2	Ubicación del Campo de Pozos de Agua en Punta Negra
Figura 3	Esquema General del Proceso en la Planta Concentradora de Escondida y del Tratamiento de Agua de Proceso en la Planta de Molibdeno
Figura 4	Ubicación de la Zona de Relaves en Escondida
Figura 5	Esquema General del Proceso en Coloso
Figura 6	Sistema de Tratamiento del Efluente en Coloso
Figura 7	Ubicación del Sistema de Descarga Submarina en Coloso
Figura 8	Gráfico Oxígeno Disuelto versus Profundidad
Figura 9	Perfiles de Estratificación Costa Afuera de Coloso. Perfil Conservador Usado para el Diseño
Figura 10	Correntómetros con Anclaje a 50 m de Profundidad
Figura 11	Ilustración Esquemática de la Pluma Dilución en el Campo Cercano - Caso mas Desfavorable
Figura 12	Envolvente Anual de Curvas de Dilución
Figura 13	Línea de Igual Dilución 400:1 para el Escenario mas Desfavorable (Envolvente Anual)
Figura 14	Simulación Calidad del Agua Escenario N° 1
Figura 15	Simulación Calidad del Agua Escenario N° 2
Figura 16	Simulación Calidad del Agua Escenario N° 3
Figura 17	Simulación Calidad del Agua Escenario N° 4
Figura 18	Zona de Estudio de Línea Base
Figura 19	Esquema Global de las Corrientes
Figura 20	Corte Intermareal Típico Sector Coloso
Figura 21	Especies Dominantes en el Submareal Caleta Coloso
Figura 22	Oceanografía Físico-Biológica, Línea Base
Figura 23	Zooplancton y Fitoplancton. Línea Base
Figura 24	Abundancia y Contribución Porcentual de la Comunidad de Fondos Blandos - Coloso
Figura 25	Sitios de Pesca de la Flota Artesanal de Caleta Coloso
Figura 26	Concentración Promedio de Partículas Totales Suspendidas en el Aire
Figura 27	Usos de la Zona
Figura 28	Sección Vertical de las Medidas de Dilución dentro del Rango de 225° a 045°

ESCONDIDA

TRAZADO DE TUBERIA DE CONCENTRADO

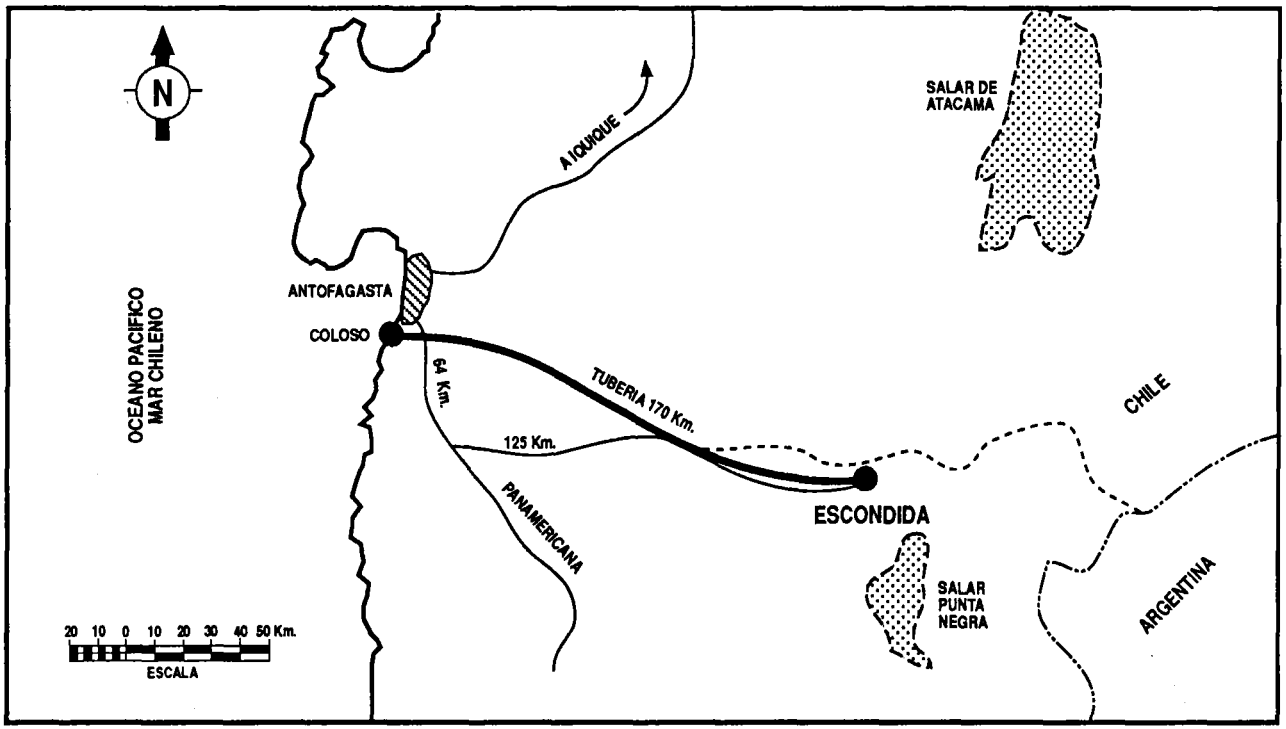


FIGURA 1

ESCONDIDA

UBICACION CAMPO POZOS DE AGUA EN PUNTA NEGRA

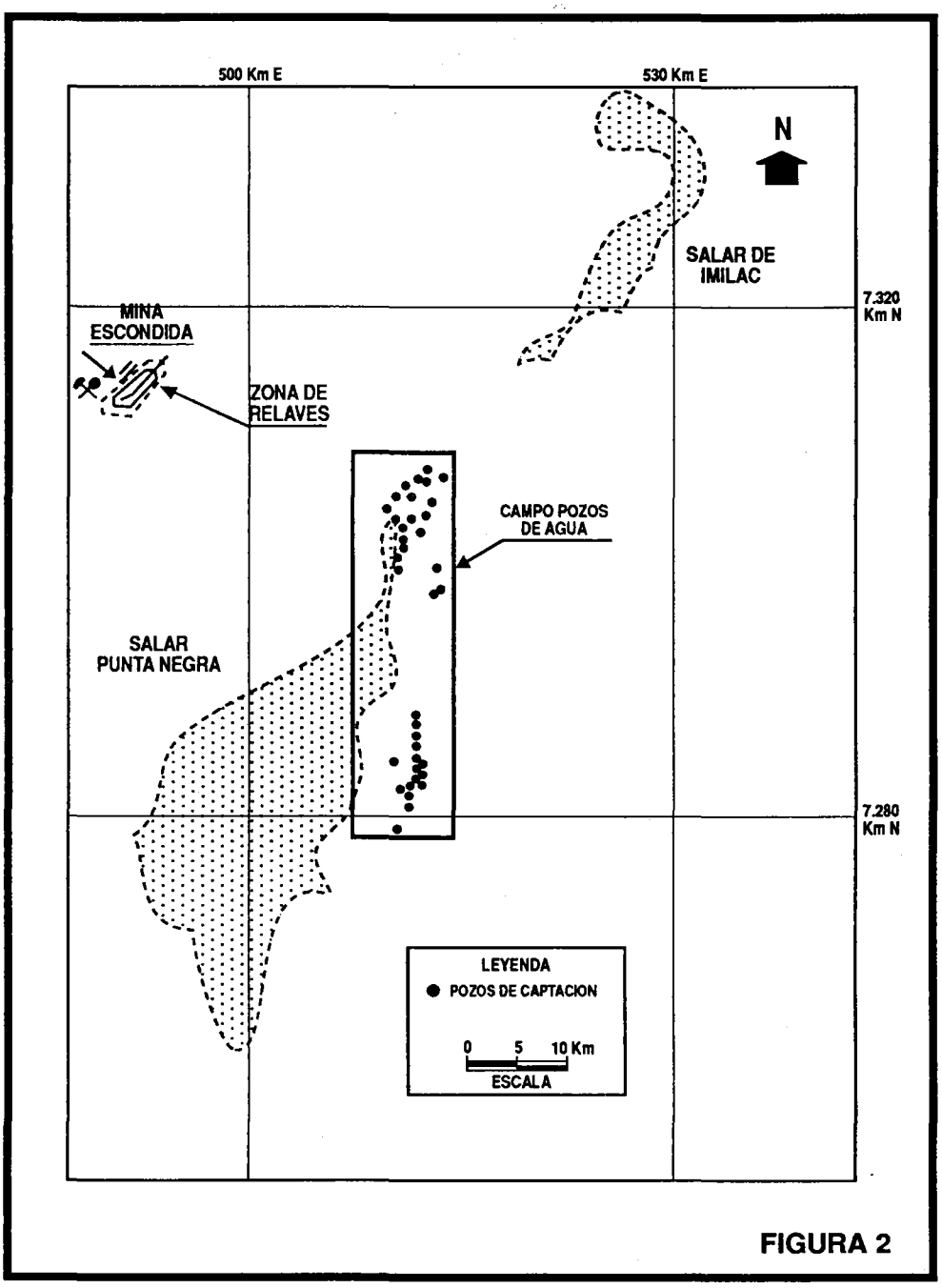


FIGURA 2

ESCONDIDA

ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO EN LA PLANTA CONCENTRADORA DE ESCONDIDA Y DEL TRATAMIENTO DEL AGUA DE PROCESO EN LA PLANTA DE MOLIBDENO

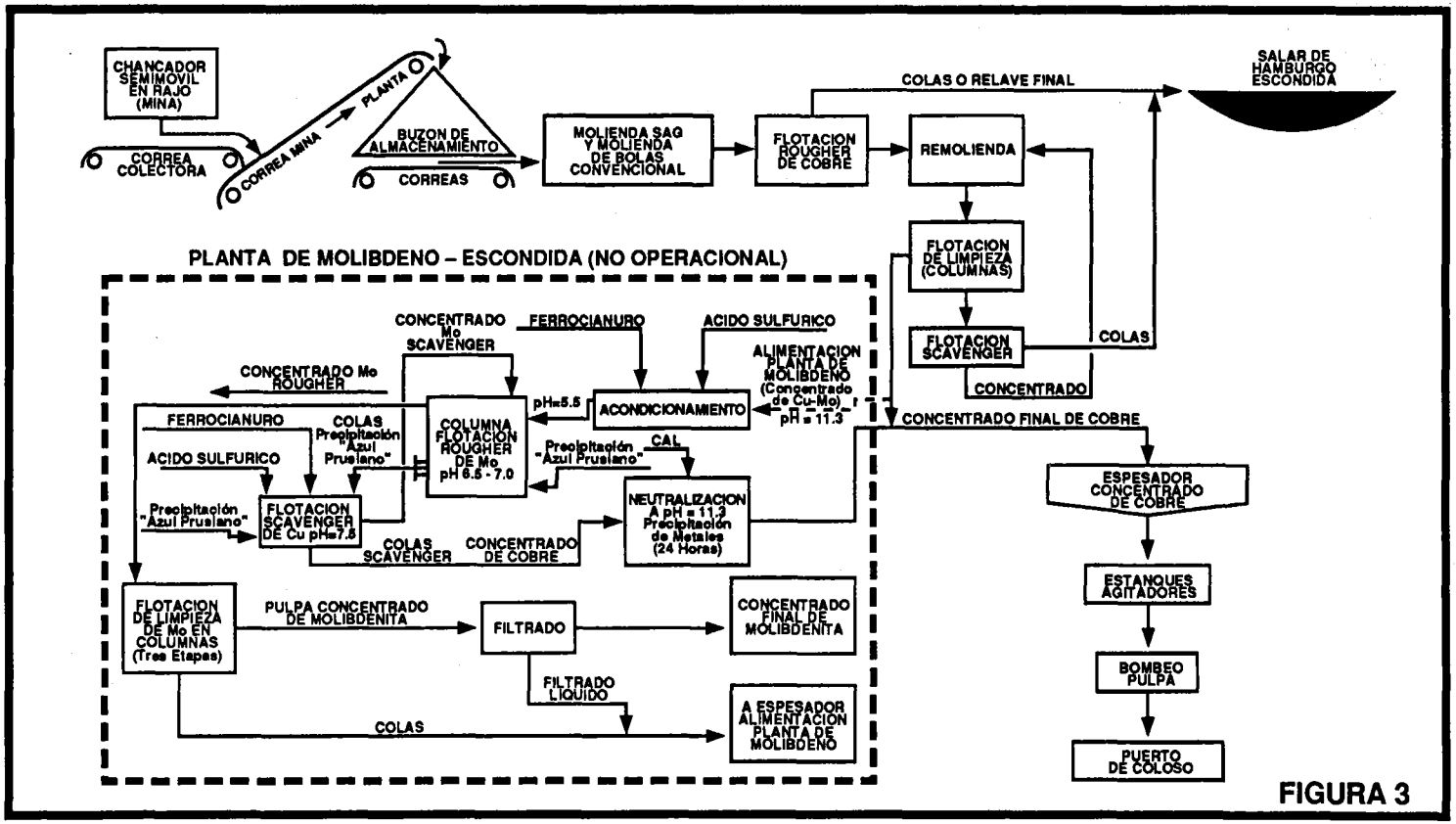


FIGURA 3

ESCONDIDA

UBICACION DE LA ZONA DE RELAVES EN ESCONDIDA

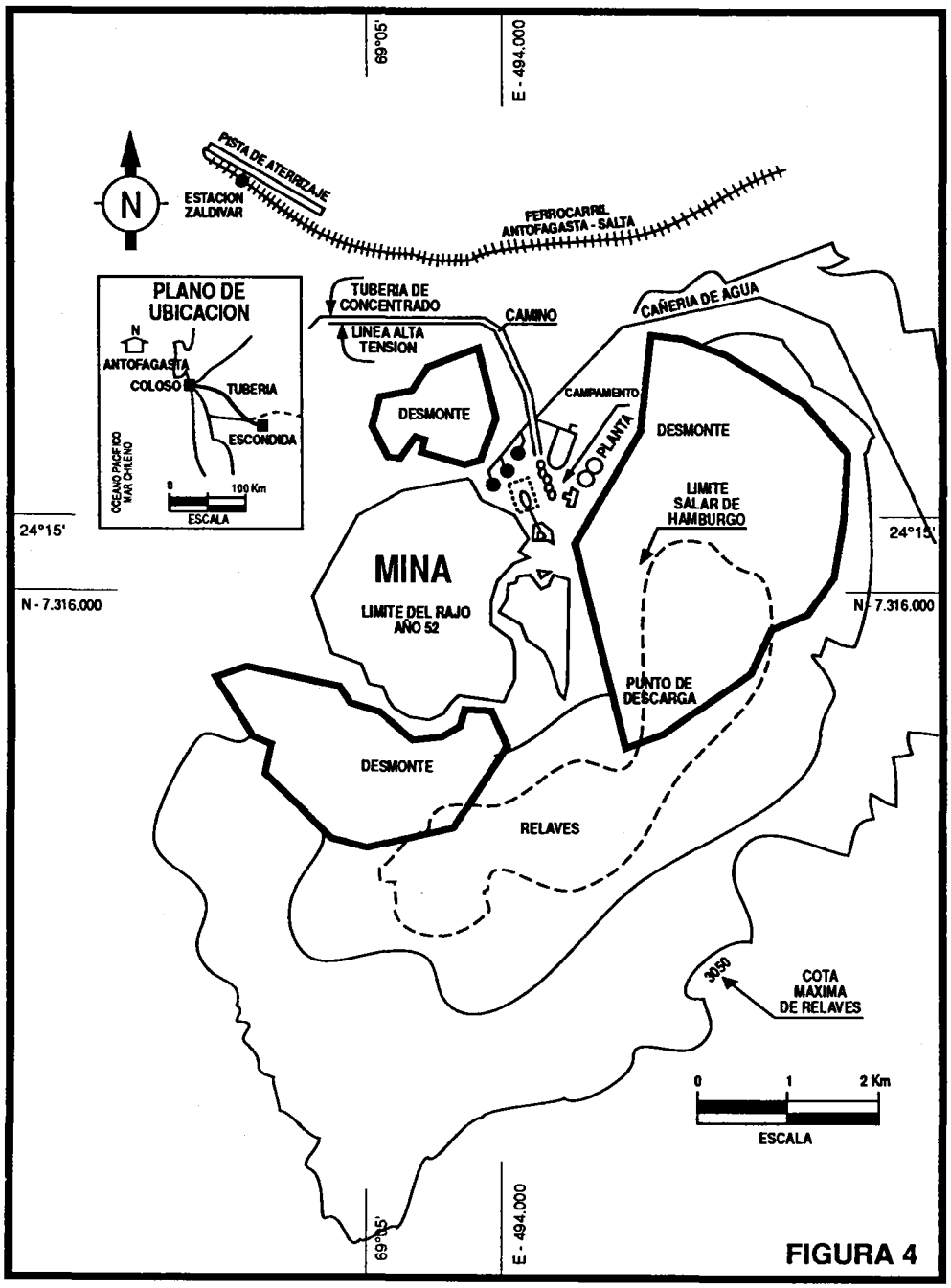


FIGURA 4

ESCONDIDA

ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO EN COLOSO

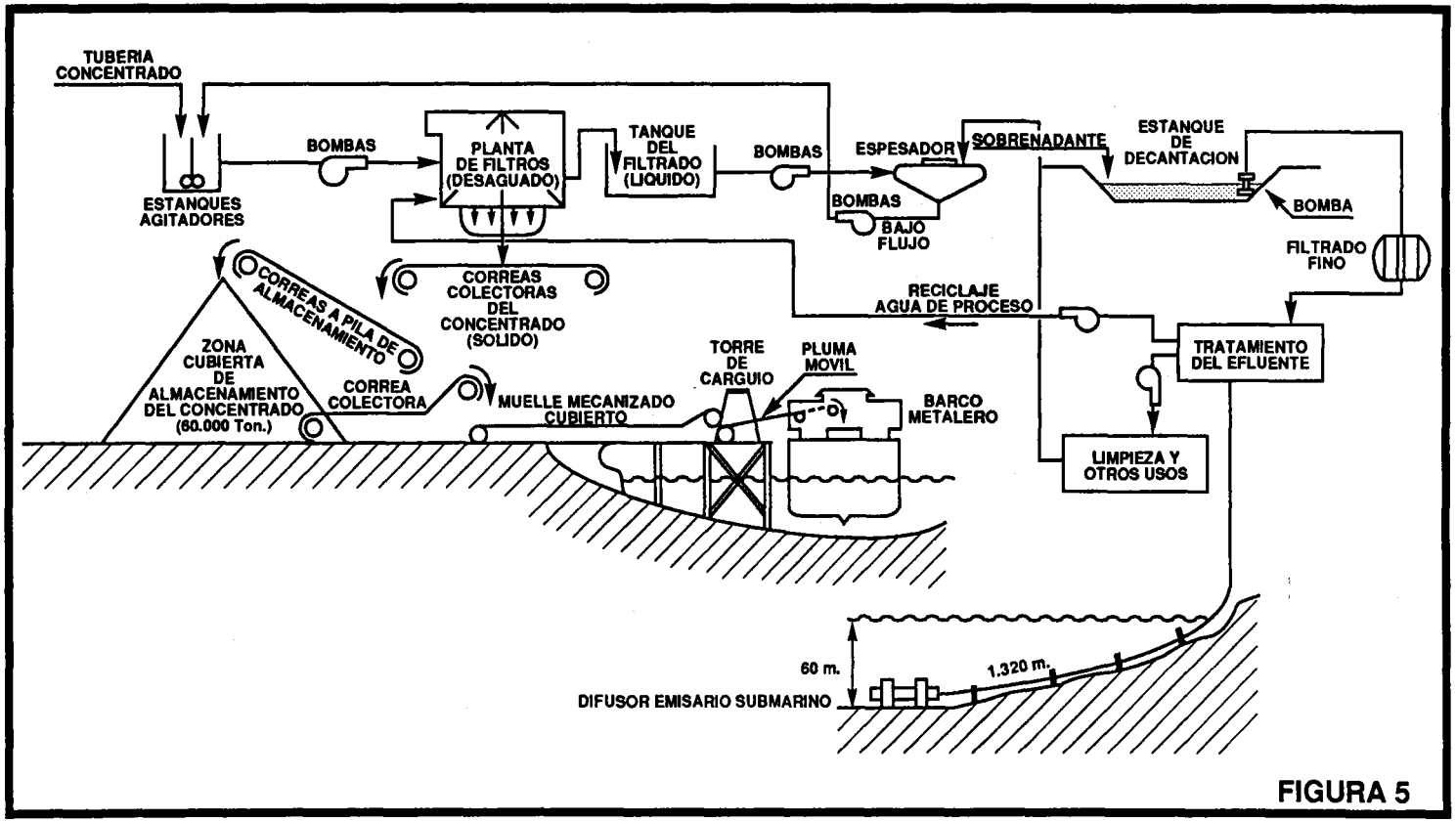


FIGURA 5

ESCONDIDA

SISTEMA DE TRATAMIENTO - EFLUENTE COLOSO

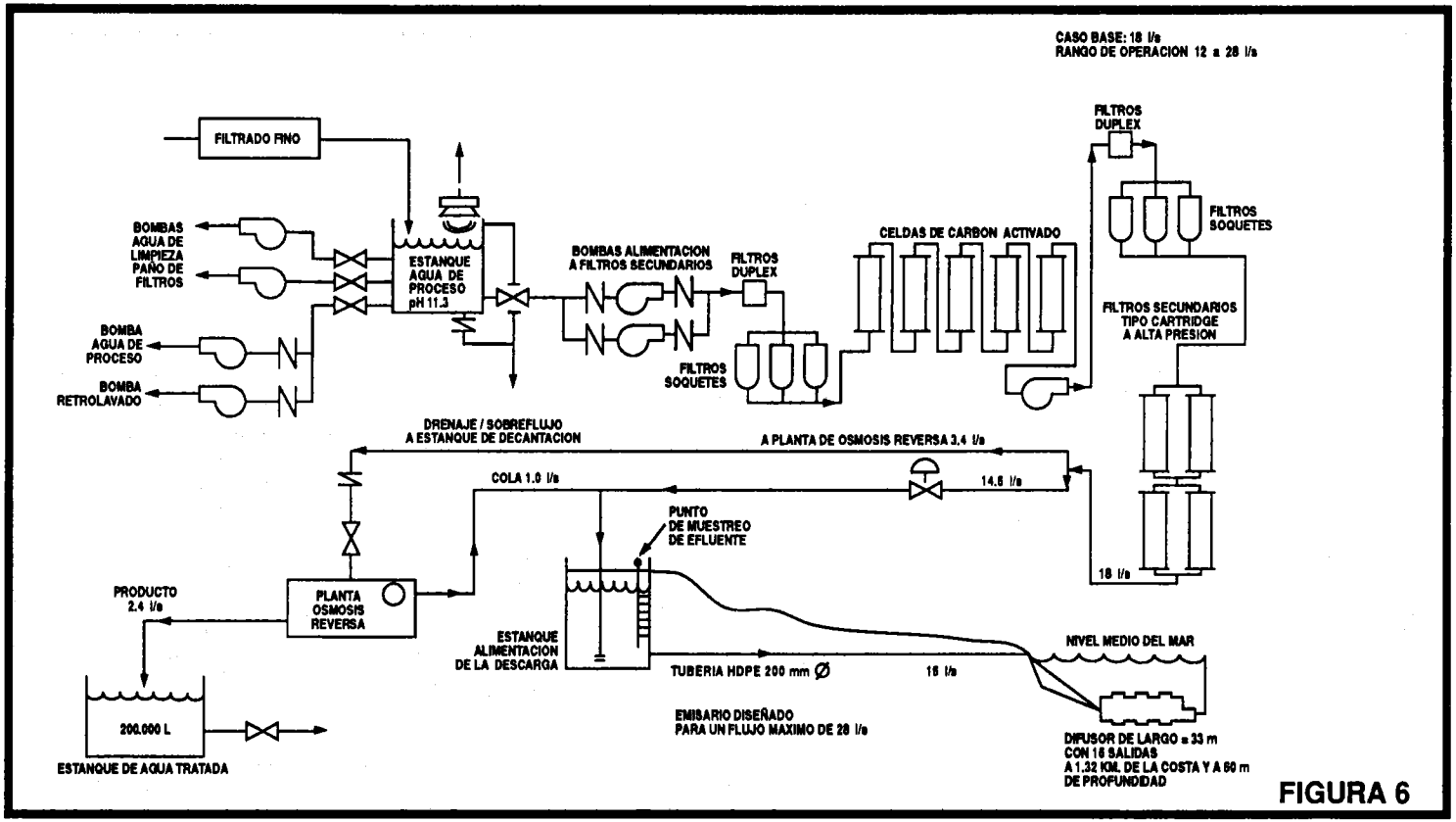


FIGURA 6

ESCONDIDA

UBICACION DEL SISTEMA DE DESCARGA SUBMARINA EN PUNTA COLOSO

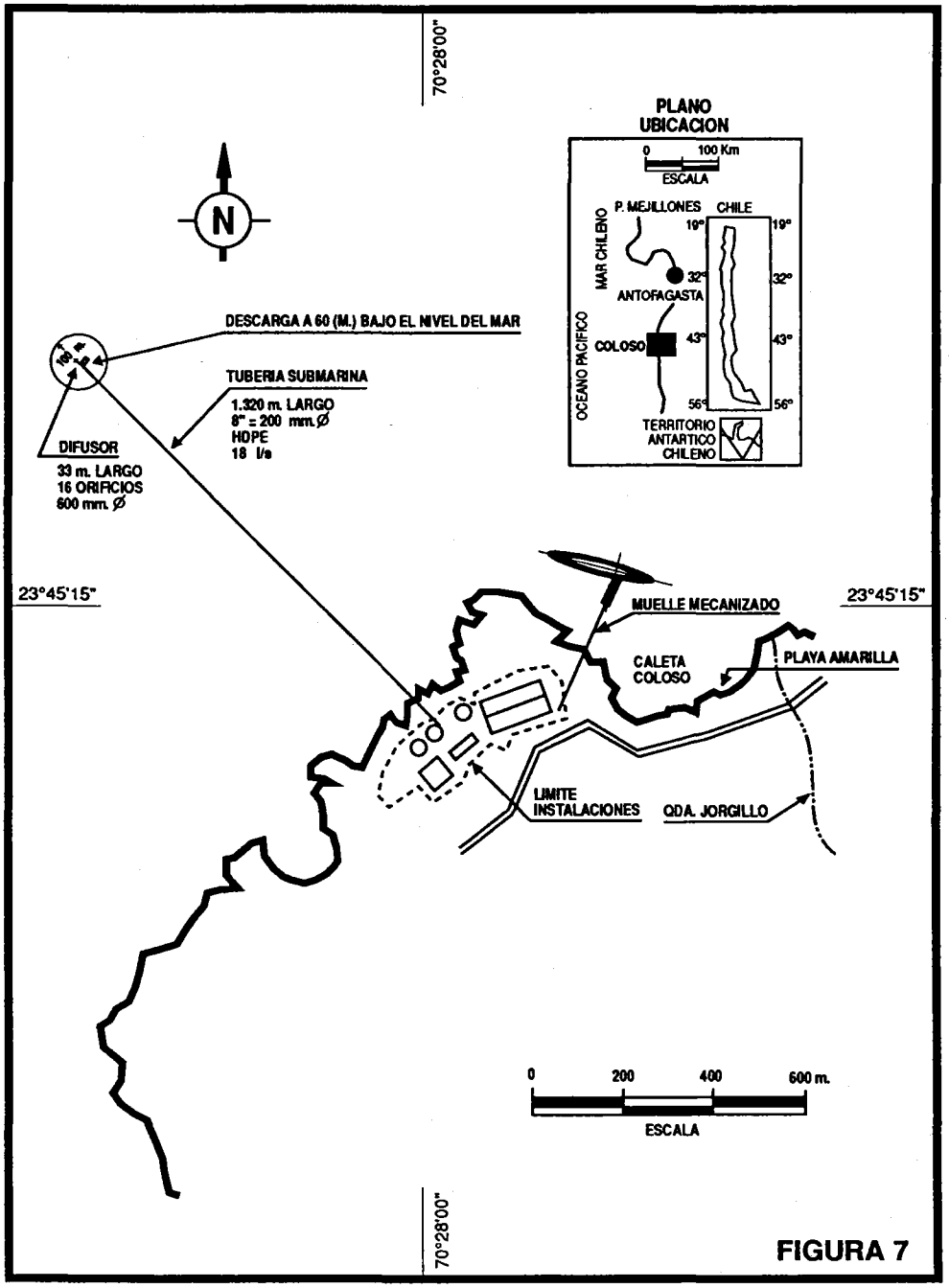


FIGURA 7

ESCONDIDA

OXIGENO DISUELTO

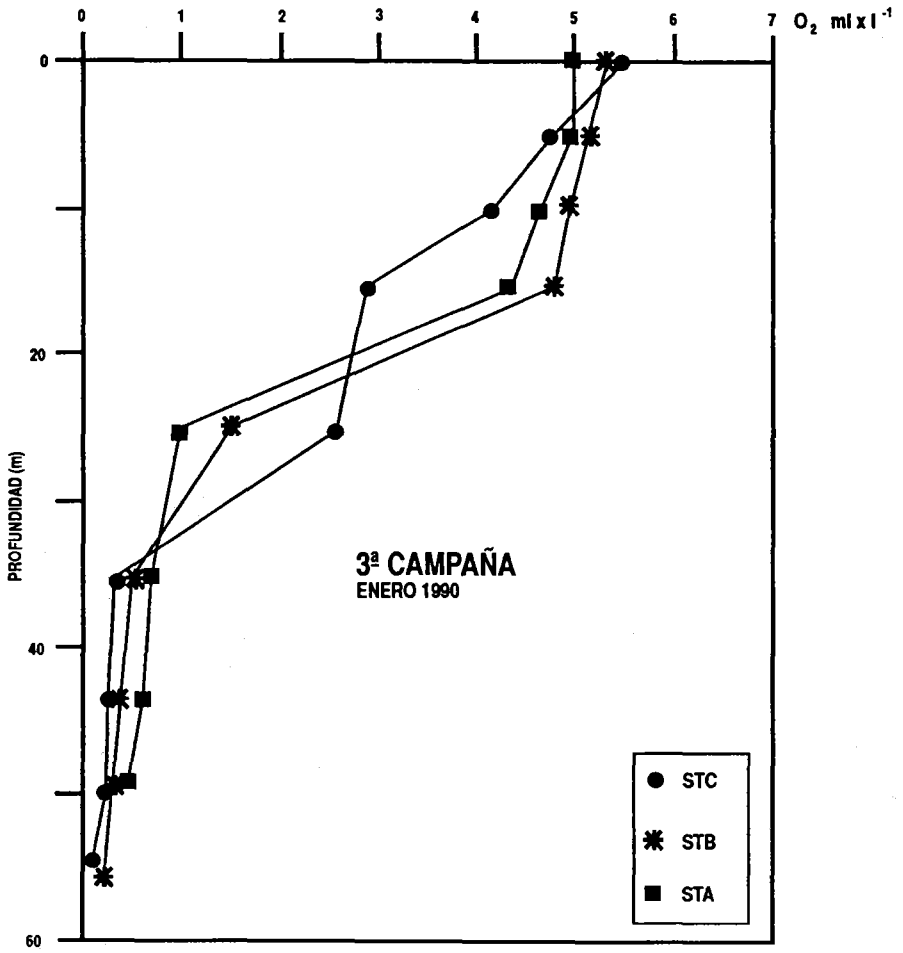


FIGURA 8

ESCONDIDA

PERFILES DE ESTRATIFICACION COSTA AFUERA DE COLOSO

PERFIL CONSERVADOR USADO PARA EL DISEÑO

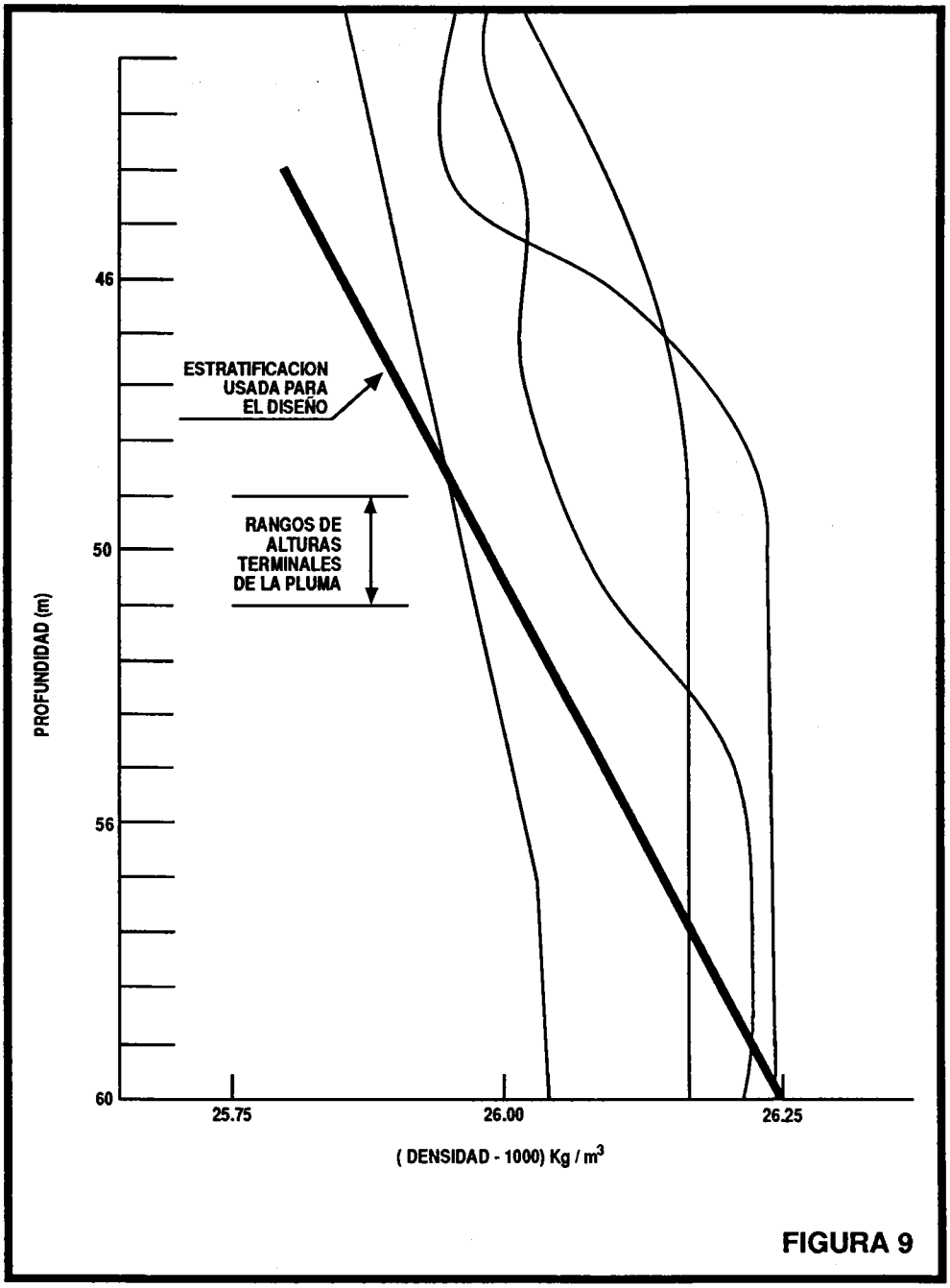


FIGURA 9

ESCONDIDA

CORRENTOMETROS CON ANCLAJE A 50 m. DE PROFUNDIDAD

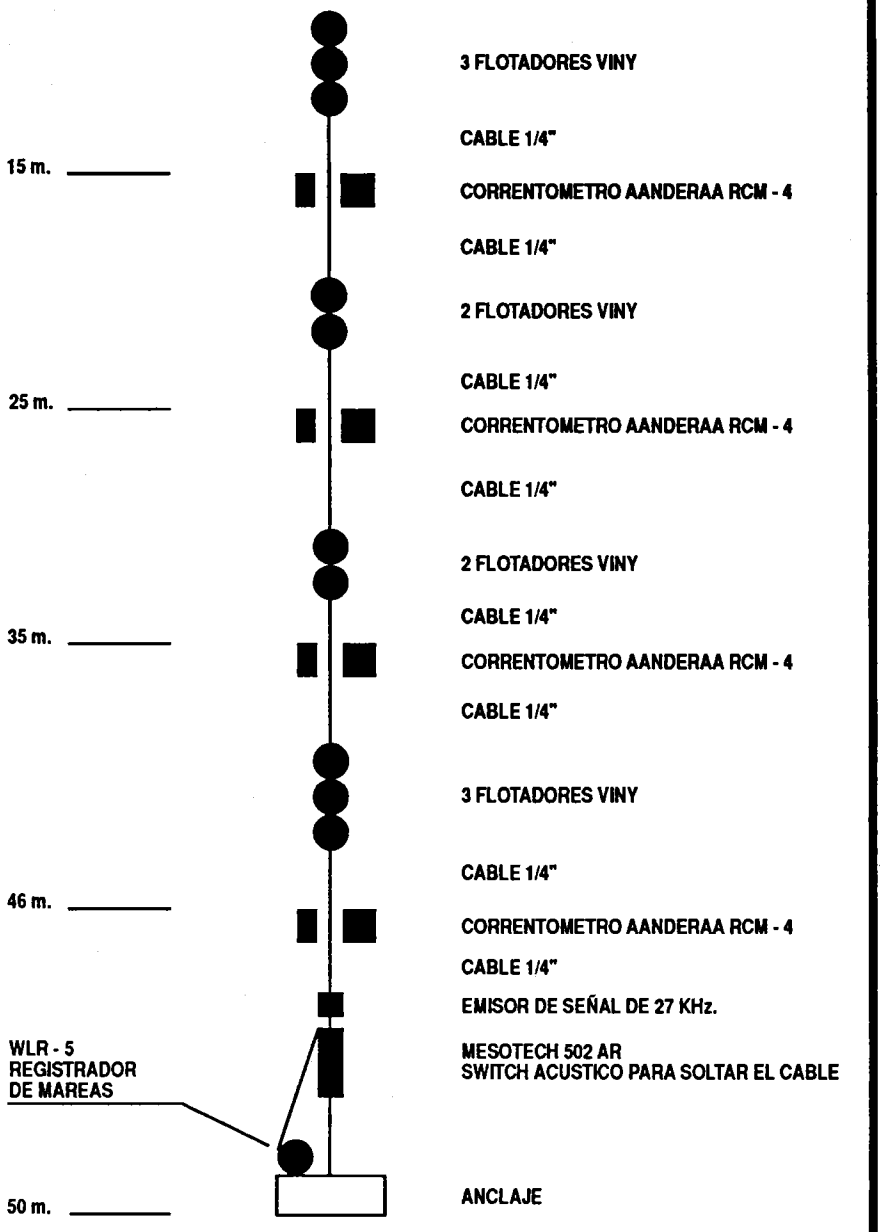


FIGURA 10

ESCONDIDA

ILUSTRACION ESQUEMATICA DE LA PLUMA EN EL CAMPO CERCANO CASO MAS DESFAVORABLE

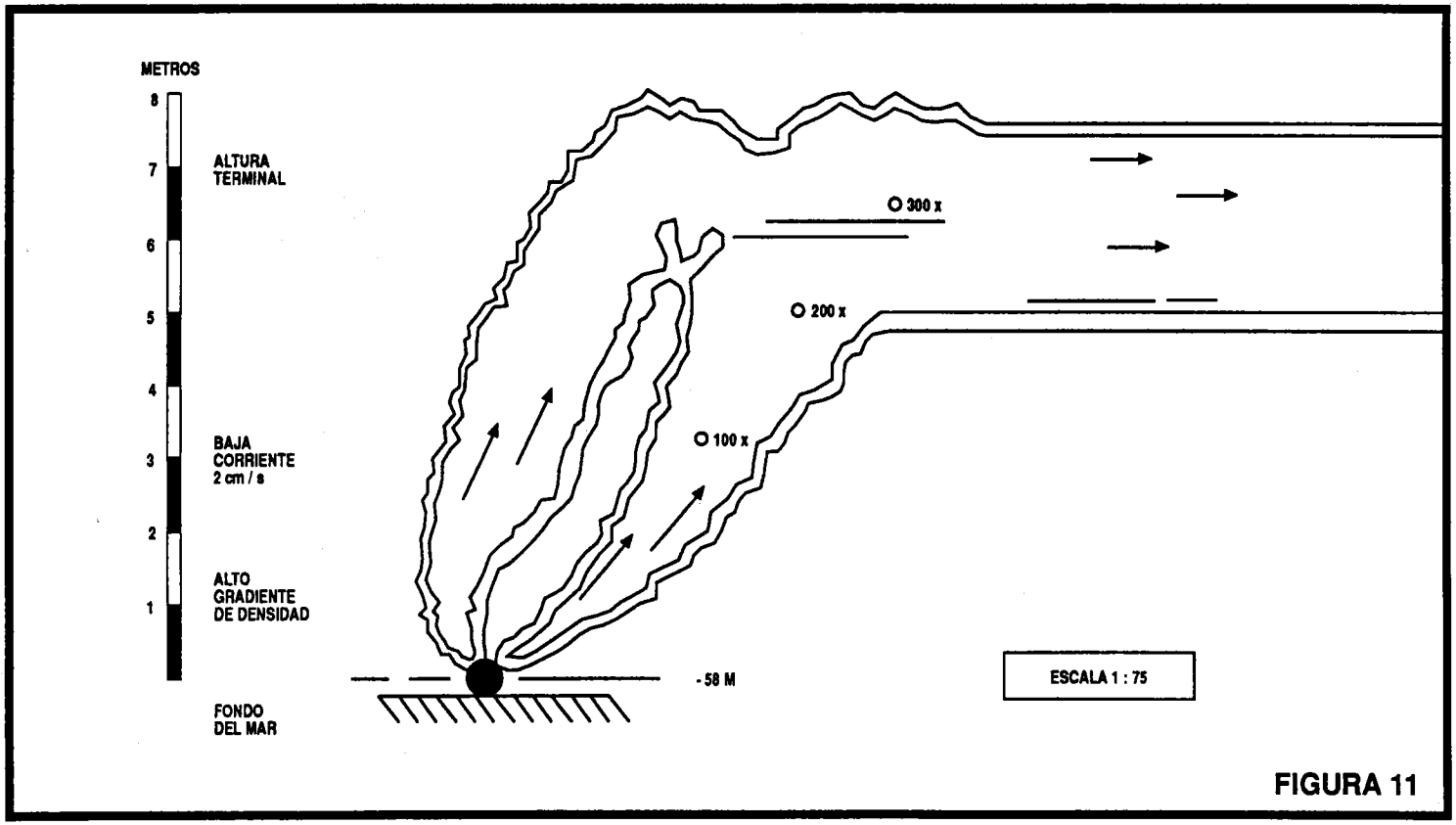


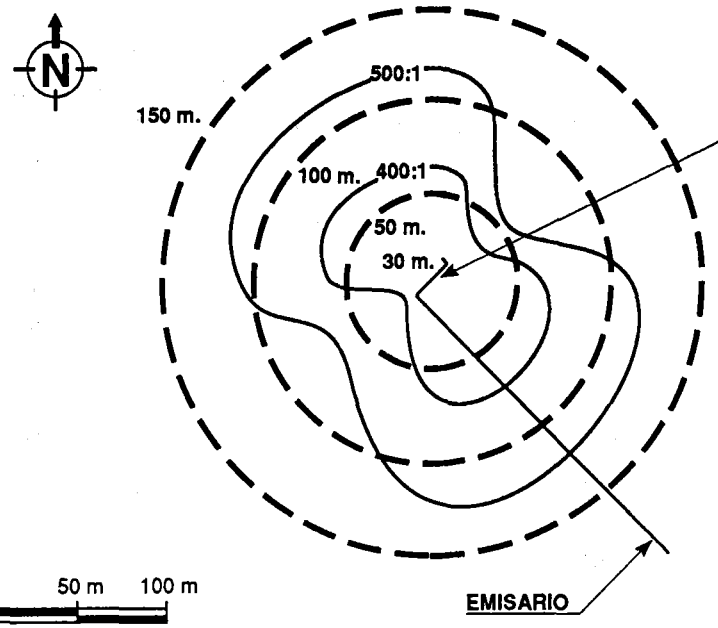
FIGURA 11

ESCONDIDA

ENVOLVENTE ANUAL DE CURVAS DE DILUCION

• PEOR ESCENARIO
• -50 M

CONDICIONES
• 10% Corrientes más desfavorables
• Doble del gradiente de densidad más desfavorable



10% CORRIENTES MAS FUERTES
Velocidad en cm/s

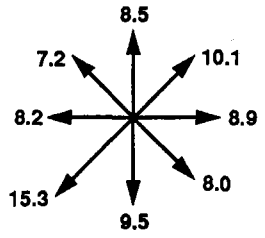


FIGURA 12

ESCONDIDA

LINEA DE IGUAL DILUCION 400:1 PARA EL ESCENARIO MAS DESFAVORABLE

(ENVOLVENTE ANUAL)

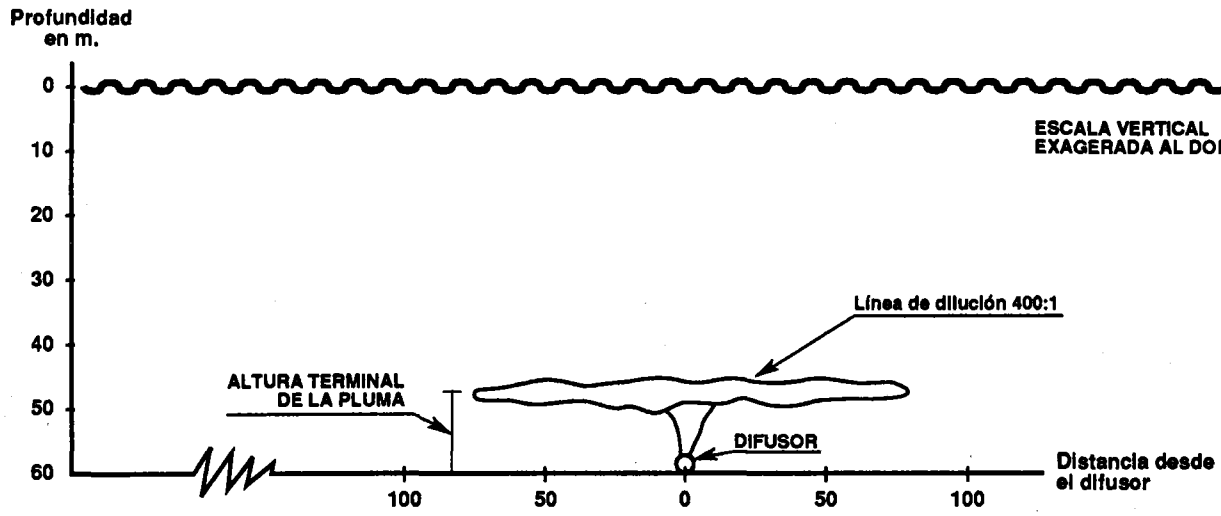
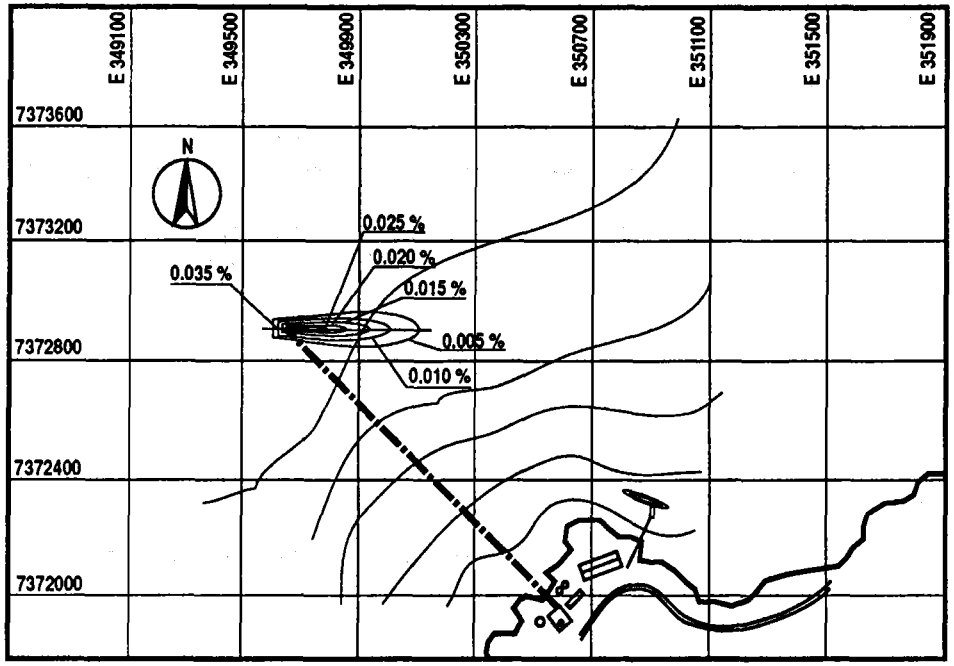


FIGURA 13

ESCONDIDA

SIMULACION CALIDAD DEL AGUA ESCENARIO Nº1

CONDICION CON CORRIENTES DE SUPERFICIE



VALORES DE CONCENTRACION DE ISOLINEAS EN % DE CONCENTRACION INICIAL Co.

DATOS TECNICOS

Q. DISEÑO
= 18 l/s

COEF. DISPERSION
= 0.1 m2/s

CONC. PTO. DESCARGA (Co)
= Paramétrico

DILUCION INICIAL POR CHORRO
= 2.872 : 1

ALTURA TERMINAL
= Superficie

NOTAS

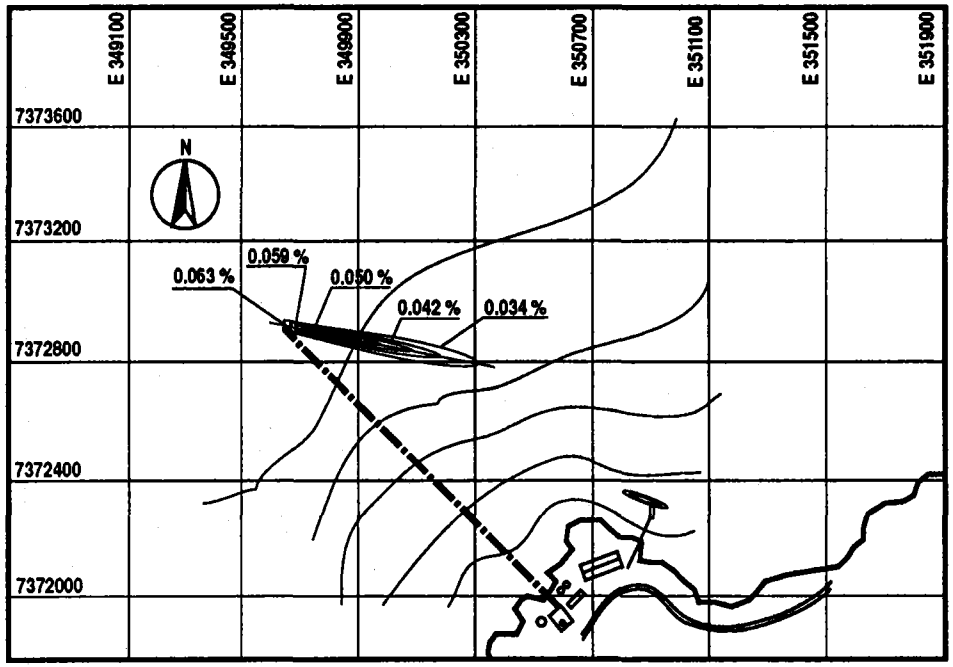
- CAMPO DE VELOCIDADES SEGUN OAM.
- DILUCION INICIAL POR CHORRO SEGUN UMERGE (RESCAN)
- NO CONSIDERA CONCENTRACIONES DEL AGUA DE MAR

FIGURA 14

ESCONDIDA

SIMULACION CALIDAD DEL AGUA ESCENARIO Nº2

CONDICION CON CORRIENTES DE 20 A 25 m DE PROFUNDIDAD



VALORES DE CONCENTRACION DE ISOLINEAS EN % DE CONCENTRACION INICIAL Co.

DATOS TECNICOS

Q. DISEÑO
= 18 l/s

COEF. DISPERSION
= 0.1 m2/s

CONC. PTO. DESCARGA (Co)
= Paramétrico

DILUCION INICIAL POR CHORRO
= 1.580 : 1

ALTURA TERMINAL
= 25 m bajo la superficie

NOTAS

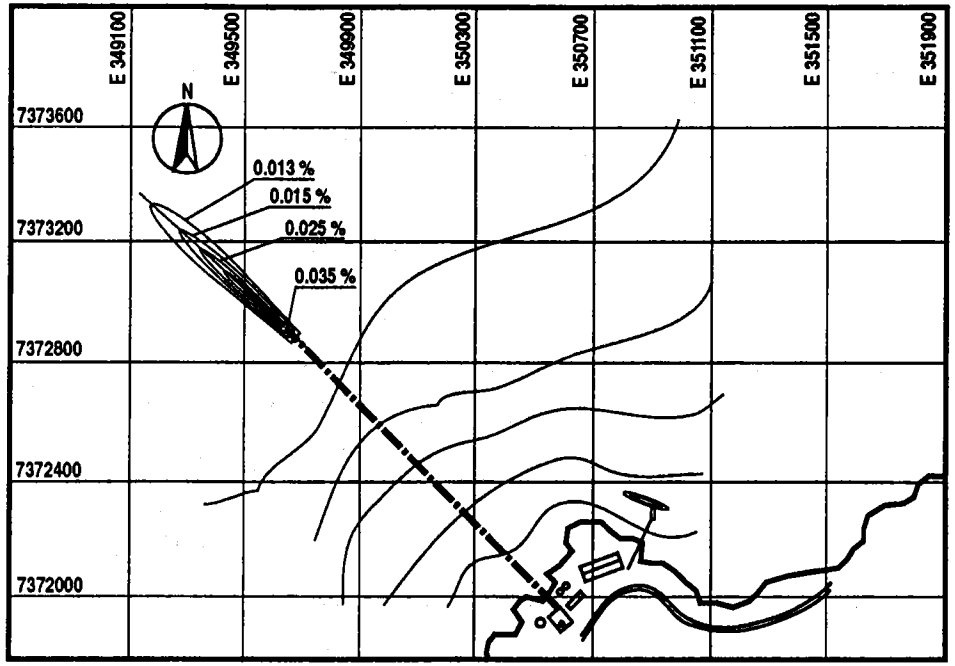
- CAMPO DE VELOCIDADES SEGUN OAM.
- DILUCION INICIAL POR CHORRO SEGUN UMERGE (RESCAN)
- NO CONSIDERA CONCENTRACIONES DEL AGUA DE MAR

FIGURA 15

ESCONDIDA

SIMULACION CALIDAD DEL AGUA ESCENARIO Nº3

CONDICION CON SURGENCIA INTENSA



VALORES DE CONCENTRACION DE ISOLINEAS EN % DE CONCENTRACION INICIAL Co.

DATOS TECNICOS

Q. DISEÑO
= 18 l/s

COEF. DISPERSION
= 0.1 m2/s

CONC. PTO. DESCARGA (Co)
= Paramétrico

DILUCION INICIAL POR CHORRO
= 2.872 : 1

ALTURA TERMINAL
= Superficie

NOTAS

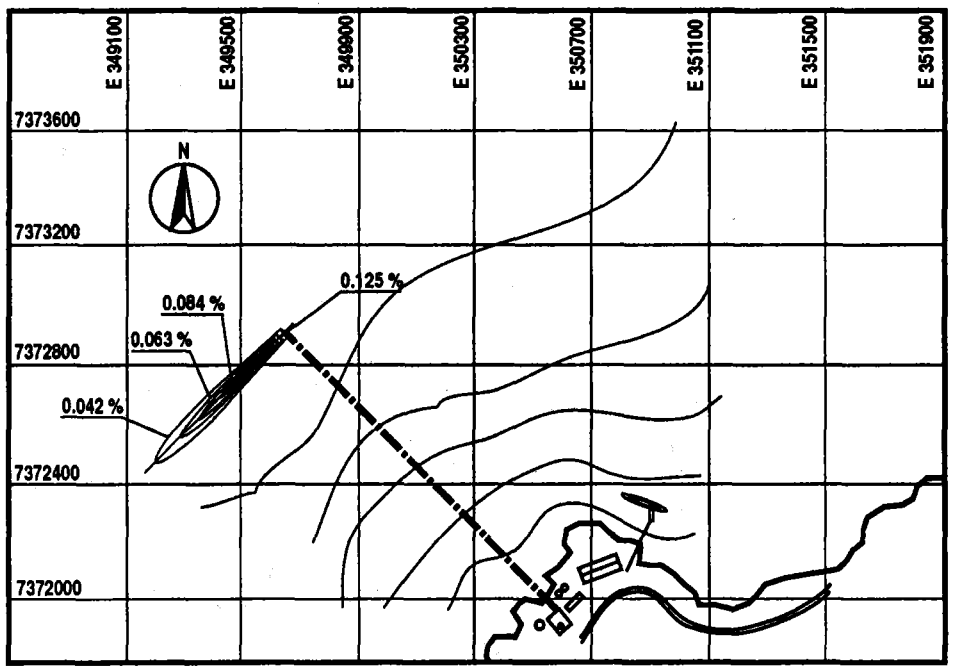
- CAMPO DE VELOCIDADES SEGUN OAM.
- DILUCION INICIAL POR CHORRO SEGUN UMERGE (RESCAN)
- NO CONSIDERA CONCENTRACIONES DEL AGUA DE MAR

FIGURA 16

ESCONDIDA

SIMULACION CALIDAD DEL AGUA ESCENARIO Nº4

CONDICION CON CORRIENTES A 40 m DE PROFUNDIDAD



VALORES DE CONCENTRACION DE ISOLINEAS EN % DE CONCENTRACION INICIAL Co.

DATOS TECNICOS

Q. DISEÑO
= 18 l/s

COEF. DISPERSION
= 0.1 m2/s

CONC. PTO. DESCARGA (Co)
= Paramétrico

DILUCION INICIAL POR CHORRO
= 800 : 1

ALTURA TERMINAL
= 40 m

NOTAS

- CAMPO DE VELOCIDADES SEGUN OAM.
- DILUCION INICIAL POR CHORRO SEGUN UMERGE (RESCAN)
- NO CONSIDERA CONCENTRACIONES DEL AGUA DE MAR

FIGURA 17

ESCONDIDA

ZONA DE ESTUDIO DE LINEA BASE

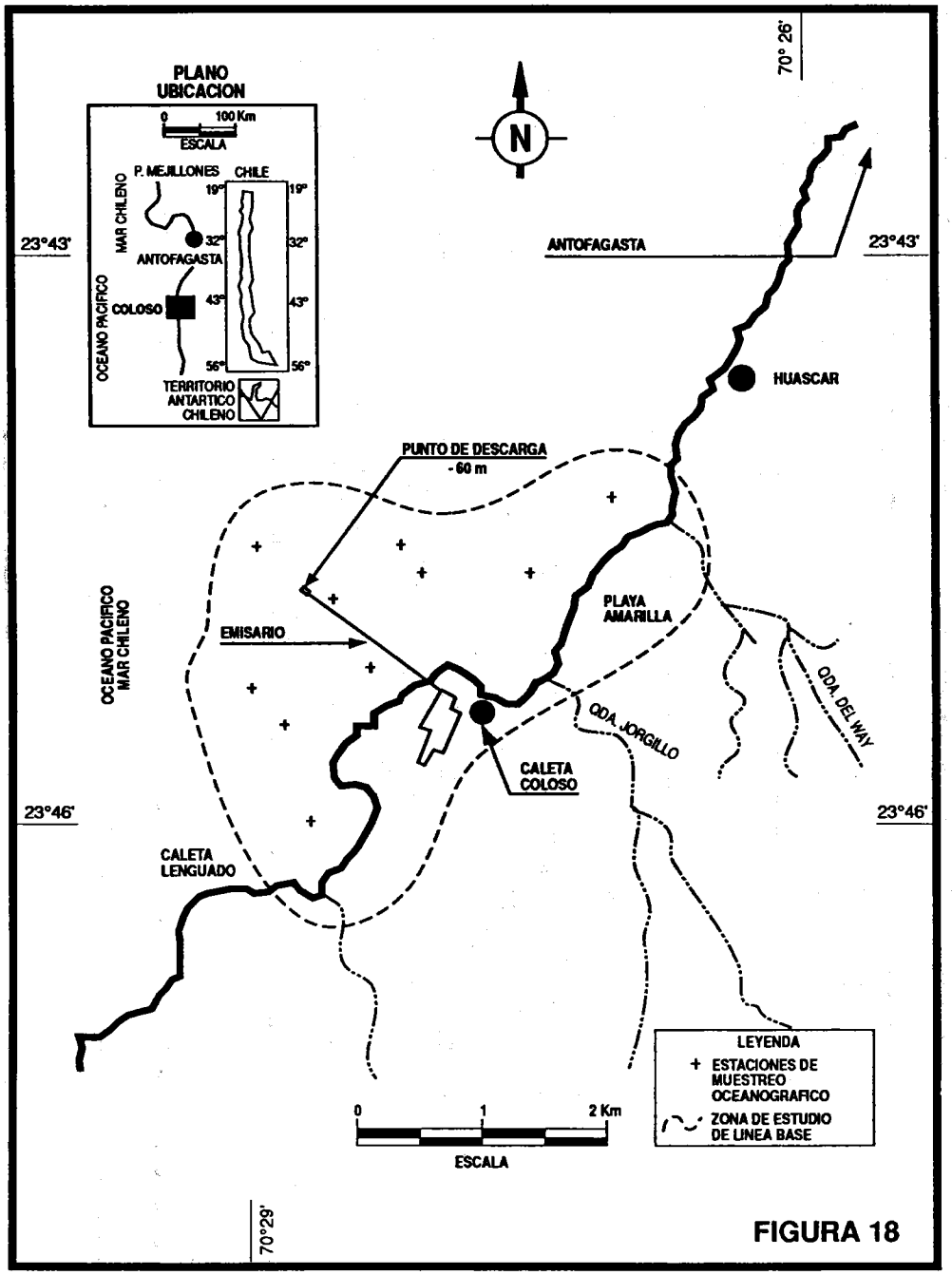
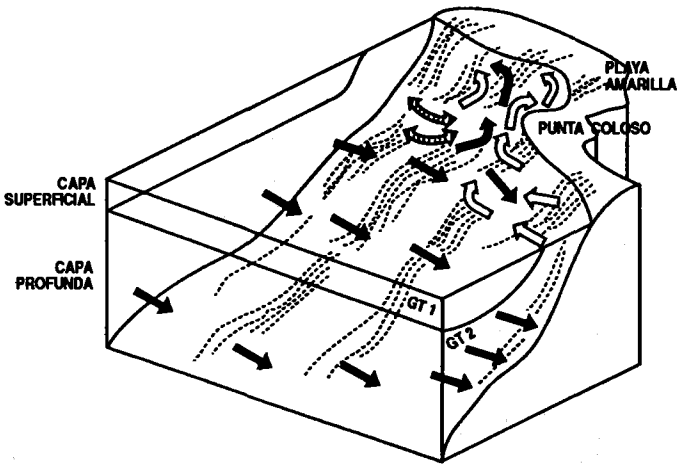


FIGURA 18

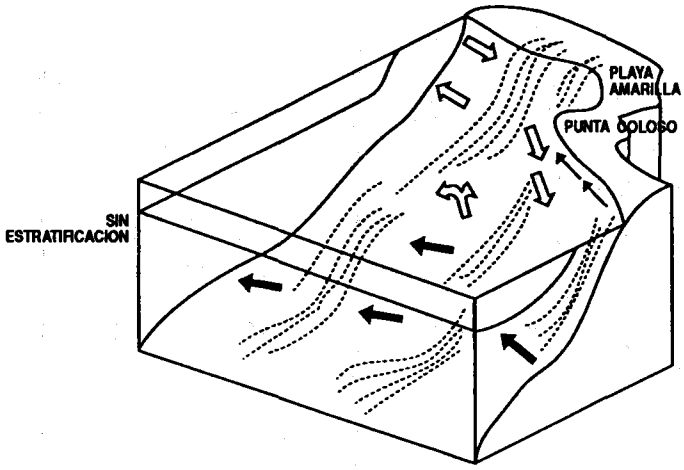
ESCONDIDA

ESQUEMA GLOBAL DE LAS CORRIENTES

VERANO



INVIERNO



CORRIENTE SUPERFICIAL PREDOMINANTE
CORRIENTE SUBSUPERFICIAL PREDOMINANTE
CORRIENTE QUE SE INVIERTE CON VIENTOS
CORRIENTE LITORAL PREDOMINANTE

FIGURA 19

ESCONDIDA

CORTE INTERMAREAL TIPICO SECTOR COLOSO

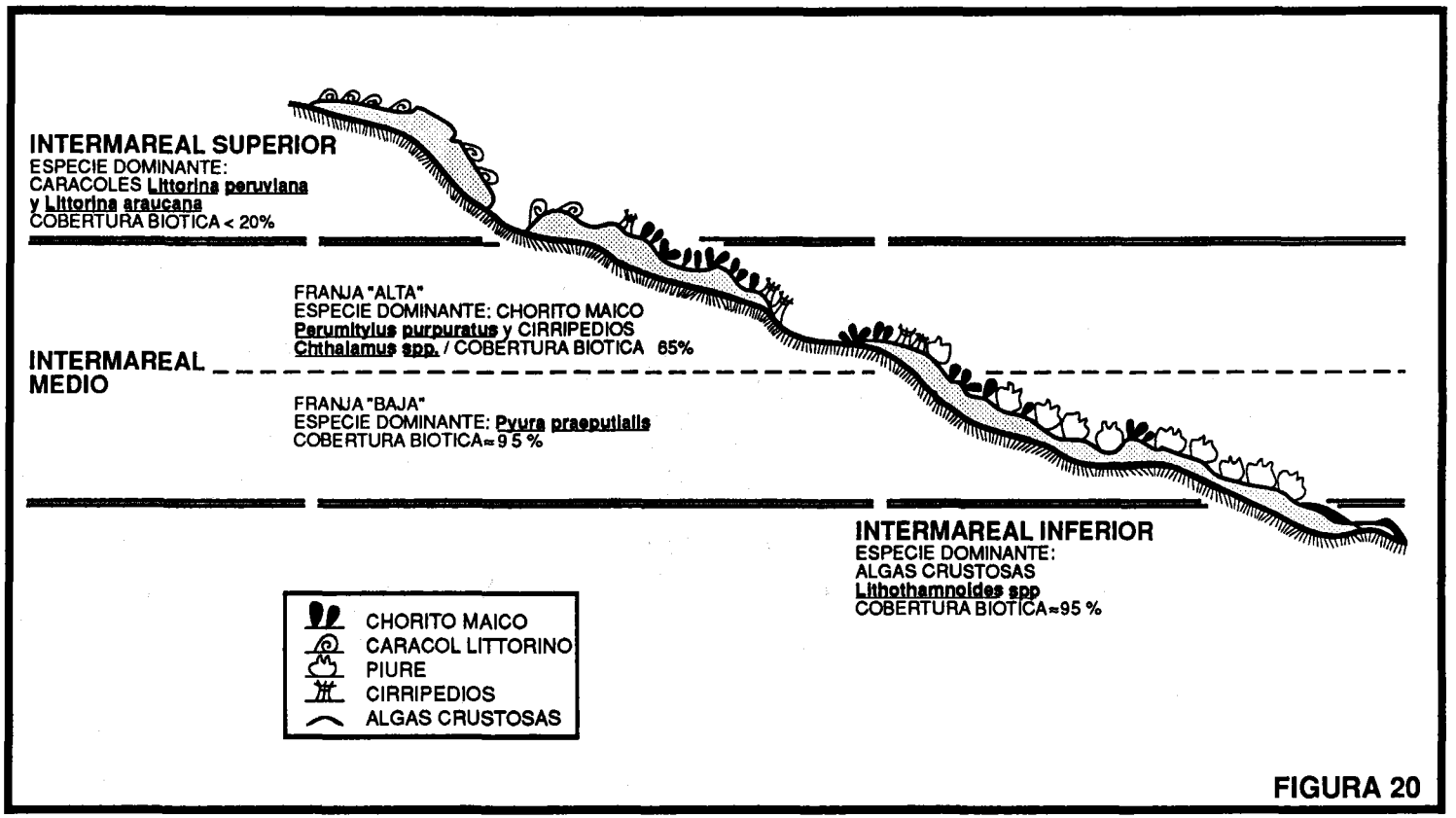


FIGURA 20

ESCONDIDA

ESPECIES DOMINANTES EN EL SUBMAREAL CALETA COLOSO

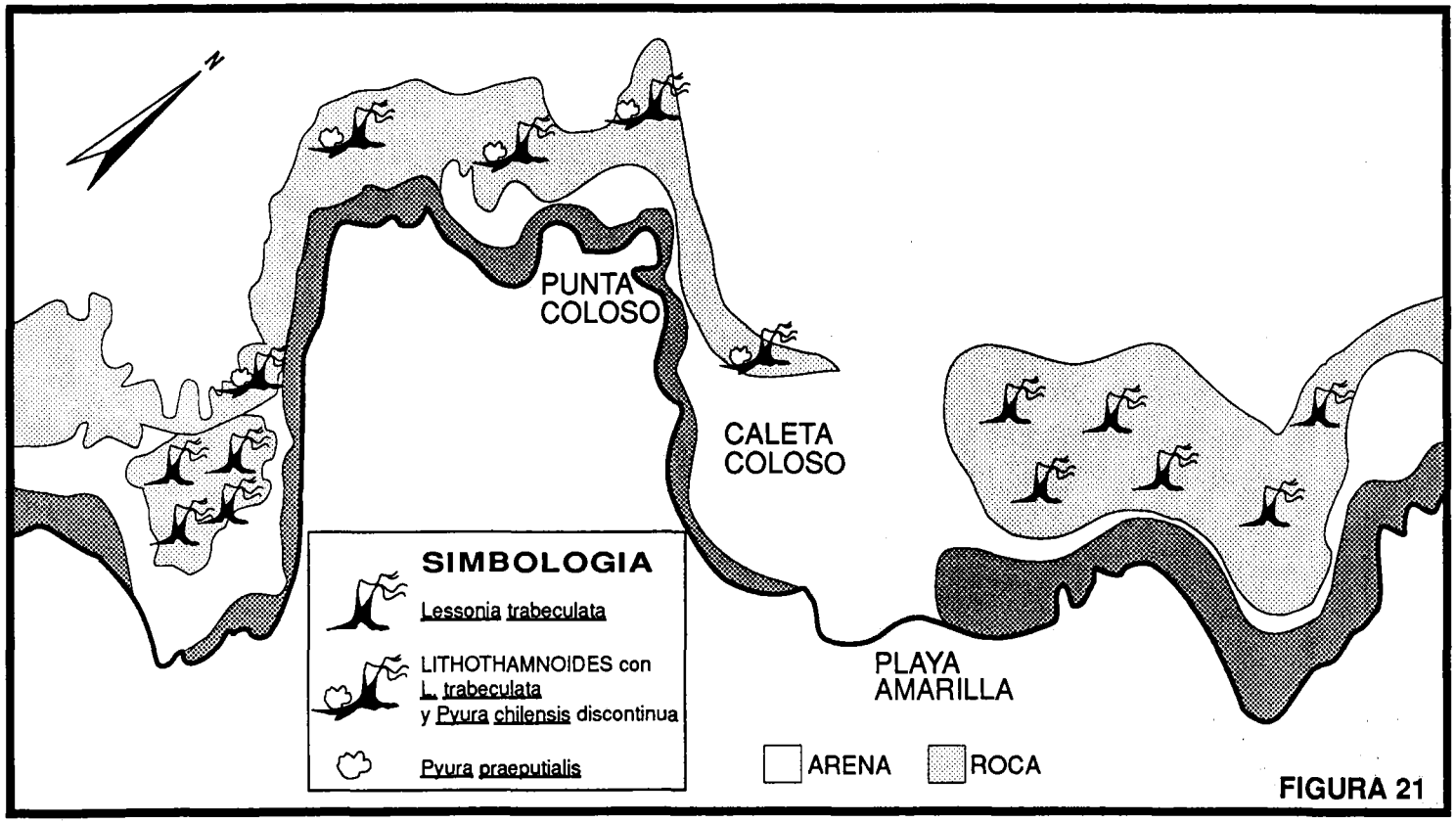


FIGURA 21

ESCONDIDA

GRAFICOS DE TEMPERATURA, DENSIDAD, OXIGENO DISUELTO Y CONCENTRACION DE CLOROFILA

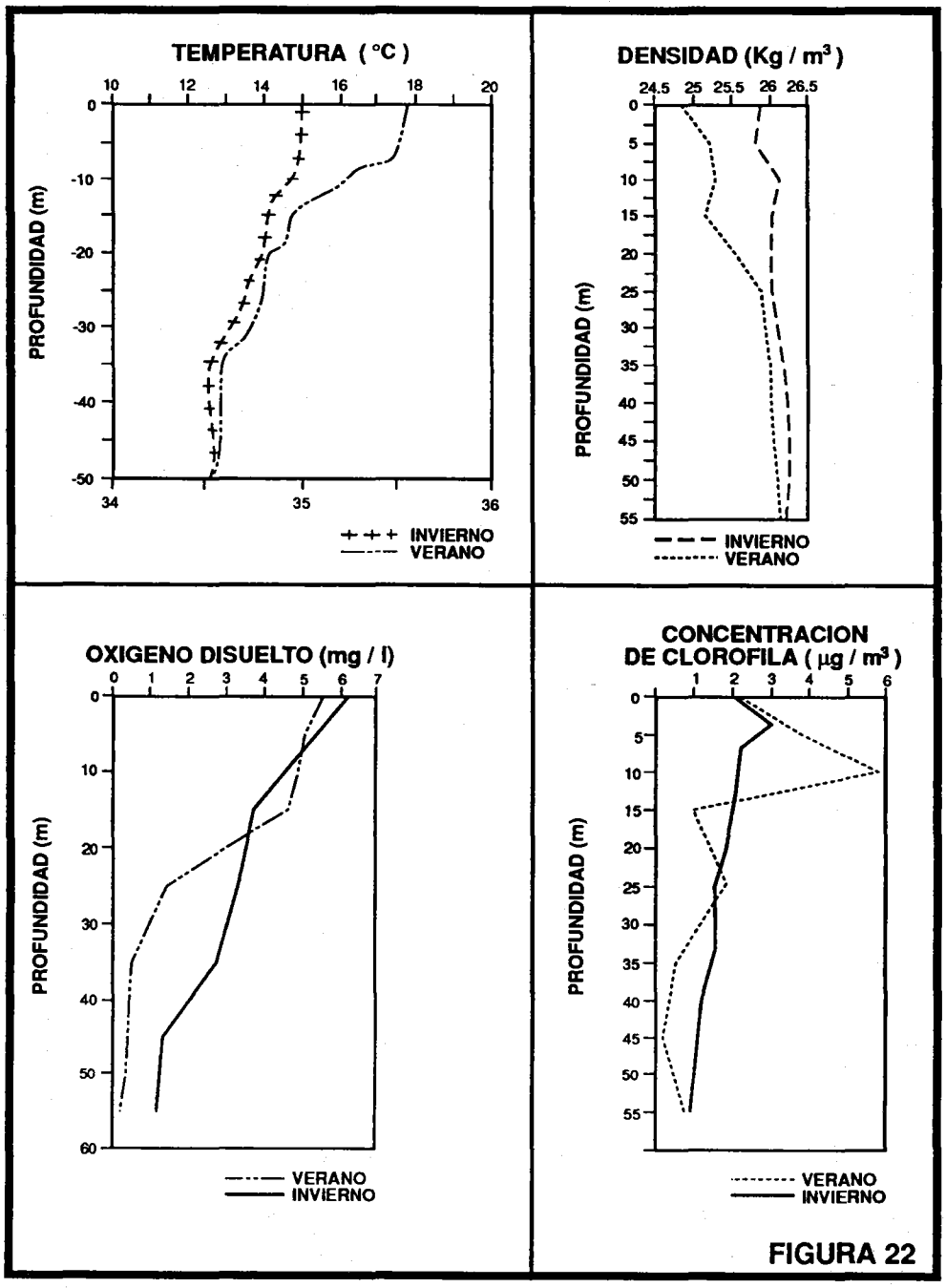
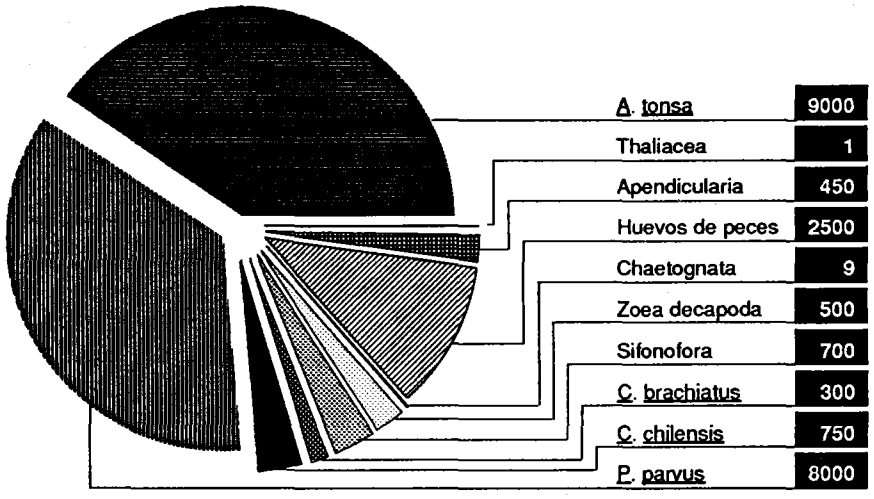


FIGURA 22

ESCONDIDA

ABUNDANCIA DE ZOOPLANCTON
INDIVIDUOS / M



ABUNDANCIA DE FITOPLANCTON
EN CELULAS /ml

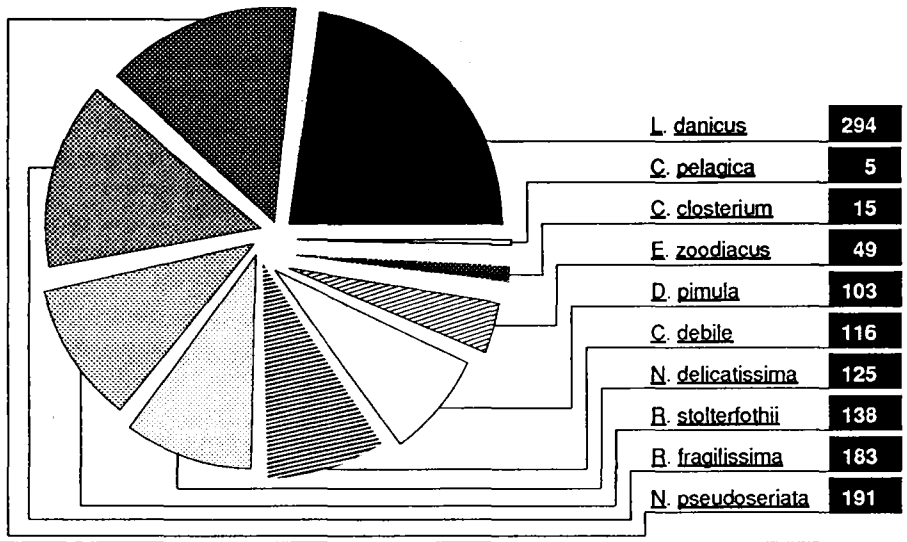


FIGURA 23

ESCONDIDA

ABUNDANCIA Y CONTRIBUCION PORCENTUAL DE LA COMUNIDAD DE FONDOS BLANDOS (COLOSO)

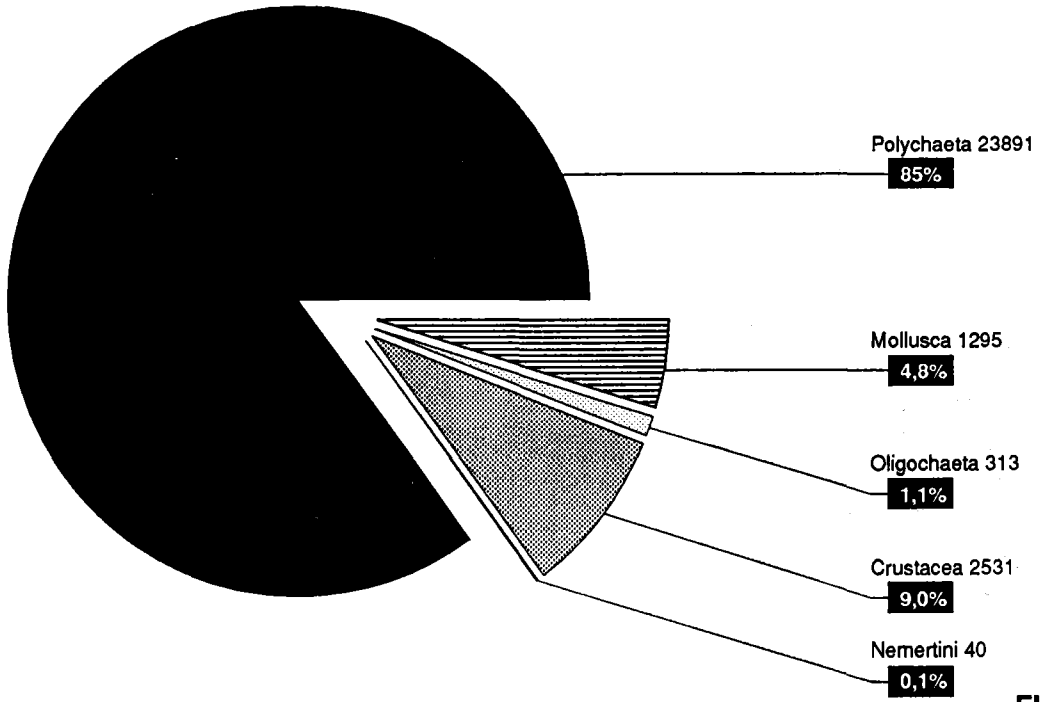
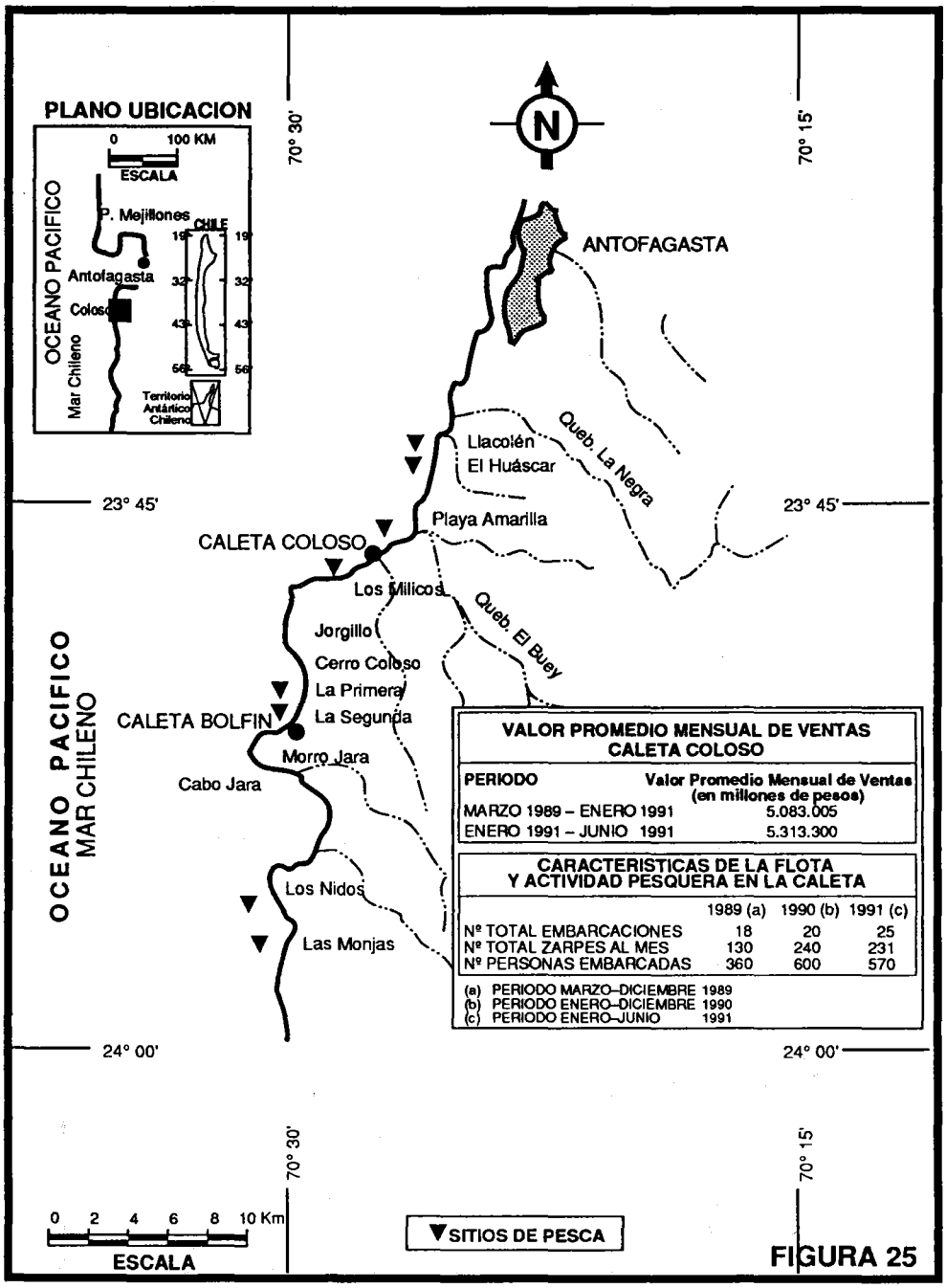


FIGURA 24

ESCONDIDA

SITIOS DE PESCA DE LA FLOTA ARTESANAL DE CALETA COLOSO



VALOR PROMEDIO MENSUAL DE VENTAS CALETA COLOSO	
PERIODO	Valor Promedio Mensual de Ventas (en millones de pesos)
MARZO 1989 – ENERO 1991	5.083.005
ENERO 1991 – JUNIO 1991	5.313.300

CARACTERISTICAS DE LA FLOTA Y ACTIVIDAD PESQUERA EN LA CALETA			
	1989 (a)	1990 (b)	1991 (c)
Nº TOTAL EMBARCACIONES	18	20	25
Nº TOTAL ZARPES AL MES	130	240	231
Nº PERSONAS EMBARCADAS	360	600	570

(a) PERIODO MARZO–DICIEMBRE 1989
(b) PERIODO ENERO–DICIEMBRE 1990
(c) PERIODO ENERO–JUNIO 1991

FIGURA 25

ESCONDIDA

CONCENTRACION PROMEDIO PARTICULAS TOTALES SUSPENDIDAS EN EL AIRE

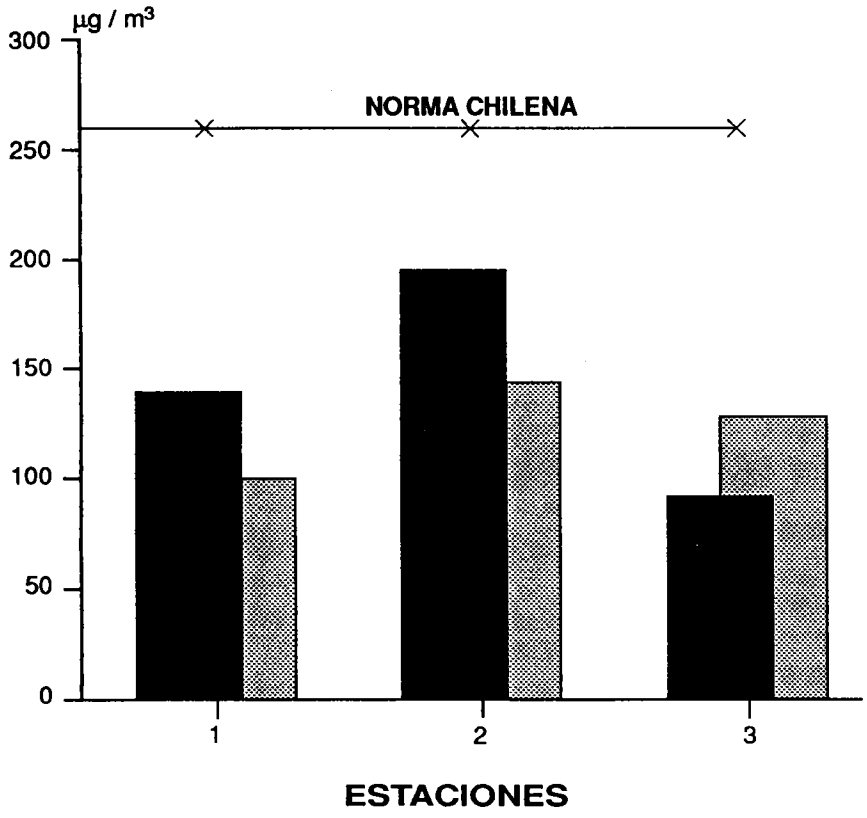


FIGURA 26

ESCONDIDA

USOS DE LA ZONA

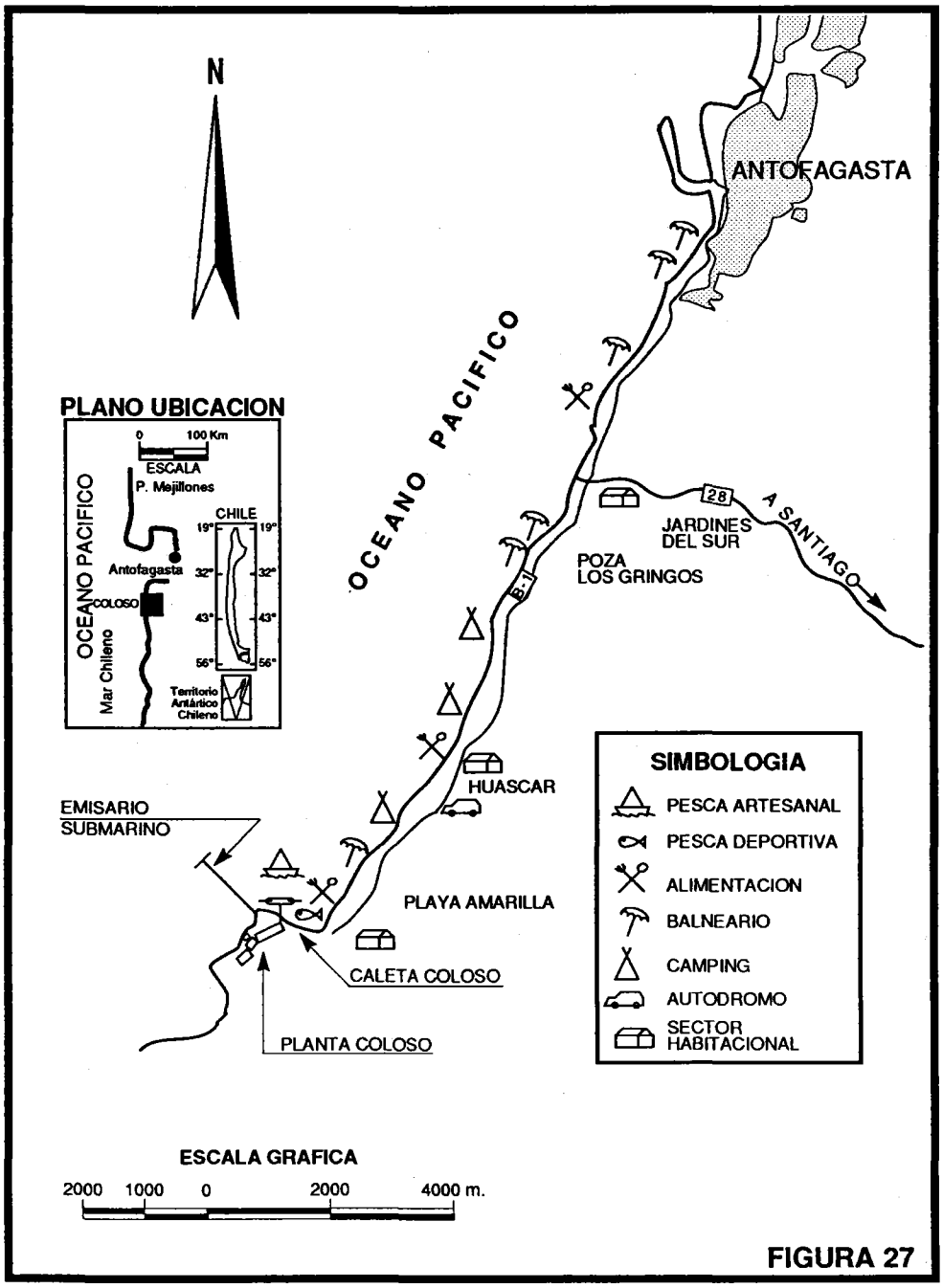


FIGURA 27

ESCONDIDA

SECCION VERTICAL DE LAS MEDIDAS DE DILUCION DENTRO DEL RANGO DE 225° A 045°

Note la exageración de la escala vertical

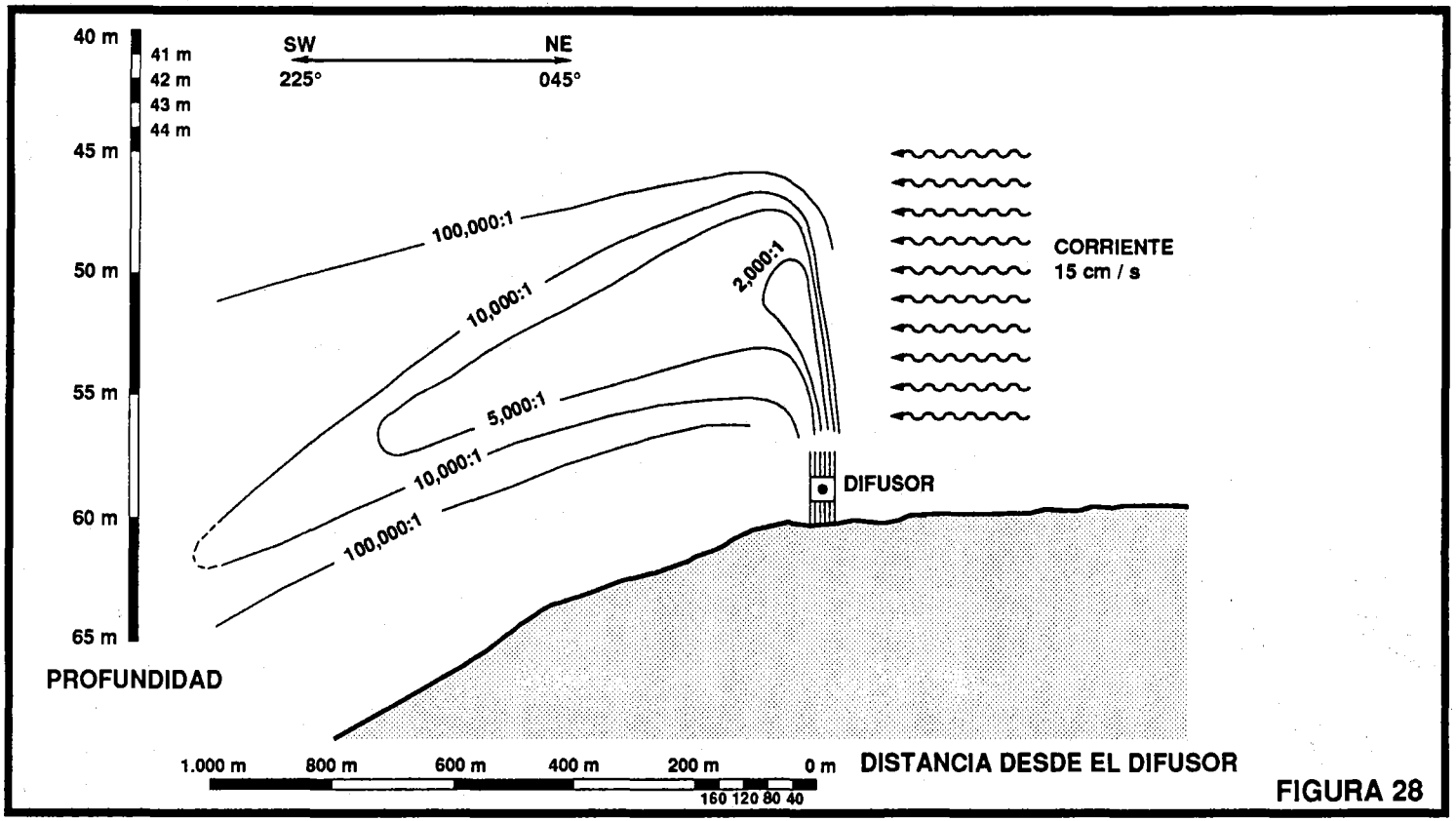


FIGURA 28