

1 1975

CNEA-NT 12/75

06.75.14

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

AREA PROTECCION Y SEGURIDAD
DIVISION ESTUDIOS AMBIENTALES

PLANTA DE AGUA PESADA:
ANALISIS DE SU EMPLAZAMIENTO Y EVALUACION DE LOS
EFECTOS POTENCIALES SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

MAZZEO, N.A.
BRICELJ, V.M.
CIALLELLA, N.R.
Novbrto

BUENOS AIRES
1975

06.75

CNEA-NT 12/75

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

AREA PROTECCION Y SEGURIDAD
DIVISION ESTUDIOS AMBIENTALES

PLANTA DE AGUA PESADA:
ANALISIS DE SU EMPLAZAMIENTO Y EVALUACION DE LOS
EFECTOS POTENCIALES SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

MAZZEO, N.A.
BRICELJ, V.M.
CIALLELLA, N.R.

BUENOS AIRES

1975

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

•PIANTA DE AGUA PESADA:
ANALISIS DE SU EMPLAZAMIENTO Y EVALUACION DE LOS
EFECTOS POTENCIALES SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

MAZZEO, N.A.; BRICELJ, V.M.; CHALLELLA, M.R.

RESUMEN

Deben ser minimizadas

Toda actividad industrial provoca alteraciones ambientales cuyas consecuencias es necesario minimizar.

En este trabajo se analizan los siguientes aspectos vinculados con la instalación de una Planta de Agua Pesada en el país:

- Evaluación comparativa de diferentes propuestas de emplazamiento teniendo en cuenta las características físicas del medio y el uso de los recursos de las diferentes zonas.
- Evaluación del impacto originado por descargas de contaminantes al ambiente durante el funcionamiento normal de la instalación y como consecuencias de la descarga de contaminantes en condiciones accidentales.

De los análisis realizados desde el punto de vista de la protección ambiental se deduce que la zona del Río Limav (Provincia de Neuquén) es la más recomendable para la ubicación de la Planta. Dentro de esta zona, consideraciones técnicas, geoeconómicas, geopolíticas y ambientales señalan la zona de Arroyito como la más adecuada para su emplazamiento.

Un análisis de los efectos potenciales sobre el medio ambiente indica que con un adecuado diseño de ingeniería la Planta podrá operar normalmente.

Con el fin de proteger la salud de la población se recomiendan límites en la máxima descarga de contaminantes en el caso de un hipotético evento accidental.

1. INTRODUCCION

El funcionamiento de una actividad industrial produce alteraciones en el medio ambiente. Existen dos métodos utilizados para minimizar el impacto ambiental que originan esas actividades: el correctivo y el preventivo. La aplicación de ellos depende del emplazamiento o no de la industria.

En el primer caso, fuentes de alteración ya instaladas, se encaran medidas tendientes a reducir las consecuencias ambientales que ellas están produciendo.

En el caso preventivo, fuentes a instalarse, deben establecerse una serie de hipótesis realistas sobre el futuro funcionamiento de la industria y las posibles alteraciones del medio.

Por lo tanto, mediante el método correctivo se concretan medidas con el objeto de minimizar las consecuencias ambientales originadas por el funcionamiento industrial, con el consiguiente esfuerzo, gravación económica, inversión tecnológica e impacto ambiental ya producido, que en algunos casos puede llegar a ser irreversible.

En el método preventivo la tolerancia ambiental de la zona del emplazamiento se debe evaluar conjuntamente con los criterios políticos, técnicos y económicos que deciden la instalación y la tecnología a utilizar. De esta manera las consecuencias sobre el medio ambiente del futuro funcionamiento se minimizan desde la puesta en marcha de la instalación.

En la planificación de la utilización de los recursos naturales y de preservación ambiental, este último método deberá incluirse para decidir la instalación de toda actividad generadora de contaminación ambiental.

Hasta el presente la experiencia indica que la mayoría de las plantas industriales poseen alto grado de seguridad. Sin embargo sólo en un número limitado de casos se realizó el estudio de evaluación de riesgos de su funcionamiento teniendo como fin la protección ambiental. En nuestro país, en el campo de la Energía Nuclear, se efectuaron estas evaluaciones en los casos de las Centrales Nucleares de Atucha (Provincia de Buenos Aires) y en la Provincia de Córdoba (1) (2).

El criterio utilizado para la evaluación del impacto ambiental de una futura instalación industrial consiste en demostrar que en condiciones normales de operación y de pequeños incidentes serán respetadas las normas legales de protección. Por otra parte, la evaluación del emplazamiento requerirá el análisis del impacto de eventuales accidentes representativos dentro de suposiciones realistas.

De esta forma, se distinguen los siguientes aspectos a considerar en este estudio, relacionado con la instalación de una Planta de Agua Pesada en el país:

- a) Evaluación comparativa de diferentes propuestas de emplazamiento teniendo en cuenta las características físicas del ambiente y el uso de los recursos de las diferentes zonas.
- b) Evaluación del impacto originado por descargas de contaminantes durante el funcionamiento normal de la instalación.
- c) Evaluación de las consecuencias de descargas de contaminantes en condiciones accidentales.

Los valores primarios utilizados en la evaluación de las consecuencias ambientales para condiciones normales de funcionamiento de la instalación, son las incorporaciones máximas permisibles para el hombre o sus valores derivados. Se contemplan además los valores secundarios relacionados con la protección de la fauna y la flora de la región. En base a estos valores y conociendo algunas de las características de diseño de la instalación y la capacidad ambiental de la zona se estimaron los límites operativos de descarga de contaminantes al ambiente.

En las situaciones accidentales se compararon las exposiciones * resultantes con las "exposiciones de referencia". Estas exposiciones están definidas de tal forma que impliquen el mismo orden de riesgos que los eventos de la vida diaria de la población de la región. En el análisis que se efectúa a continuación de los aspectos mencionados se realizan diversas hipótesis y suposiciones. La realización de estudios e investigaciones (estudios pre-operacionales) a desarrollar antes de la puesta en marcha de la Planta contribuirán a verificar dichas consideraciones.

* Concentraciones de un contaminante en aire integradas en el tiempo.

- 2 EVALUACION COMPARATIVA DE DIFERENTES
PROPUESTAS DE EMPLAZAMIENTO
- 2.1 GENERALIDADES
- 2.2 CARACTERISTICAS FISICAS DEL AMBIENTE
 - 2.2.1 Atmósfera
 - 2.2.1.1 Altura de mezcla vertical
 - 2.2.1.2 Viento transporte
 - 2.2.1.3 Índice de ventilación
 - 2.2.1.4 Flujo del aire
 - 2.2.1.5 Precipitación pluvial
 - 2.2.2. Cursos de agua
- 2.3 ACTIVIDADES Y UTILIZACION DE LOS RECUR
SOS POR EL HOMBRE
 - 2.3.1 Distribución de la población
 - 2.3.2 Actividad industrial
 - 2.3.3 Actividad Agropecuaria
- 2.4 CONCLUSIONES

2.1. GENERALIDADES

En el proceso de contaminación del medio generalmente la alteración de los receptores es proporcional a la concentración de contaminantes en el ambiente. Esta concentración está determinada por la magnitud de la emisión, la capacidad de transporte y dispersión ambiental y la distancia a la fuente emisora.

Por lo tanto, la evaluación de las diferentes alternativas de emplazamiento de una Planta de Agua Pesada en el país tiene por objeto contribuir a seleccionar la zona que resulte más apta a partir del análisis de sus características físicas y la utilización de los recursos naturales. El criterio consiste en encontrar aquella zona con la mayor capacidad de transporte y dilución del ambiente, con menor deterioro de su ambiente y con menor uso de sus recursos.

Con el objeto de simplificar la magnitud del análisis comparativo se concentró el estudio de las zonas de ubicación I: Río Paraná (Paraná, Rosario, Atucha) y Ensenada; y II: Río Limay, y Río Neuquén (Figura 1).

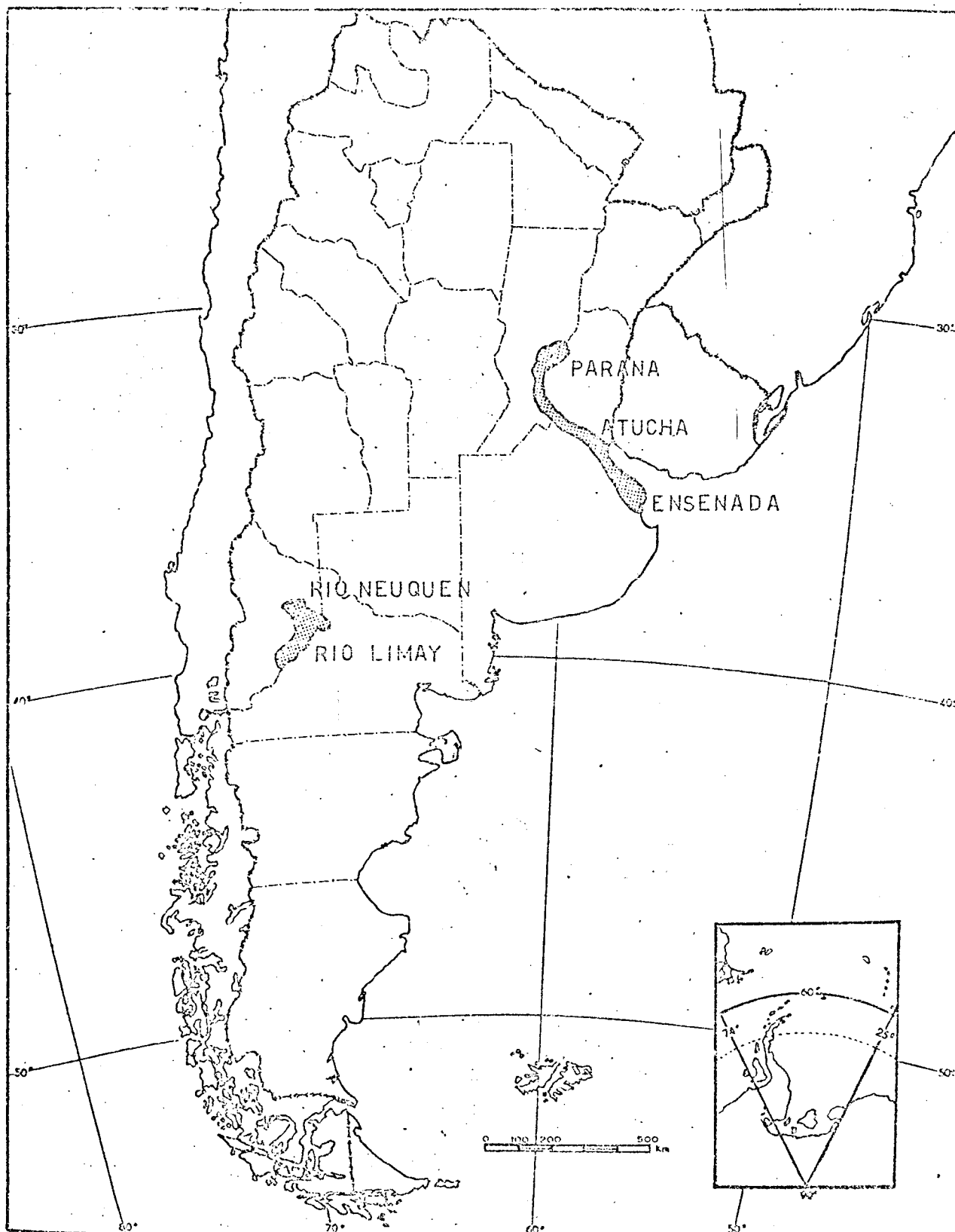
2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AMBIENTE

2.2.1. Atmósfera

La capacidad de dilución atmosférica está relacionada con la altura hasta la cual los contaminantes son dispersados, que es función principalmente de la distribución vertical de la temperatura y está asociada con la turbulencia del aire.

El parámetro que determina el espesor de la atmósfera hasta donde se diluyen los contaminantes es la altura de mezcla vertical (3). El tiempo que los contaminantes permanecen en el área en que fueron emitidos depende de la velocidad del viento dentro de la capa de mezcla (viento transporte). De esta forma, la altura de mezcla vertical (H_M) y el viento transporte (V_T) combinados constituyen un índice de la eficiencia de dispersión de la atmósfera (índice de ventilación).

FIGURA N°1 ZONAS DE UBICACION



La finalidad de un estudio de contaminación potencial de la atmósfera se debe centrar en la estimación y comparación de los valores de dos parámetros básicos: altura de mezcla vertical y viento transporte. (4)

En este estudio se comparan las capacidades de dispersión de la atmósfera de las zonas de ubicación I y II. Por otro lado, se evalúa la acción de la precipitación, como factor de "limpieza de atmósfera" y "contaminador del suelo" de esas mismas zonas.

2.2.1.1. Altura de mezcla vertical

La altura de mezcla vertical es el espesor de la atmósfera cercana al suelo, dentro del cual ocurren los movimientos convectivos originados por el calentamiento radiativo. Cuando no existen mediciones directas de este parámetro, se lo puede estimar aproximadamente mediante las observaciones aerológicas rutinarias.

Para calcular la altura diaria de máxima mezcla vertical en una localidad, se representa en un diagrama altura-temperatura el último sondeo aerológico y la curva que represente el proceso adiabático seco correspondiente a la temperatura máxima diaria. La altura de mezcla es la que en el diagrama se origina por la intersección de las dos curvas.

Este método de estimación de H_M está limitado por las siguientes suposiciones:

- a) Los procesos de enfriamiento y calentamiento de las parcelas de aire que se desplazan verticalmente en la atmósfera son considerados adiabáticos
- b) La mezcla vertical determina un gradiente térmico vertical adiabático en la capa mezclada y si esta no está saturada se considera a dicho gradiente muy próximo al adiabático seco ($0,01^\circ\text{C/m}$).
- c) La atmósfera está en equilibrio hidrostático.

d) El calentamiento y el enfriamiento radiativos son los procesos que inciden en mayor proporción estadística en la variación de la altura de mezcla vertical.

Por lo tanto se desprecia la influencia de otros factores tales como la cortante vertical del viento, la turbulencia mecánica, la advección térmica, la subsidencia, que pueden ser importantes en algunas situaciones.

En la Figura 2 se representa el método de cálculo de la altura de mezcla vertical.

Los valores medios de H_M fueron extraídos de un trabajo anterior (5) que incluye la estimación de este parámetro en toda la República Argentina.

En las Figuras 3, 4, 5, 6, 7 y 8 están representadas las variaciones de la altura media mensual de máxima mezcla vertical en las zonas de Ubicación I: Río Paraná (Paraná, Rosario, Atucha) y Ensenada y Ubicación II: Río Limay y Río Neuquén.

En general se desprende que son mayores los valores de H_M que corresponden a la Ubicación II respecto de la I.

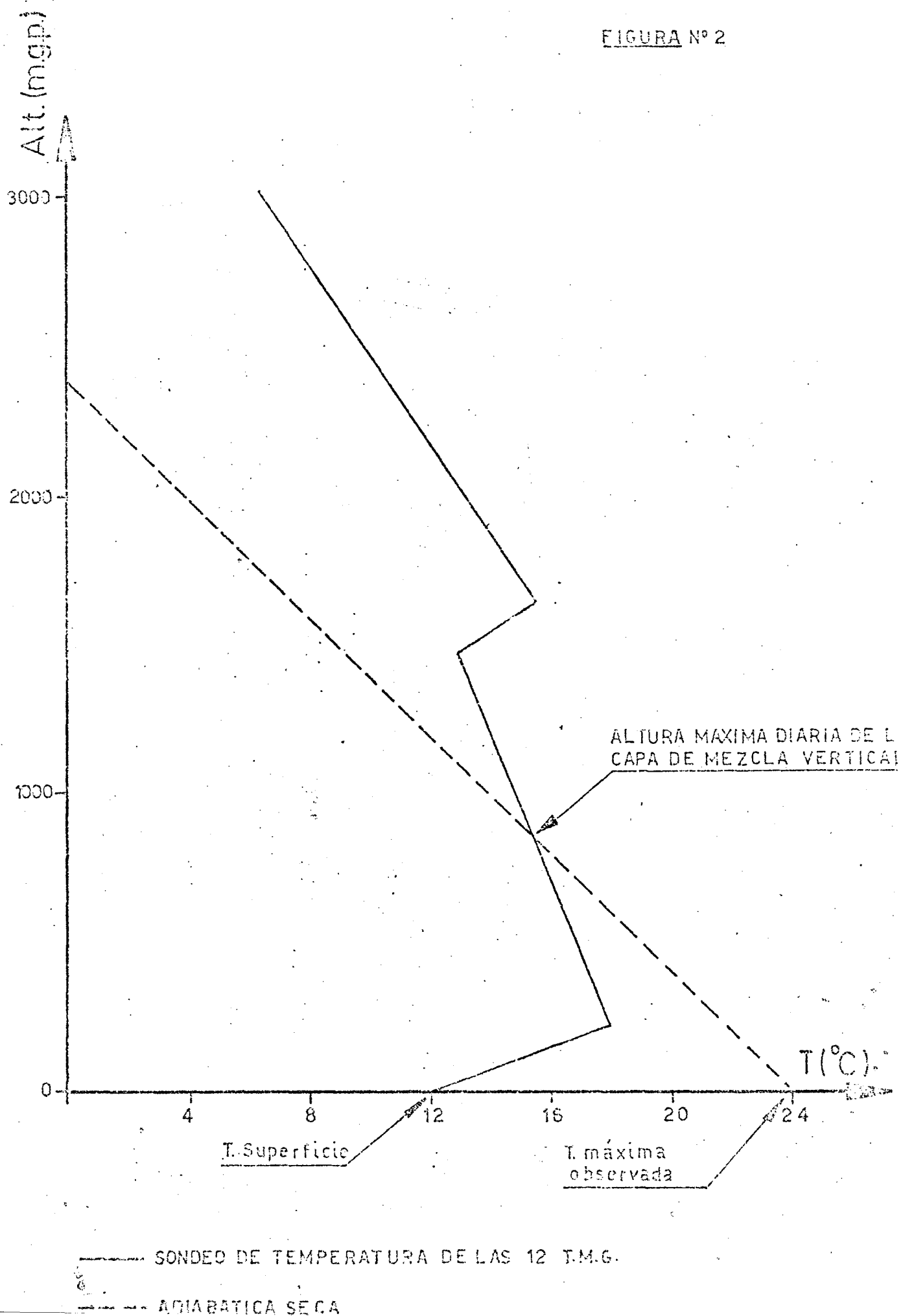
2.2.1.2. Viento transporte

Este parámetro representa una medida del transporte horizontal del aire contaminado dentro de la capa atmosférica que limitan la altura de mezcla vertical y el suelo. La medición de este parámetro se efectúa mediante el seguimiento de globos de ascenso libre por teodolito o radar. Estas observaciones no son frecuentes en el país y la consistencia de los valores de las existentes necesitan un profundo y detallado análisis. Ante esta dificultad, se reemplazó el viento transporte en la capa de mezcla por un índice reducido del transporte de contaminantes que es el viento en superficie. Aún cuando esto constituye una limitación considerable, en una primera aproximación su valor comparativo puede ser utilizado.

En las Figuras 3, 4, 5, 6, 7 y 8 está graficada, conjuntamente con H_M , la variación mensual de la velocidad media del viento en las zonas

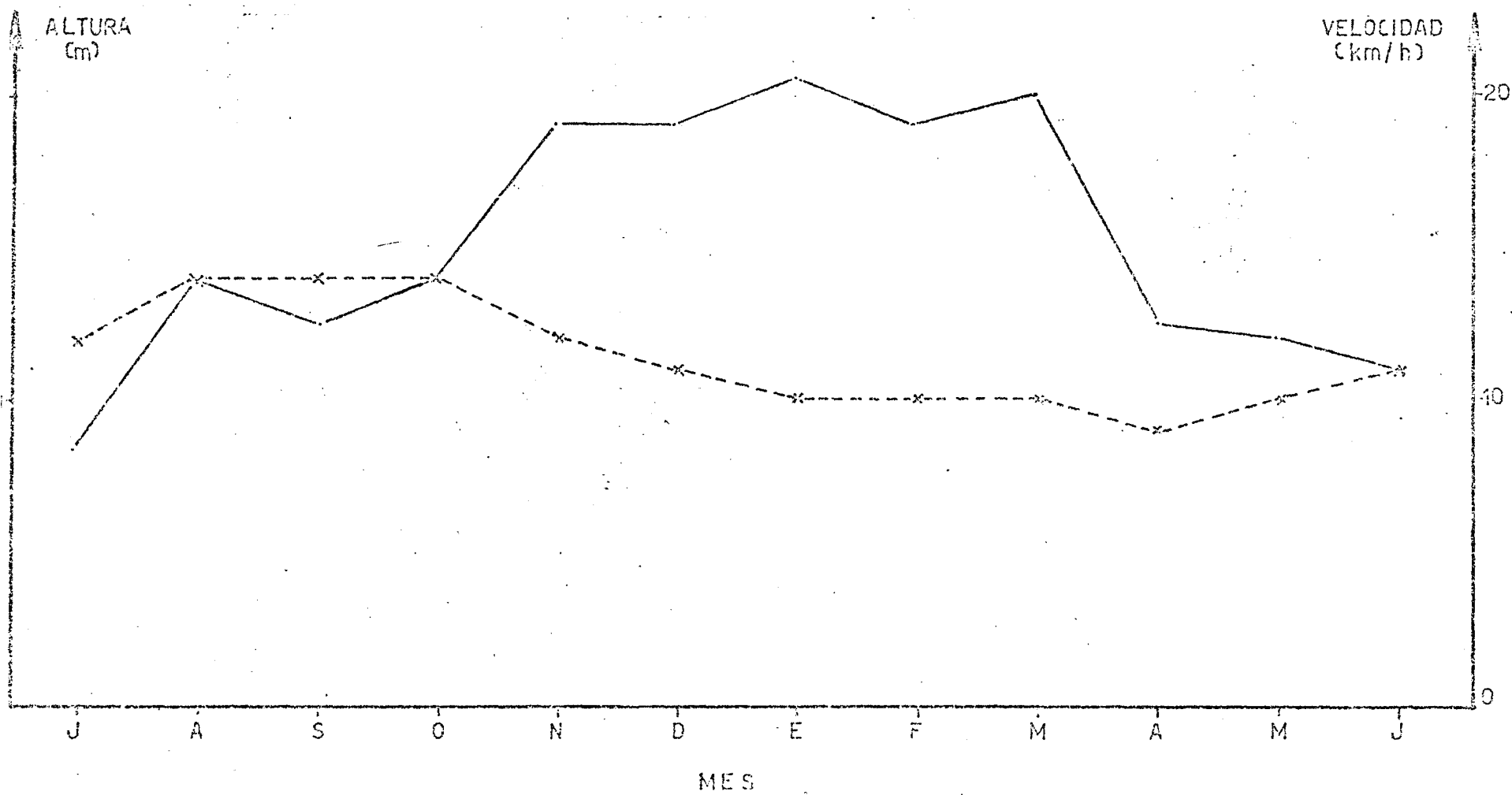
METODO DE DETERMINACION DE LA ALTURA MAXIMA DIARIA DE LA
DE MEZCLA VERTICAL

FIGURA N° 2

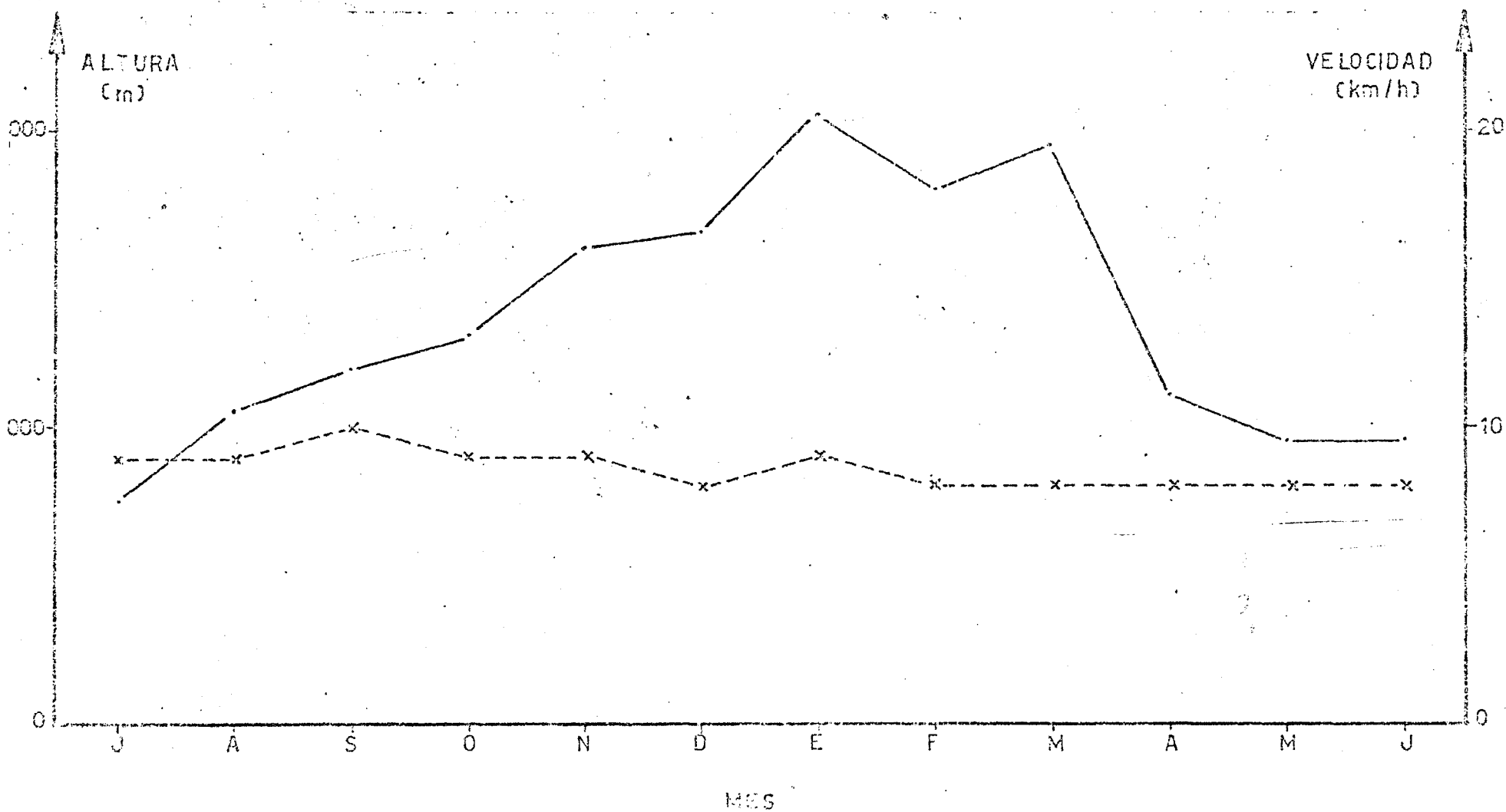


- Variación de la velocidad media del viento con los meses
— Variación de alturas de máxima mezcla vertical con los meses

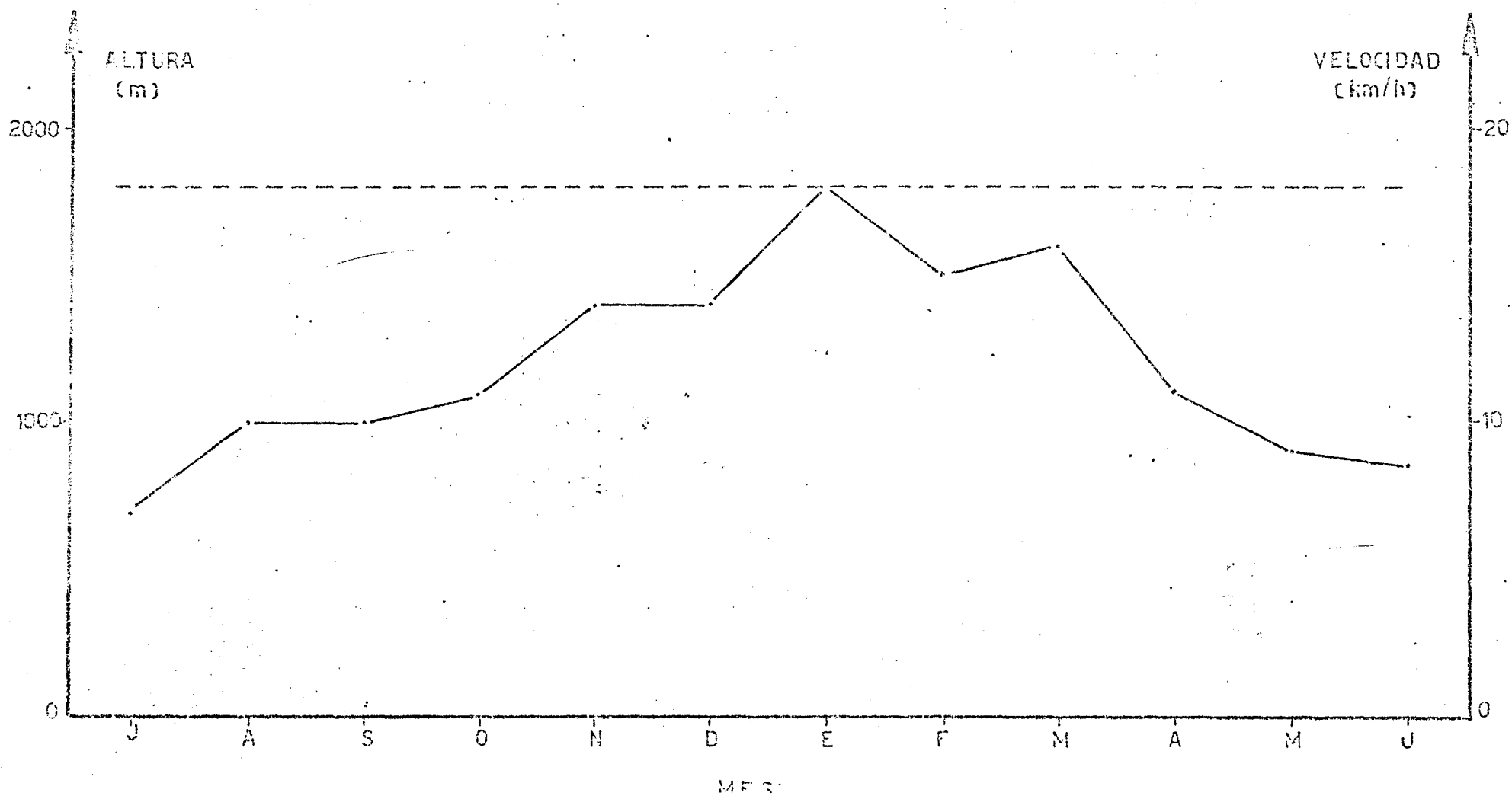
Ubicación I - Paraná (1967-1971)



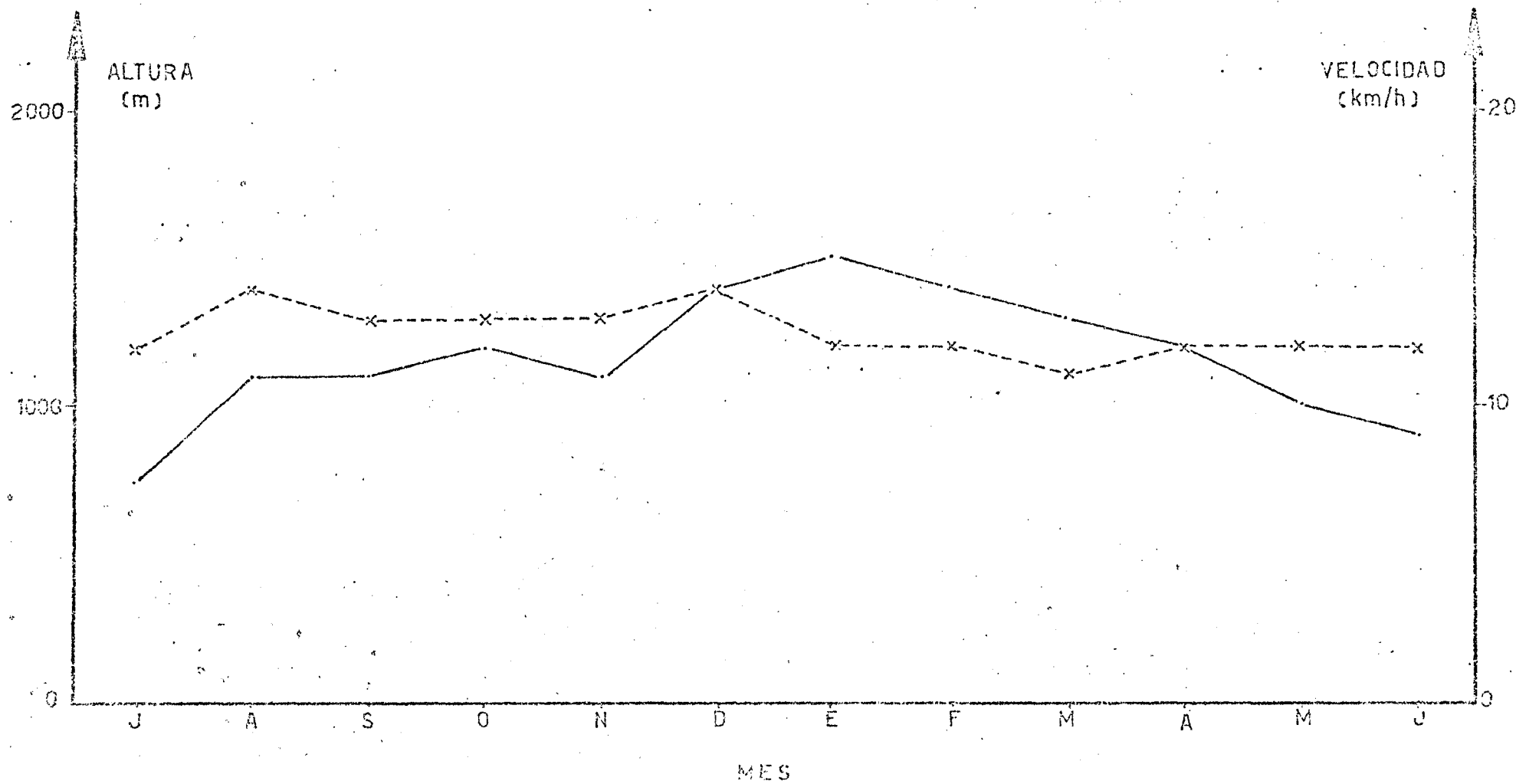
----- Variación de la velocidad media del viento con los meses
—— Variación de alturas de máxima mezcla vertical con los meses
Ubicación I - Rosario (1967-1971)



----- Velocidad media del viento
 — Variación de alturas de máxima mezcla vertical con los meses
 Ubicación I - Atucha (1967-1971)

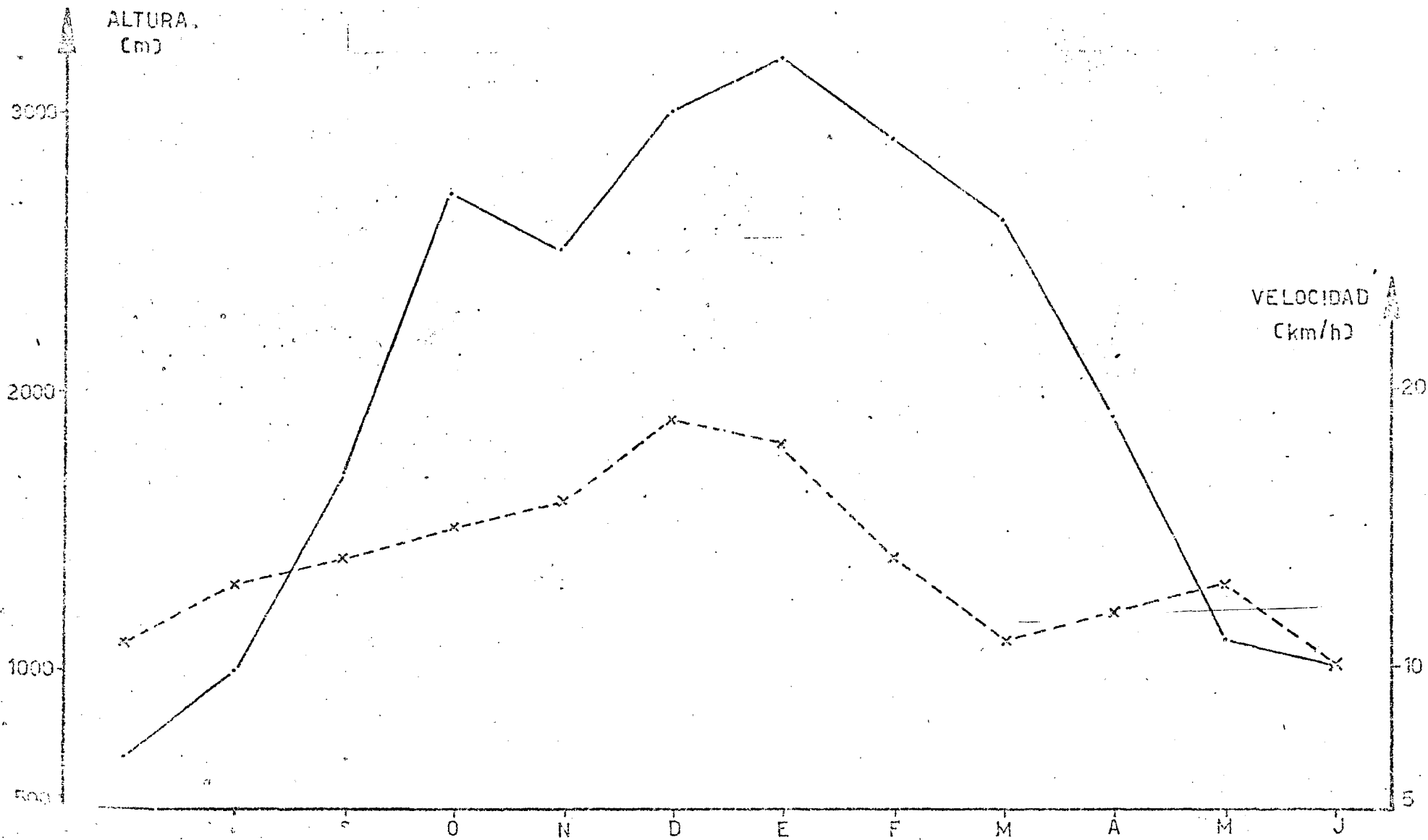


---- Variación de la velocidad media del viento con los meses
 — Variación de alturas de máxima mezcla vertical con los meses
 Ubicación I - Ensenada (1967-1971)



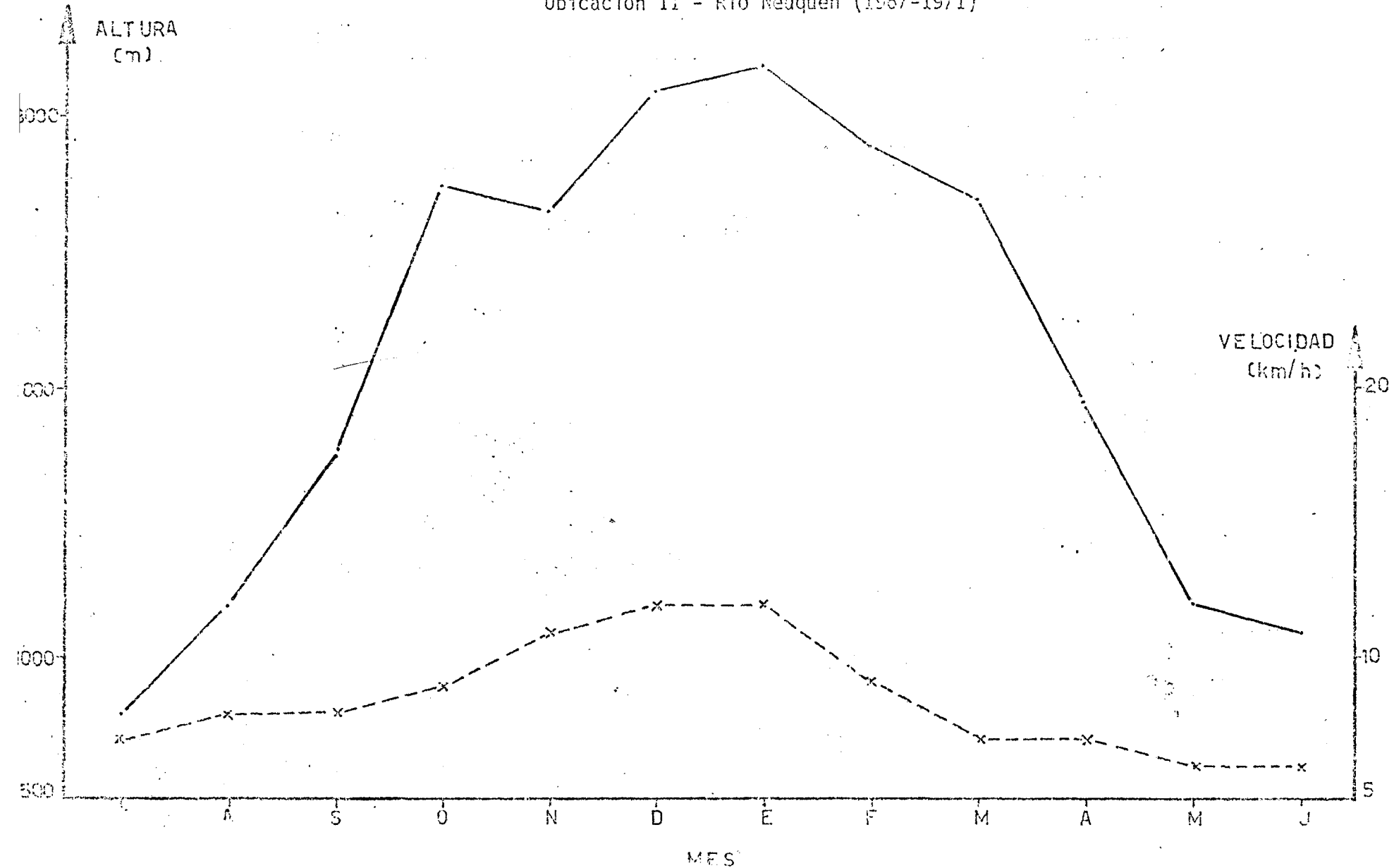
- Variación de la velocidad media del viento con los meses
- Variación de alturas de máxima mezcla vertical con los meses

Ubicación II - Río Limay (1967-1971)



- Variación de la velocidad del viento con los meses
 ——— Variación de alturas de máxima mezcla vertical con los meses

Ubicación II - Río Neuquén (1967-1971)



de ubicación I y II (6). En el caso de Atucha, y por ser datos interpolados, se utilizó sólo la velocidad media anual del viento y por lo tanto debe considerarse poco representativa. Se puede observar que en la zona del Río Limay ocurren los vientos con mayor velocidad.

2.2.1.3. Índice de ventilación

Se define el índice de ventilación como el producto de la altura de mezcla vertical y el viento transporte. Este coeficiente constituye una medida del volumen de aire que es transportado horizontalmente dentro de la capa de mezcla por unidad de distancia normal al flujo de aire y por unidad de tiempo. Si la capa de mezcla es delgada, un viento débil tiene el mismo efecto en el transporte de contaminantes que un viento fuerte asociado a una capa de mezcla alta.

En la Tabla 1 se incluyen los valores medios mensuales del índice reducido de ventilación (el producto de la altura media mensual de máxima mezcla vertical y la velocidad del viento medido en superficie) para las zonas consideradas. Se observa que las zonas de los ríos Neuquén y Limay, principalmente este último, poseen índices medios de ventilación elevados respecto de las otras zonas.

2.2.1.4. Flujo de aire

La dirección del viento permite determinar la trayectoria de los contaminantes, siendo la concentración de estos en el aire inversamente proporcional a su velocidad. Con el objeto de esquematizar climatológicamente la distribución del flujo horizontal del aire en diferentes direcciones se utiliza su representación gráfica: la rosa de vientos. Esos diagramas indican la frecuencia de ocurrencia de cada dirección. En las Figuras 9,10,11,12,13 y 14 se muestran las rosas de viento anuales correspondientes a cada una de las zonas de Ubicación I y II. En esas figuras se observa que la frecuencia de calma es menor en la zona del Río Limay.

2.2.1.5. Precipitación pluvial

La decontaminación de la atmósfera por acción de la precipitación involucra una compleja diversidad de mecanismos. Los contaminantes pueden ser

TABLA 1 INDICE REDUCIDO DE VENTILACION

(m³/s)

Zona Mes	Paraná	Rosario	Ensenada	Atucha *	R. Limay	R. Neuquén
Julio	2.850	1.750	2.500		2.150	1.550
Agosto	5.450	2.750	4.300		3.600	2.700
Septiembre	5.000	3.300	4.000		6.600	3.800
Octubre	5.450	3.400	4.350		11.300	7.000
Noviembre	6.350	4.000	4.600		11.200	6.100
Diciembre	5.800	2.700	5.400		15.800	10.300
Enero	5.700	5.100	5.000		16.000	10.800
Febrero	5.300	4.000	4.750		11.300	7.300
Marzo	5.550	4.350	4.000		8.000	5.200
Abril	3.100	2.450	4.000		6.400	3.300
Mayo	3.300	2.100	3.300		4.000	2.000
Junio	3.400	2.100	3.000		2.800	1.850
Promedio	4.750	3.250	4.050	6.000	8.200	5.400

* Por no existir información de valores de velocidad media mensual del viento del Período 1967-1971, sólo se incluye el índice medio anual reducido de ventilación.

FIGURA Nº9: ROSA DE VIENTO - PARANA (1951- 1960)



% CALMA

FIGURA Nº10: ROSA DE VIENTO ROSARIO (1907-1969)

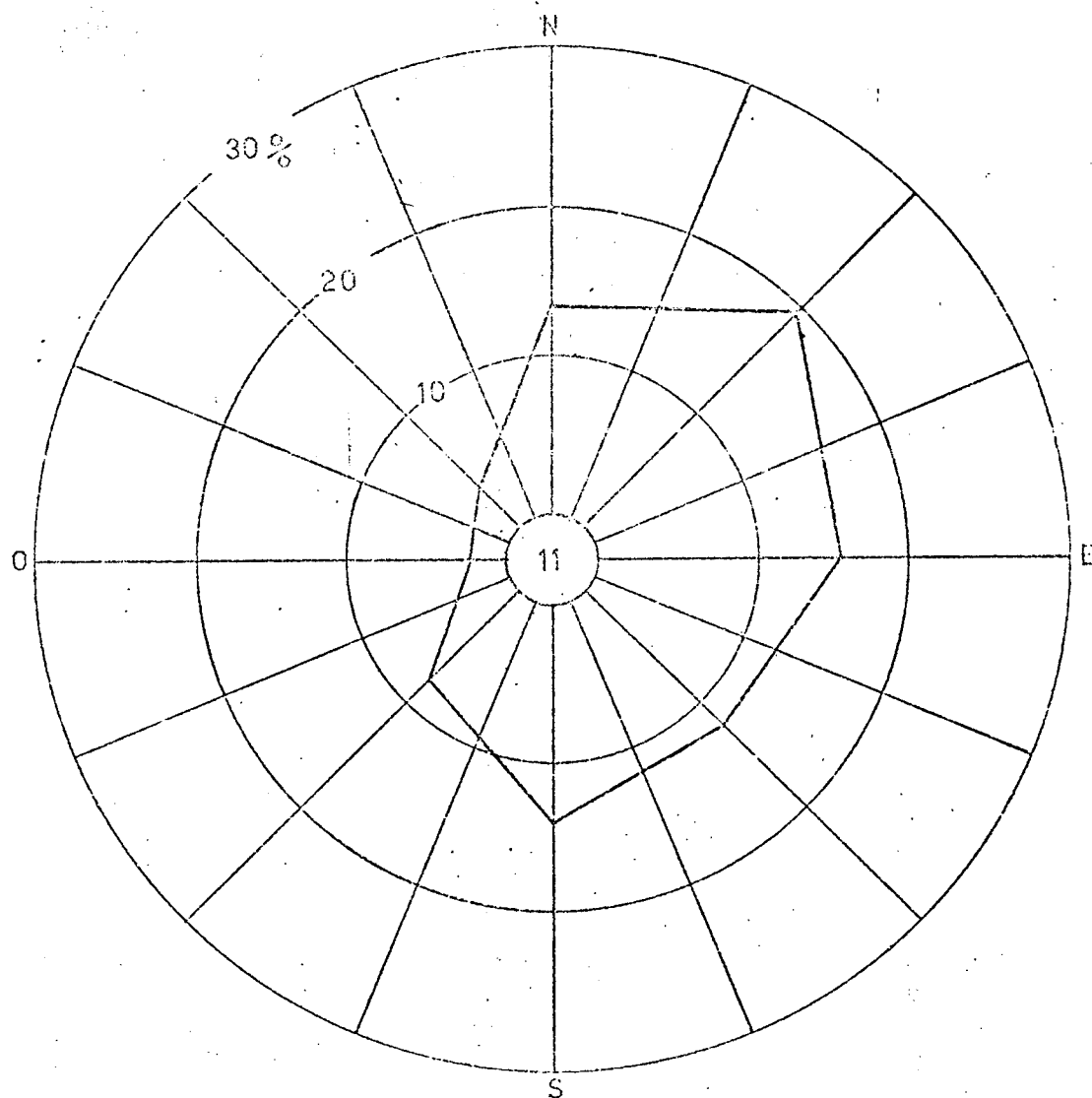
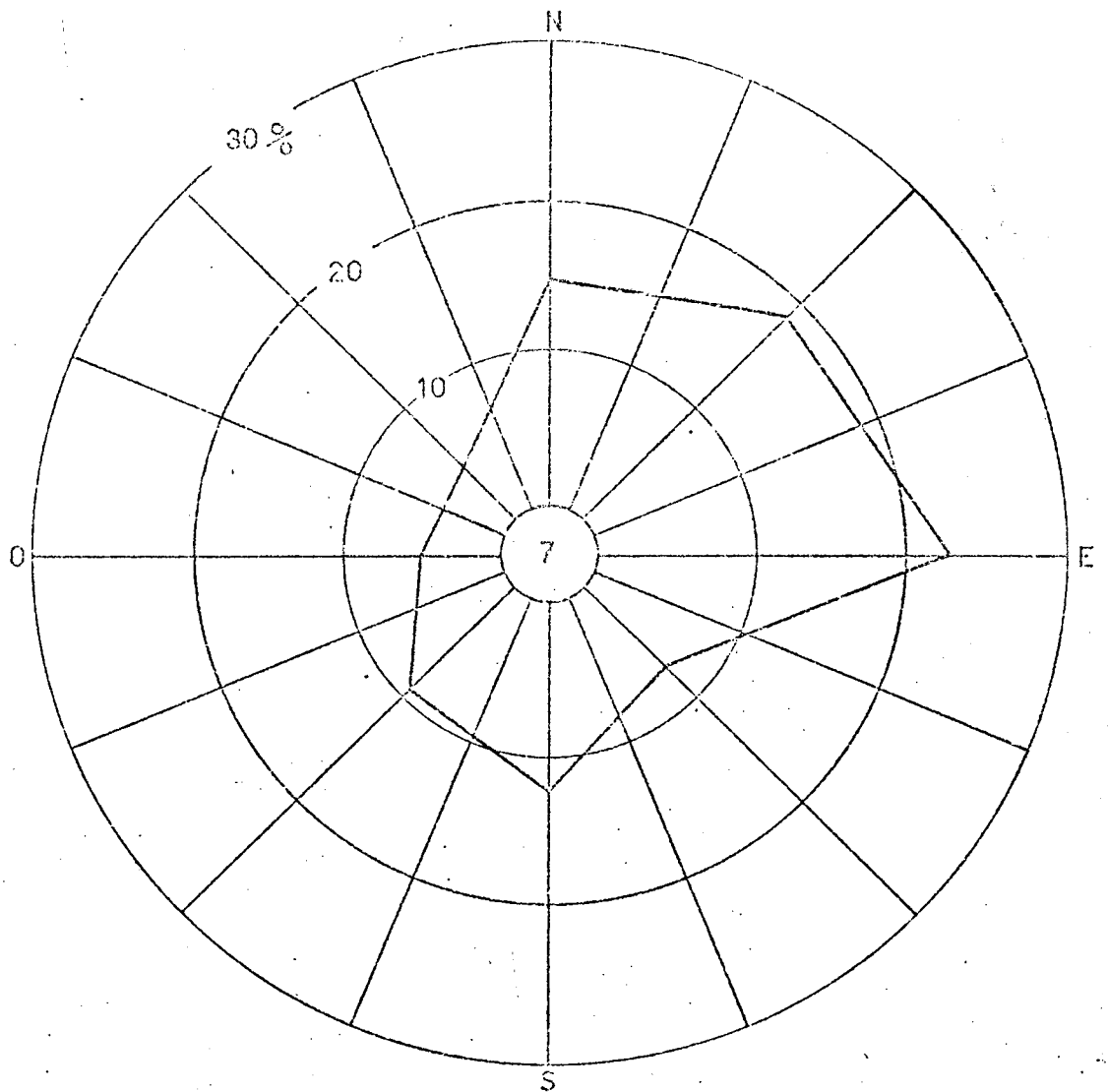


FIGURA 101 ROSA DE VIENTO ATUCHA 1981-1989



%
CALMA

FIGURAS DE ROSA DE VIENTO - ENSEÑADA: 1951-1960

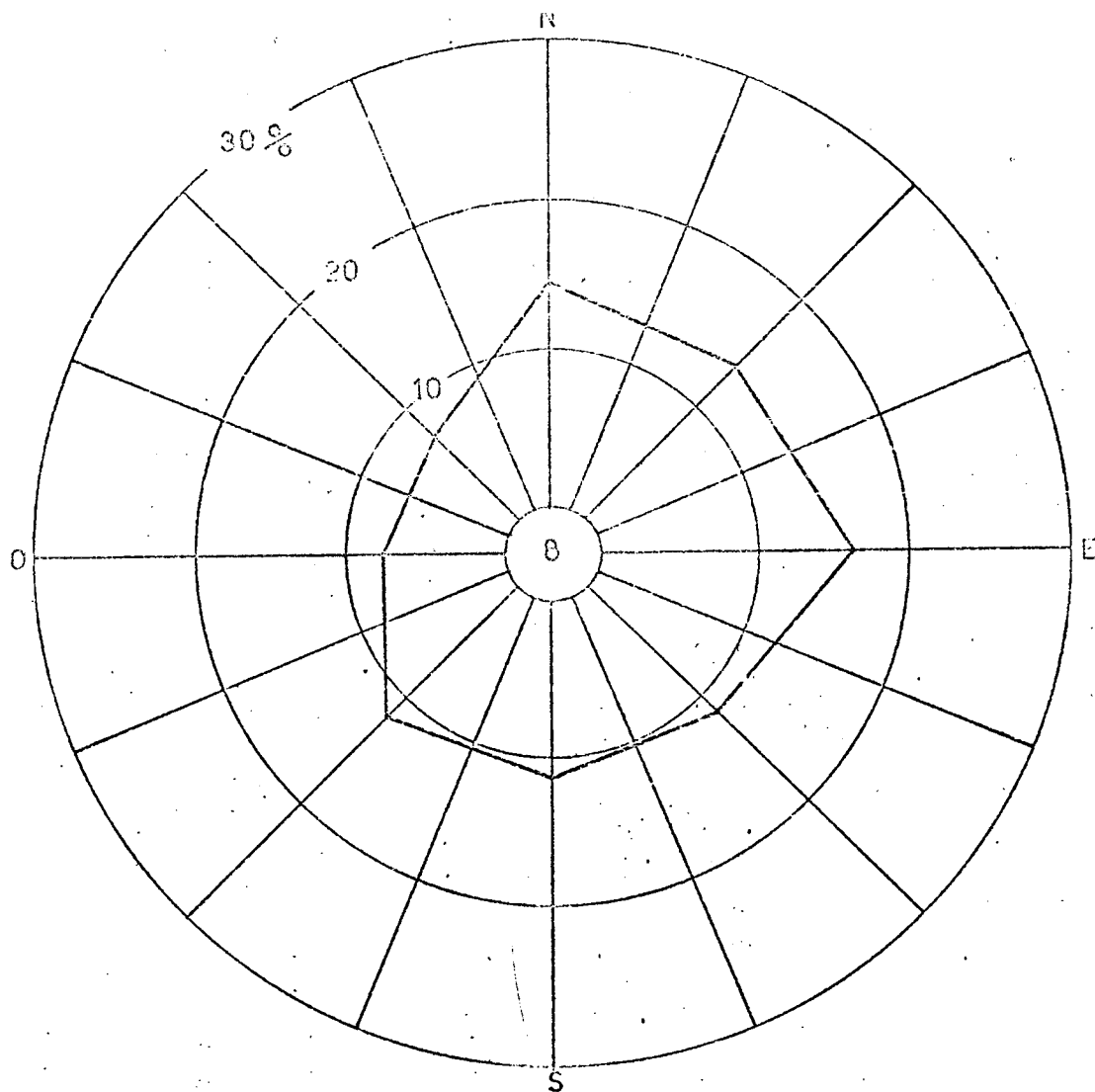
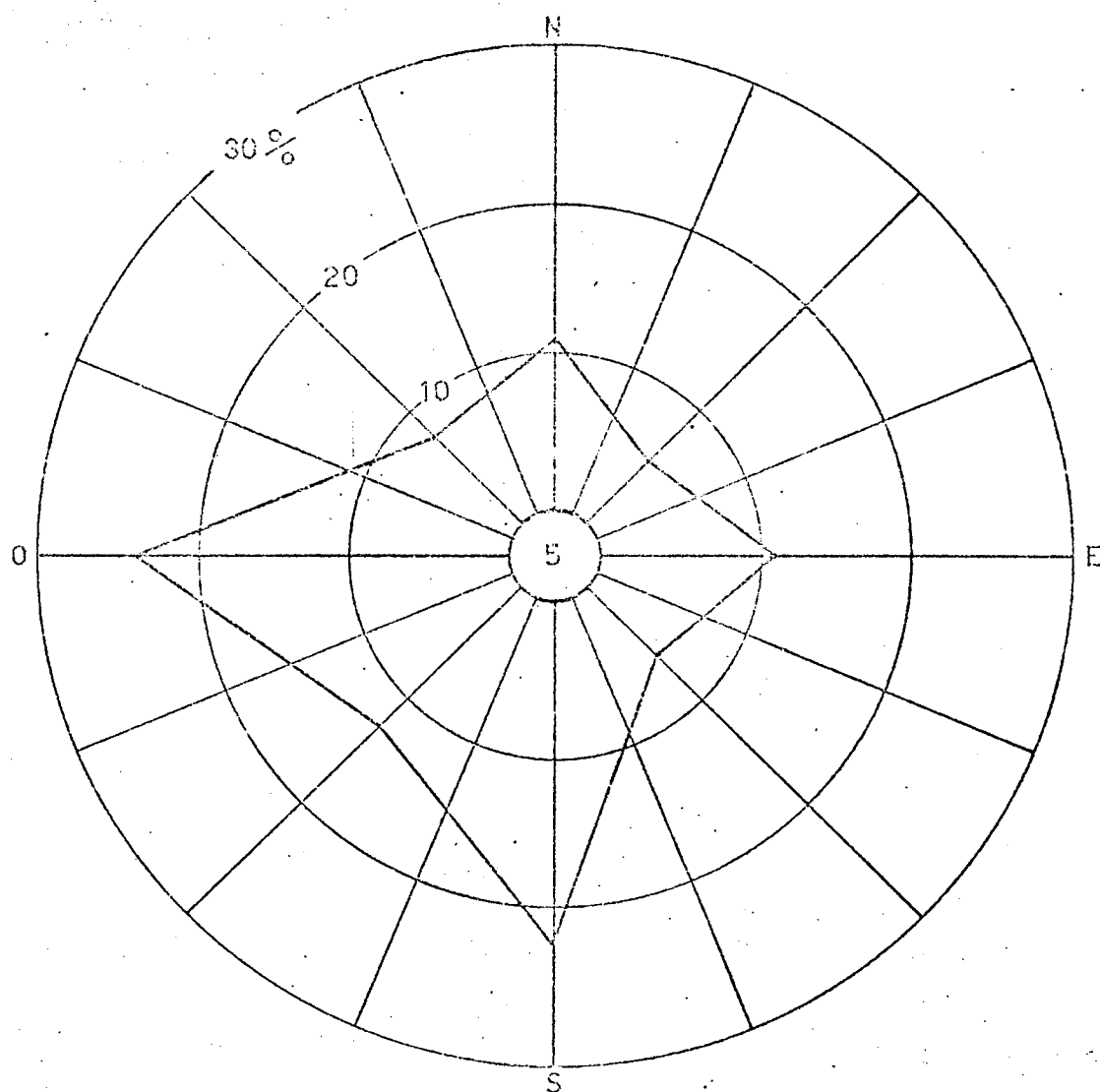


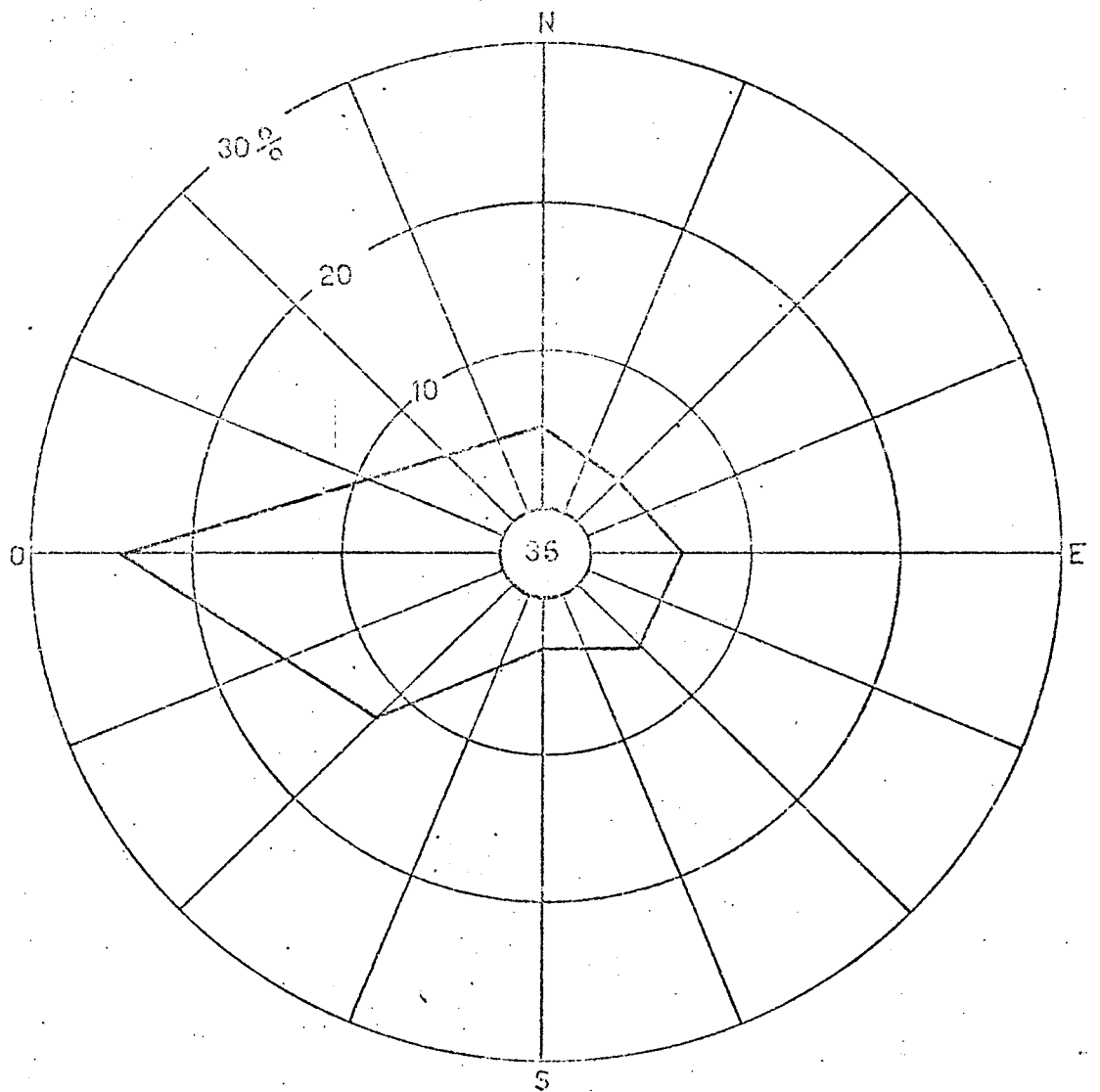


FIGURA 13 ROSA DE VIENTO RIO LIMAY (1951 - 1960)



%
CALMA

FIGURA Nº 1 - DISEÑO DE VIENTO - RIO NEGUEN (1981-1980)



removidos en la atmósfera por procesos que ocurren dentro (rain-out) o debajo de las nubes (wash-out). Por otra parte, se puede afirmar que las zonas de escasa precipitación constituyen áreas potenciales con poco poder de "contaminación del suelo".

En las Figuras 15,16;17,18 y 19 se grafican los valores medios mensuales de precipitación y la frecuencia media de días con lluvia de las diferentes zonas, excepto Atucha.

Se observa que las zonas de Ubicación II tienen menor precipitación que las de Ubicación I.

2.2.2. Cursos de agua

El caudal del cuerpo de agua receptor es uno de los parámetros de mayor importancia en el proceso de dispersión de contaminantes.

En la Figura 20 se representa la variación de los caudales medios mensuales de los ríos Paraná y Limay (7). Del análisis de los gráficos se extrae que el río Paraná posee mayor caudal que el río Limay.

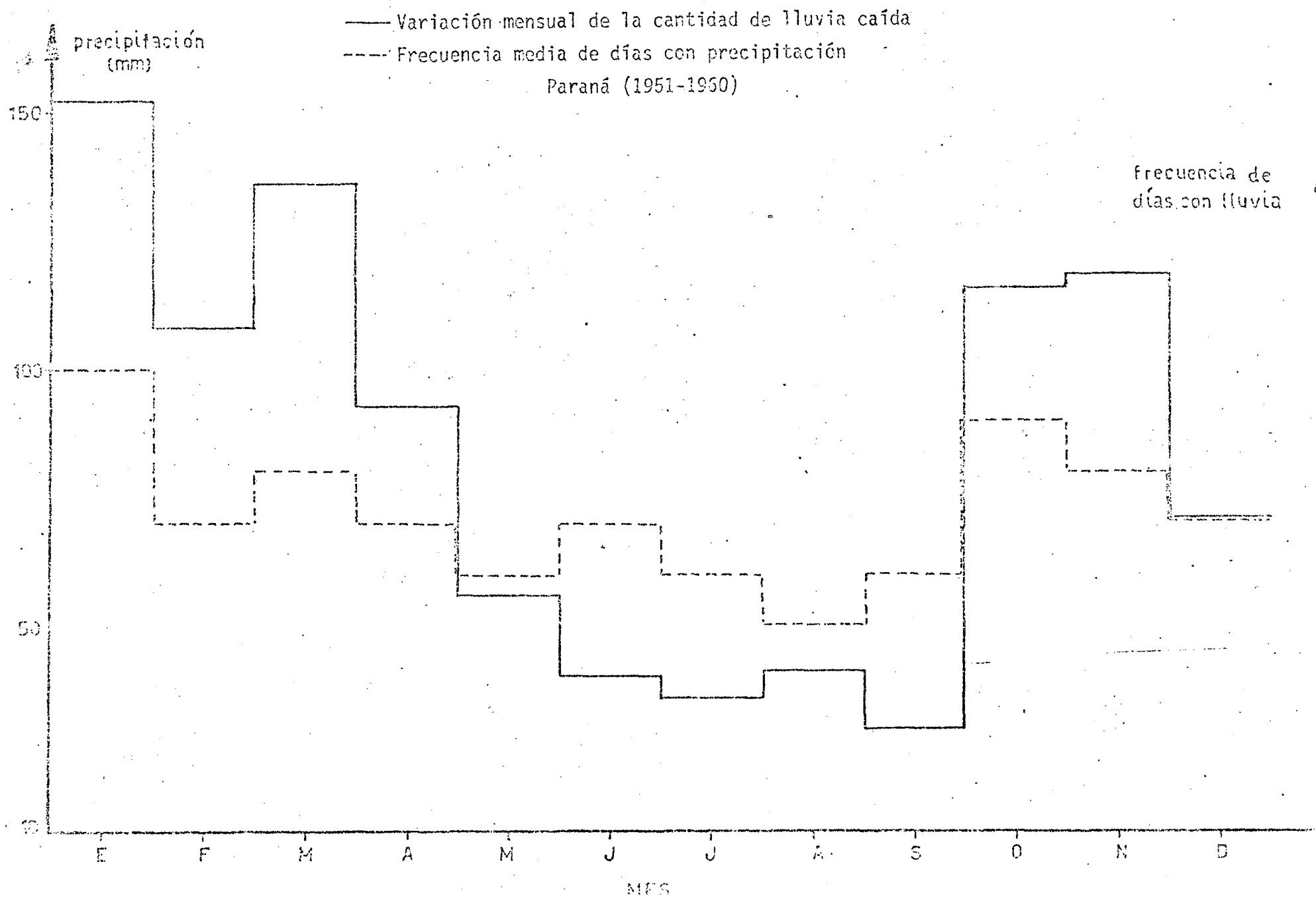
2.3. ACTIVIDADES Y UTILIZACION DE LOS RECURSOS POR EL HOMBRE

2.3.1. Distribución de la población

El objeto principal de la preservación ambiental es la protección del hombre.

Por lo tanto, interesa conocer la población existente en las zonas de posibles emplazamientos. De la información existente se deduce que la densidad de población en la región del Comahue es alrededor de 10 habitantes/km² y en la región del Litoral oscila entre 40 y 400 habitantes/km².

La Tabla 2 incluye la población de las diferentes zonas (8):



precipitación
(mm)

— Variación mensual de la cantidad de lluvia caída

- - - Frecuencia media de días con precipitación

Rosario (1951-1960)

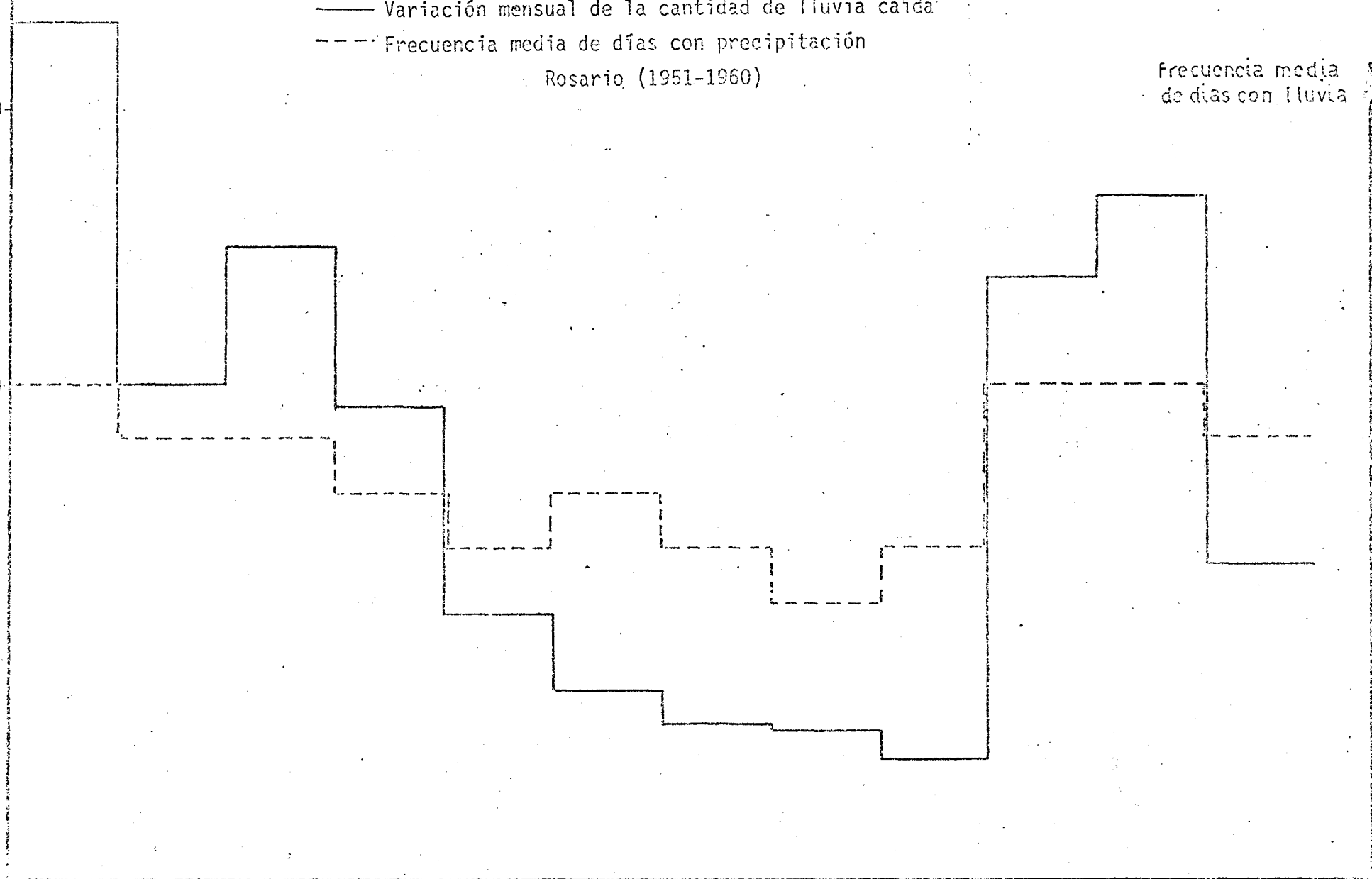
Frecuencia media
de días con lluvia

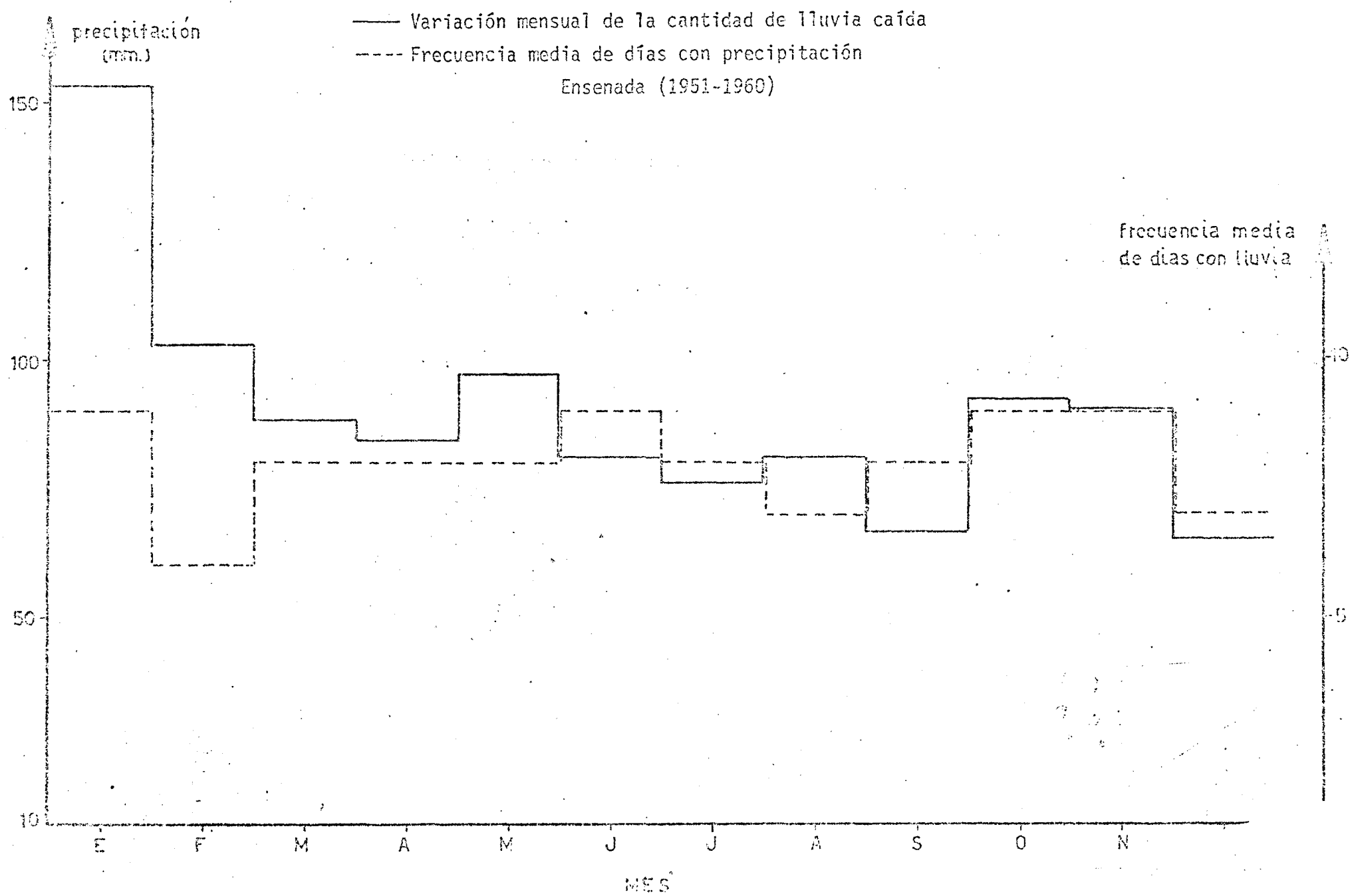
150
100
50

10
5

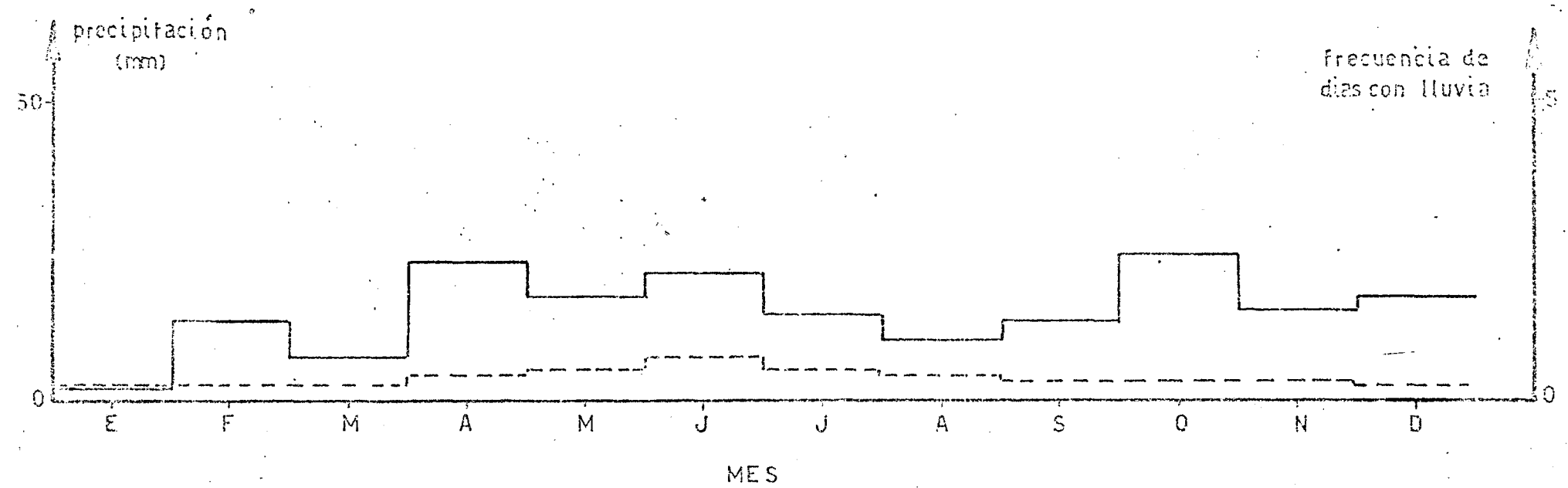
E F M A M J J A S O N D

MES

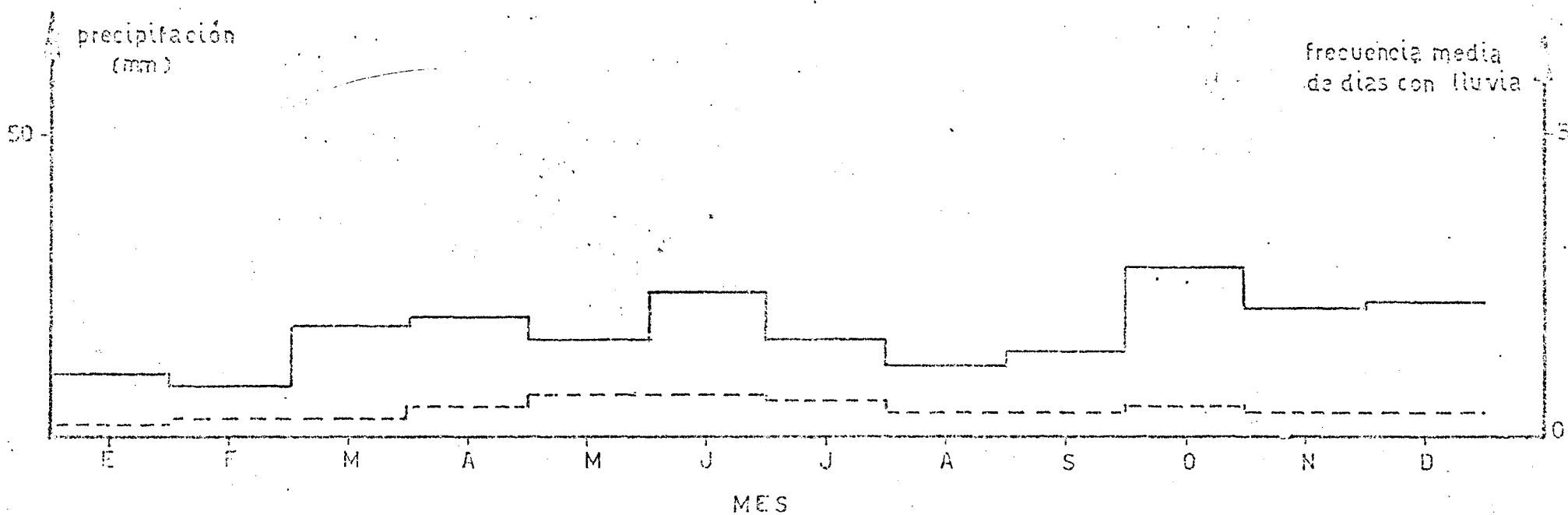


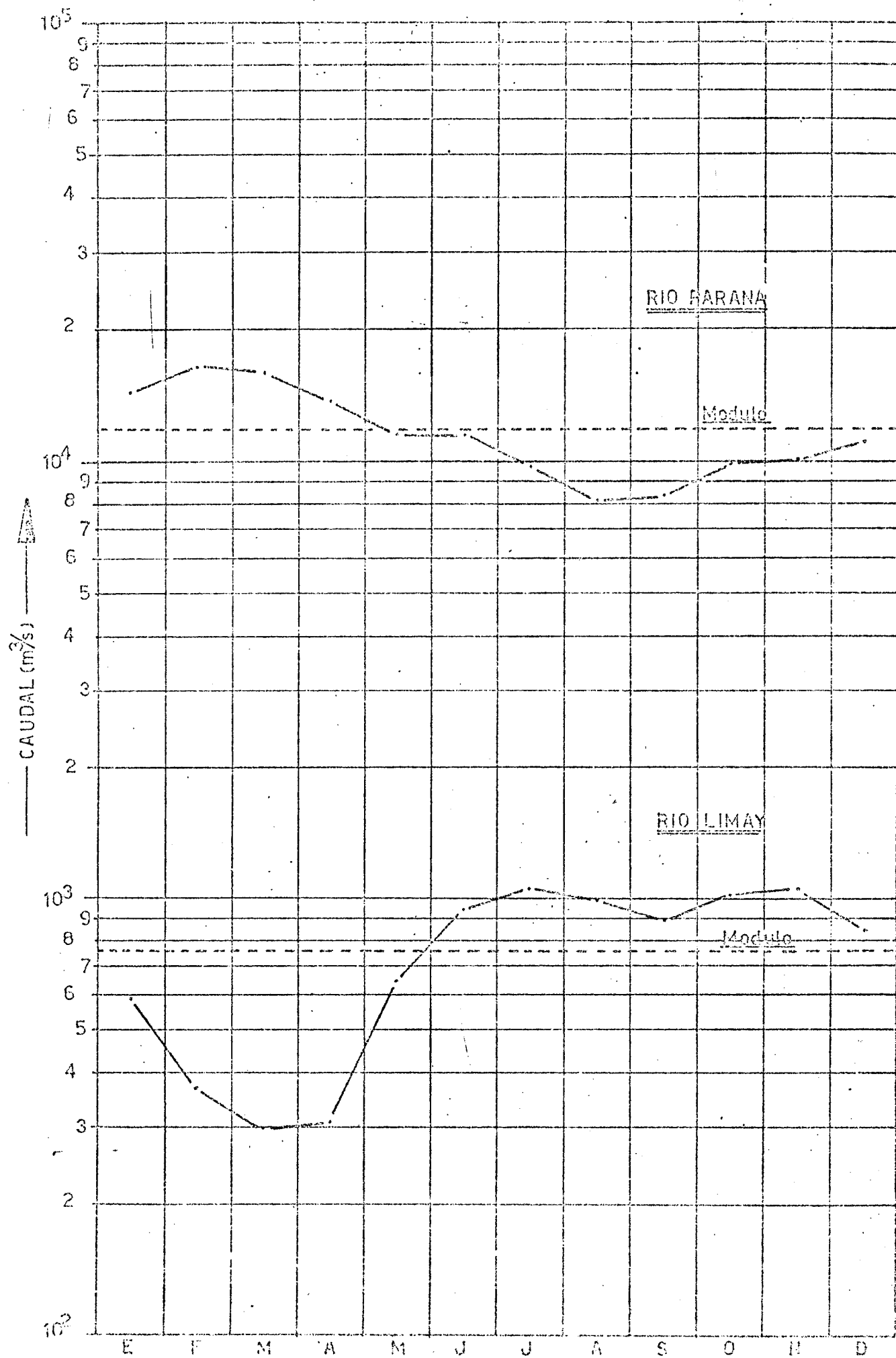


— Variación mensual de la cantidad de lluvia caída
----- Frecuencia media de días con precipitación
Río Limay - (1951-1960)



— Variación mensual de la cantidad de lluvia caída
- - - Frecuencia media de días con precipitación
Río Neuquén - (1951-1960)





2.3.3. Actividad agropecuaria

Una de las finalidades de la protección ambiental es preservar los recursos naturales. De esta forma, en la Tabla 4 se comparan las actividades agropecuarias y el aprovechamiento del suelo de las diferentes zonas. En esa Tabla figuran los valores de superficie porcentual dedicada a la explotación agropecuaria y forestal, según el destino asignado (superficie para la siembra, para pastoreo, etc.) y para cada uno de los departamentos en cuestión. Estos índices representan una estimación adecuada de la actividad agropecuaria en la zona.

2.4. CONCLUSIONES

El análisis comparativo desde el punto de vista de la preservación del medio ambiente, de las diferentes zonas propuestas para el emplazamiento de una Planta de Agua Pesada en el país, se ha basado en las siguientes consideraciones: la capacidad de dilución del ambiente, la distribución de la población, el asentamiento industrial y la utilización del suelo para actividades agropecuarias.

De lo estimado anteriormente surge que:

- el índice de ventilación de la atmósfera en la zona del río Limay es el más elevado de las zonas analizadas.
- la frecuencia relativa de calmas es menor en la zona del río Limay que en las otras consideradas.
- el río Paraná (Ubicación I) posee un caudal significativamente mayor al del río Limay (Ubicación II)
- la densidad de población en la zona del río Limay es menor que en las otras zonas.
- las superficies dedicadas a la siembra y al pastoreo son comparativamente más reducidas en el Departamento de Confluencia (Pcia. del Neuquén) y de El Cuy (Pcia. de Río Negro) que en las zonas de Ubicación I.
- las zonas de los ríos Limay y Neuquén están menos contaminadas que las otras zonas, como se deduce del número de establecimientos industriales y de lo elaborado por la Secretaría de Estado de Recursos Naturales y Ambiente Humano (10).

1^o TABLA 4 SUPERFICIES DEDICADAS A LA EXPLOTACION AGROPECUARIA Y FORESTAL
(EXPRESADAS EN % DE LA SUPERFICIE TOTAL DE CADA DEPARTAMENTO)

DEPARTAMENTO	SUPERFICIE SEMBRADA EN PREPARACION O PREPARADA PARA SIEMBRA	PRADERAS NATURALES PARA PASTOREO	BOSQUES Y MONTES	SUPERFICIE DESTINADA A GRANJA VIVEROS O FLORICULTURA	SUPERFICIE NO USADA POR FACTORES CLIMATICOS, COS, VAL, NO CAPITAL U OTRA CAUSA.	SUPERFICIE EN BARBECHO O RASTROJO	SUPERFICIE COBRADA POR HUERTOS, GALLINEROS, CONSTRUCCIONES, ETC.	SITU ESPECIFICAS DE LA ZONA
SERISSO (Pcia. Bs.As.)	2,5	31,4	0,8	1,7	0,8	0,2	2,6	5,0
INGENIADA (Pcia. Bs. Ac.)	0,7	37,7	4,4	0,02	-	-	1,5	1,2
LA PLATA (Pcia. Bs. As.)	13,6	38,2	0,8	2,1	0,4	1,0	1,7	3,0
LA PLATA (Pcia. Bs. As.)	23,8	12,2	13,8	0,3	4,7	2,2	0,7	1,0
LA PLATA (Pcia. Bs. As.)	49,1	14,1	24,8	0,3	0,6	3,9	1,4	1,0
LA PLATA (Pcia. Neuquén)	0,9	5,3	16,0	-	1,3	0,1	0,08	-
EL CUY (Pcia. Río Negro)	0,03	50,1	3,1	0,1	0,02	0,03	0,09	1,0
RODRIGO (Pcia. Sta. Fe)	73,4	15,1	0,6	0,3	0,4	0,6	2,3	7,0

De las consideraciones mencionadas anteriormente se desprende que, teniendo en cuenta la protección del medio, la zona del Río Limay es la más adecuada de entre las propuestas para la ubicación de una Planta de Agua Pesada. Sin embargo, es necesario un análisis que evalúe las eventuales consecuencias del futuro funcionamiento de la planta sobre la población y la biota local. Este es el objetivo del resto del estudio.

3. CARACTERISTICAS DE LA ZONA DE ARROYITO

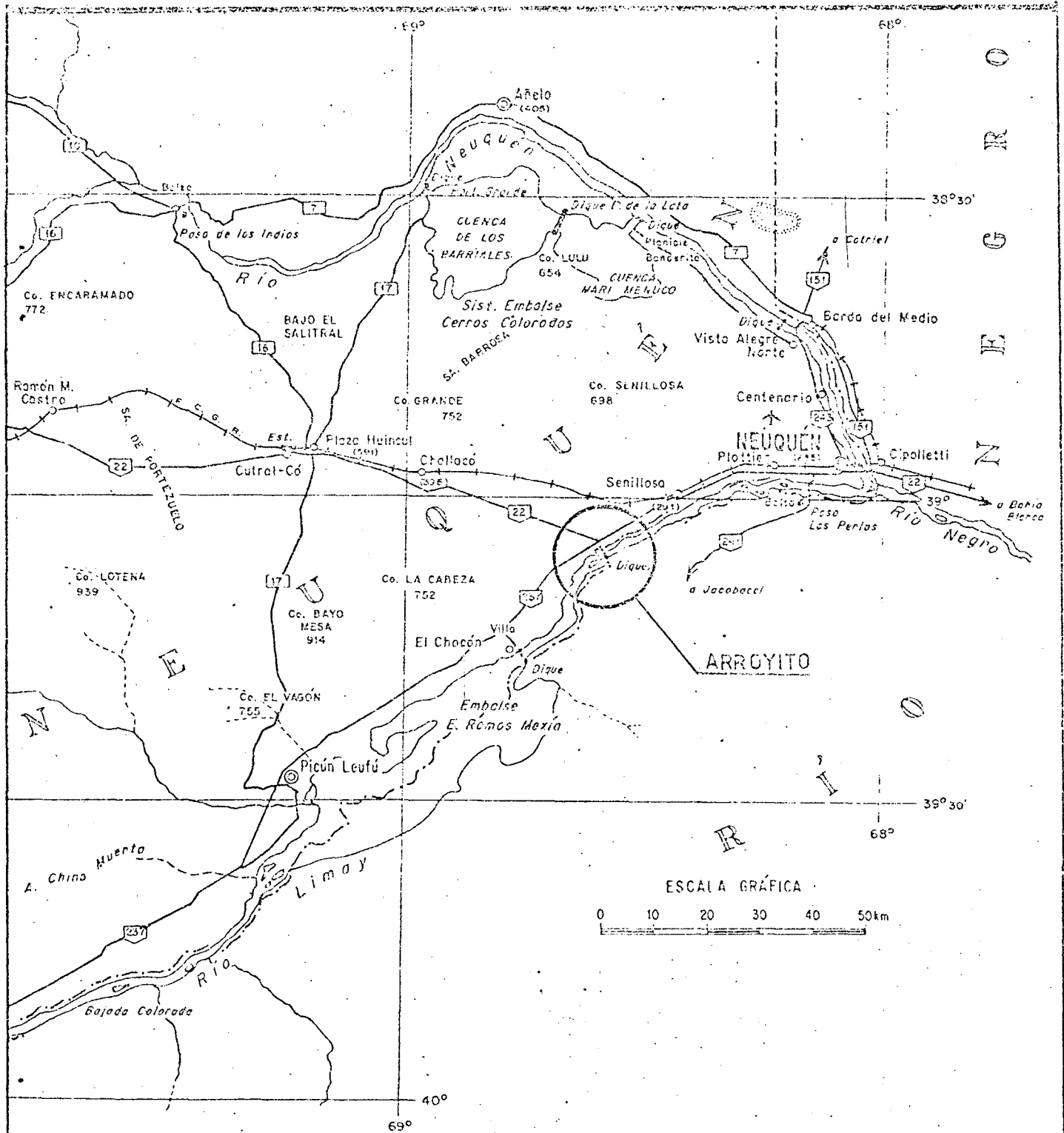
La preservación del medio ambiente es uno de los factores que deben tenerse en cuenta en la elección del emplazamiento de una Planta de Agua Pesada. Sin embargo, fundamentos técnicos (caudal de agua, reservas energéticas) y consideraciones geoeconómicas y geopolíticas son razones predominantes en la ubicación de la instalación.

El Análisis de Emplazamiento realizado en el Capítulo 6 recomienda el área Río Limay y más específicamente la localidad de Arroyito como el lugar adecuado para la ubicación de la planta de agua pesada (Figura 21).

En la Figura 22 se muestra la distribución de la población por sectores, en el entorno de Arroyito. La densidad de la población rural en los alrededores de la zona seleccionada es de 1,2 habitantes/km² en el Departamento de Confluencia (Pcia. de Neuquén) y de 0,1 habitante/km² en el Departamento de El Cuy (Pcia. de Río Negro). De la rosa de vientos de la zona (Figura 13) se infiere que la frecuencia de ocurrencia de direcciones de viento hacia los sectores de relativamente mayor población es comparativamente baja (en conjunto: 17%).

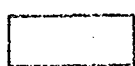
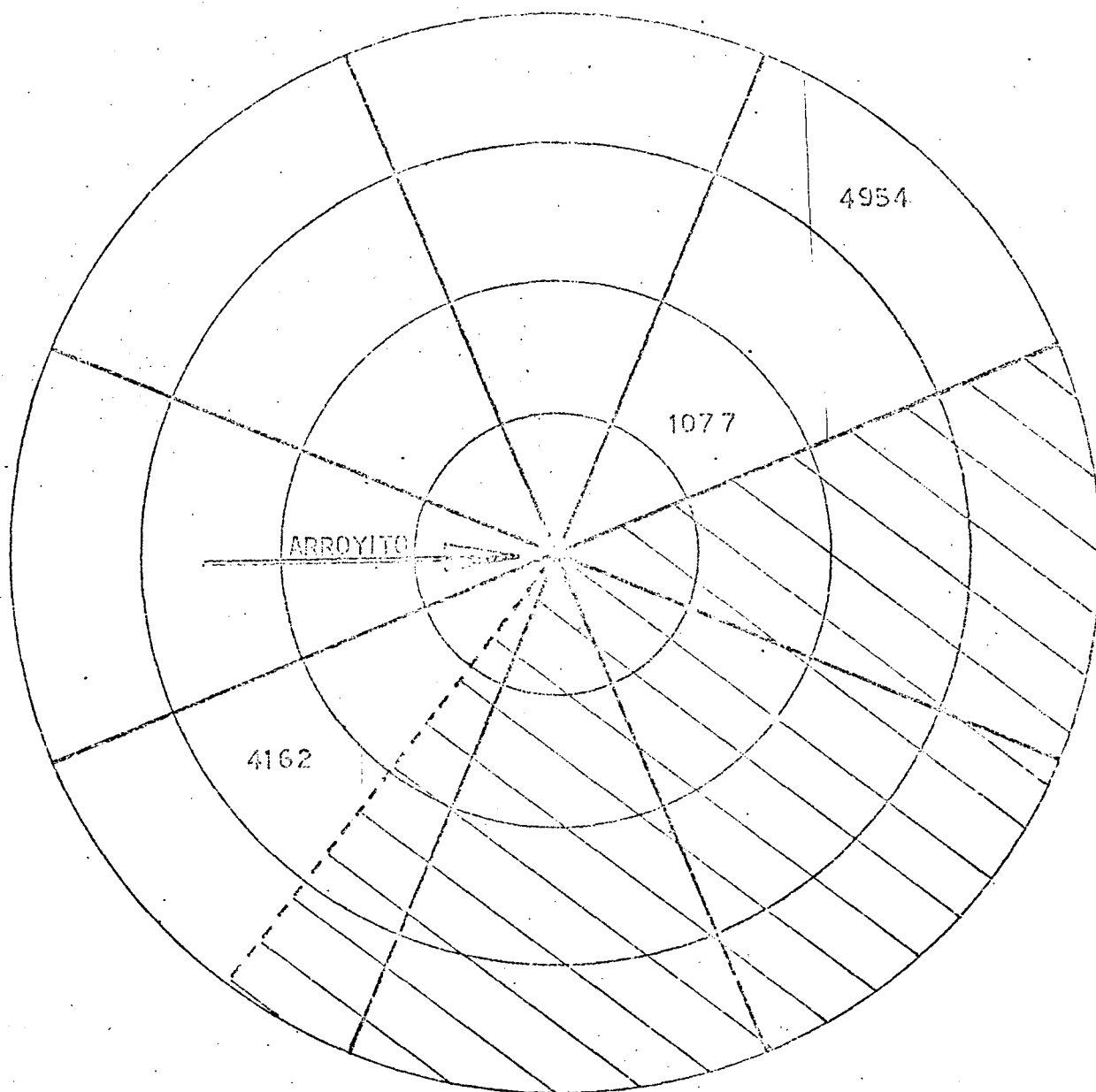
No existen estudios referidos a la zona de Arroyito. Sin embargo, la observación "in situ" permitió constatar que no hay poblaciones urbanas, aprovechamiento agropecuario, ni uso de las aguas del Limay para el consumo, en el entorno del sitio elegido para la ubicación de la Planta.

MAPA DE LA ZONA INCLUYENDO ARROYITO

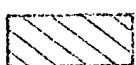


PLANO DE UBICACIÓN





Sector correspondiente a la Prov. Neuquén
Densidad de la población rural: 1,2 hab./km²



Sector correspondiente a la Prov. Río Negro
Densidad de la población rural: 0,1 hab./km²



Escala
0 10 km.

- 4 EFECTOS DE LA PLANTA EN FUNCIONAMIENTO NORMAL
- 4.1 GENERALIDADES
- 4.2 EFLUENTES CASEOSOS ELIMINADOS A LA ATMOSFERA
 - 4.2.1 Efectos sobre el hombre
 - 4.2.2 Efectos sobre los vegetales
 - 4.2.3 Efectos sobre los animales
 - 4.2.4 Transporte y dispersión de contaminantes
 - 4.2.5 Conclusiones
- 4.3 EFLUENTES ELIMINADOS EN CURSOS DE AGUA
 - 4.3.1 Contaminación de origen químico
 - 4.3.1.1 Efectos del H_2S sobre los organismos acuáticos
 - 4.3.1.2 Transporte y difusión de contaminantes
 - 4.3.1.3 Conclusiones
 - 4.3.2 Contaminación térmica
 - 4.3.2.1 Efectos sobre la biota acuática
 - 4.3.2.1.1 Efectos letales de la temperatura
 - 4.3.2.1.2 Efectos subletales: crecimiento y producción
 - 4.3.2.1.3 Temperatura en relación con otros factores ambientales
 - 4.3.2.2 Normas para la eliminación de efluentes térmicos
 - 4.3.2.3 Transporte, dispersión y disipación
 - 4.3.2.4 Conclusiones

4.1. GENERALIDADES.

Durante el funcionamiento normal de toda industria se generan residuos que, invariablemente deben ser almacenados en los tres grandes reservorios naturales: aire, agua y suelo.

Puede ocurrir que alguno o algunos de estos receptáculos no sean utilizados para almacenar los desechos. Esto depende de la tecnología adoptada para el proceso.

De acuerdo con el mecanismo de operación de plantas de agua pesada funcionando por el método sulfhídrico-agua los principales contaminantes producidos son el anhídrido-sulfuroso (SO_2) que se emite a la atmósfera, el ácido sulfhídrico (H_2S) que se descarga al agua, y energía calórica que se disipa en cursos de agua.

Estos tres tipos de contaminantes producen diferentes efectos sobre el hombre, los vegetales y los animales, que dependerán de sus concentraciones en el ambiente, del tiempo de exposición y de las características del receptor.

Teniendo en cuenta los standards de protección adoptados deberá adecuarse la tecnología de la Planta de forma tal que las descargas de contaminantes al medio, aprovechando su capacidad de transporte y dispersión, aseguren que las normas sean respetadas.

Sin embargo, este criterio debe contemplar, en el caso de no existir una planificación de la utilización del medio ambiente por el hombre, la "reserva ambiental".

Esto implica la previsión del futuro uso del medio ambiente por fuentes generadoras del mismo tipo de contaminantes que los originados por esta industria. De esta manera, mediante la aplicación de normas más restrictivas que las consideradas para un caso de contaminación producida por una fuente aislada, se permitirá el asentamiento futuro de otras actividades sin alterar el equilibrio del medio ambiente.

4.2: EFLUENTES GASEOSOS ELIMINADOS A LA ATMÓSFERA

El principal efluente eliminado a la atmósfera durante el funcionamiento normal de una planta de agua pesada está constituido por el SO_2 producto del quemado del H_2S en la chimenea y de la fabricación de H_2S (en el caso de ser producido en el lugar).

En materia de legislación nuestro país no registra muchos antecedentes respecto del establecimiento de concentraciones máximas permisibles del SO_2 en aire. Existe el Decreto Ley 20.284/73 de Preservación de los Recursos del Aire del 3 de Mayo de 1973 el cual no ha sido reglamentado.

Tampoco existen en el país estudios sobre criterios de calidad del aire respecto del SO_2 . Sin embargo, se han llevado a cabo investigaciones sobre este tema en otros países. Tomando como base estos trabajos es posible fijar límites operativos que servirán como comparación para establecer la calidad del aire de una zona.

4.2.1. Efectos sobre el hombre

Investigaciones realizadas en otros países establecieron relaciones entre los efectos y la concentración de SO_2 en aire para diferentes tiempos de exposición del hombre. En la Tabla 5 se incluyen los efectos adversos sobre la salud observados para diferentes concentraciones de SO_2 en aire y distintos tiempos de exposición (11) (12). A partir de estos criterios de calidad de aire se fijan los standards correspondientes. Dichos standards, establecidos por nuestro país (Decreto Ley 20284/73) y por los Estados Unidos de América (11), se encuentran en la Tabla 6. Estos valores serán considerados en este estudio como "límites operativos".

4.2.2. Efectos sobre los vegetales

El dióxido de azufre (SO_2) puede producir dos tipos de efectos en la vegetación: agudos o crónicos (12).

Los efectos agudos suelen relacionarse con exposiciones breves (de pocas horas) a concentraciones relativamente elevadas de SO_2 . Se manifiestan

TABLA 5

EFFECTOS SOBRE LA SALUD EN RELACION CON LA
CONCENTRACION DE SO_2 EN AIRE Y EL TIEMPO DE EXPOSICION (11)

EFFECTOS ADVERSOS A LA SALUD	Concentración		TIEMPO PROMEDIO
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm	
Incremento de la mortalidad.	300-400	0.11-0.15	24 horas
Agravación de síntomas en la edad madura.	365	0.14	24 horas
Síntomas irritatorios agudos.	340	0.13	24 horas
Disminución del asma.	130-250	0.07-0.09	24 horas
Disminución de la función pulmonar en niños.	200	0.075	Anual
Incremento de agudas enfermedades respiratorias.	3-100	0.034-0.037	Anual
Incremento de la bronquitis crónica.	90	0.035	Anual

TABLA 6

Estandards primarios nacionales de SO_2 comparativos entre Argentina y EE.UU.

Estandar primario nacional (concentración)				TIEMPO PROMEDIO
Argentina *		EE.U. (11)		
µg/m ³	ppm	µg/m ³	ppm	
70	0,03			Mensual
		80	0,03	Anual
		365	0,14	24 HORAS (no debe ser excedida más que una vez por año)

* Decreto-Ley 20284/73

a través de necrosis foliar con formación de lesiones localizadas de distinta pigmentación, y se las atribuye a la formación de sulfitos, ácido sulfuroso y ácido sulfúrico por absorción rápida del contaminante.

Los efectos del SO_2 dependen de las características de la planta, de los factores ambientales y fundamentalmente del tiempo de exposición y de la concentración del contaminante. En la Tabla 7 figuran las concentraciones umbrales que producen daño a corto plazo para plantas de distinta sensibilidad (13). Las especies vegetales han sido agrupadas, en base a su sensibilidad diferencial, en tres categorías: sensitivas (arce, batata, trigo, avena, cebada, centeno, alfalfa, etc.), intermedias (cajoila, abeto, álamo, tabaco, papa, etc.) y resistentes (maíz, roble, etc.). De esta Tabla se deduce que para plantas sensibles el daño puede resultar de exposiciones tan bajas como 0,05 a 0,5 ppm durante 8 horas ó 4,0 ppm durante 1/2 hora. En cambio, plantas resistentes son dañadas por exposiciones de más de 2 ppm durante 8 horas; o más de 10 ppm durante 1/2 hora.

Los efectos crónicos, atribuidos a una acumulación de sulfatos en las hojas, son producidos por exposiciones a concentraciones relativamente bajas durante un tiempo prolongado (varios días o semanas). Su manifestación puede ser visible, en cuyo caso se observa una decoloración gradual o clorosis de las hojas y defoliación excesiva, en algunos casos acompañada por marcas necróticas semejantes a las producidas por exposiciones agudas. Los efectos crónicos visibles a menudo están asociados con efectos no visibles, aunque medibles, tales como una supresión o reducción del crecimiento y disminución del rendimiento de la producción.

La susceptibilidad de los vegetales depende no sólo de características genéticas de la especie o variedad a las que pertenecen, sino también del momento del ciclo vital en que sufren la exposición.

Ciertos factores meteorológicos y edafológicos afectan la respuesta de los vegetales al SO_2 , por ejemplo la intensidad de la radiación solar, la humedad del aire, la humedad del suelo, la temperatura del aire y la presencia de otros elementos, tales como el ozono, el dióxido de nitrógeno que actúan en forma sinérgica con el SO_2 .

TABLA 7

CONCENTRACION UMBRAL DE DIOXIDO DE AZUFRE (SO_2) CAPAZ DE PRODUCIR DAÑO A CORTO PLAZO EN
TRES GRUPOS DE ESPECIES VEGETALES DE DISTINTA SUSCEPTIBILIDAD* (13)

TIEMPO (h)	ESPECIES SENSITIVAS		ESPECIES INTERMEDIAS		ESPECIES RESISTENTES	
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppm
0,5	2620 a 10480	1,0 a 4,0	9170 a 31440	3,5 a 12	≥ 26.900	≥ 10
1,0	1310 a 7860	0,5 a 3,0	6550 a 26200	2,5 a 10	≥ 20.960	≥ 8
2,0	655 a 5240	0,25 a 2,0	3930 a 19650	1,5 a 7,5	≥ 15.720	≥ 6
4,0	262 a 2620	0,1 a 1,0	1310 a 13100	0,5 a 5	≥ 10.480	≥ 4
8,0	131 a 1310	0,05 a 0,5	524 a 6550	0,2 a 2,5	≥ 5.240	≥ 2

* Las concentraciones y tiempos para cada grupo de susceptibilidad son aceptables sólo cuando las especies están creciendo bajo las condiciones ambientales y estado de maduración más sensible.

Así, por ejemplo, un incremento de la humedad del suelo, la humedad y la temperatura del aire, generalmente son acompañados por un aumento de la sensibilidad de los vegetales al SO_2 . En base a este tipo de observaciones se ha sugerido como acción preventiva que una menor irrigación de los cultivos durante los períodos de alta contaminación podría reducir daños potenciales.

Se debe tener en cuenta que además bajo condiciones de elevada humedad ambiente puede producirse ácido sulfúrico que también daña a los vegetales.

De los estudios realizados se deduce que la mayoría de las especies vegetales no presentarían síntomas o efectos agudos si la concentración máxima anual se mantiene por debajo de aproximadamente 0,03 ppm ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Sin embargo, existen evidencias de síntomas crónicos y defoliación por exposiciones a largo plazo a bajas concentraciones en zonas donde la concentración media anual es aún menor de 0,03 ppm ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (12).

4.2.3. Efectos sobre los animales

Se han realizado numerosas experiencias sobre los efectos toxicológicos del dióxido de azufre y del ácido sulfúrico en animales de laboratorio y algunos animales domésticos. El fin de estos estudios ha sido obtener información cualitativa sobre los efectos y mecanismos de acción de los contaminantes, que pudiera ser extrapolada al hombre. Los bioensayos con animales experimentales tienen la ventaja de permitir el empleo de concentraciones más elevadas, tiempos de exposición más prolongados y mayor cantidad de organismos.

Sin embargo, a los fines de establecer niveles adecuados de calidad de aire, la protección del hombre parecería asegurar también la de otras especies animales, ya que éstas son en general más tolerantes al SO_2 y el ácido sulfúrico (H_2SO_4) que el hombre (12).

4.2.4. Transporte y dispersión de contaminantes

Existen diferentes modelos físicomatemáticos (14) que describen los procesos que ocurren en las capas inferiores de la atmósfera, mediante los cuales los contaminantes emitidos al aire se redistribuyen y diluyen. Por un la-

do, el movimiento horizontal de la atmósfera transporta los contaminantes y por otro lado la turbulencia los dispersa. Aún cuando, el problema de la dispersión turbulenta atmosférica no ha sido unívocamente formulado, la mayoría de las teorías aceptan como base la distribución espacial gaussiana de los contaminantes en el aire.

Aceptando las siguientes suposiciones:

- Condición de estacionalidad de la atmósfera.
- Turbulencia homogénea.
- Inexistencia de transformaciones químicas de los contaminantes.
- Superficie del suelo no rugosa.
- No existencia de absorción de gases por la superficie terrestre.
- Emisión continua de contaminantes a la atmósfera.
- No perturbación de la atmósfera por la presencia de los contaminantes.

la concentración de los contaminantes en el aire puede ser estimada por medio de la siguiente ecuación (15):

$$\bar{X}(x,y,z,H) = Q (2\pi\sigma_y\sigma_z u)^{-1} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \cdot \left\{ \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z-H}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z+H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \quad \{1\}$$

donde:

$\bar{X}$: es la concentración de contaminantes en aire promediada en un intervalo de tiempo

Q: es la intensidad de la emisión de contaminantes al aire

$\bar{u}$: es la velocidad media del viento que transporta los contaminantes

x: se extiende horizontalmente en la dirección del viento medio

y: se extiende horizontalmente y es perpendicular al viento medio

z: está orientado en la dirección vertical

H: es la altura efectiva de la emisión

σ_y, σ_z : son las desviaciones normales de la distribución horizontal y vertical de contaminantes

Las desviaciones normales varían con la estructura de la turbulencia atmosférica, la altura, la rugosidad de la superficie, el tiempo de promedio de la concentración estimada, la velocidad del viento y la distancia a la

fuentes de emisión. Para alturas dentro de la capa superficial atmosférica, suelo relativamente liso y considerando la velocidad del viento y la estructura de la turbulencia atmosférica representadas por categorías de estabilidad, las desviaciones normales pueden ser estimadas en función de la distancia a la fuente(15):

De esta manera, es posible clasificar la estabilidad atmosférica en las siguientes categorías (16):

- A. Extremadamente inestable
- B. Moderadamente inestable
- C. Levemente inestable
- D. Neutra
- E. Levemente estable
- F. Moderadamente estable

Con el objeto de estimar la magnitud de un eventual impacto en el ambiente originado por una descarga continua de SO_2 al aire, se consideró una inyección a la atmósfera de 5,6 kg/h de SO_2 .

Con una hipótesis de una chimenea de 100 m de altura por donde se introduzca el SO_2 al aire y considerando una elevación de la pluma en condiciones atmosféricas isotérmicas y con una velocidad media del viento de 5 m/s, se obtiene una altura efectiva de la emisión (h real + Δh elevación) de aproximadamente 130 m.

Considerando dos posibilidades: condiciones atmosféricas estacionarias durante 24 horas y una distribución anual de las direcciones del viento en la zona de acuerdo a la Figura 13, utilizando la ecuación {1} se estimaron las máximas concentraciones espaciales diarias y anuales de SO_2 en aire que se incluyen en la Tabla 8. Estas estimaciones se realizaron en las diferentes condiciones atmosféricas.

4.2.5. Conclusiones

De la comparación entre las concentraciones máximas estimadas y los "niveles operativos" adoptados surge que, aún en condiciones atmosféricas "desfavorables", las concentraciones de SO_2 en aire originadas por el funcionamiento normal de la Planta de Agua Pesada permanecerían por debajo de

TABLA 8

Concentraciones máximas y distancia a la cual se producen, para una emisión de SO_2 a la atmósfera.

CATEGORIA DE ESTABILIDAD ATMOSFERICA	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	DISTANCIA (km)	CONCENTRACION (PROMEDIO 124hs) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	CONCENTRACION (PROMEDIO 124hs) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
				DIRCC. SUR	DIRCC. OESTE
A	1	0,5	20	4	5
B	1	0,9	15	3	4
C	2	1,6	7	1,5	2
D	3	4,5	2	0,4	0,5
E	2	9,0	2	0,4	0,5
F	2	28,0	0,8	0,2	0,2

dichos niveles.

Asimismo se observa que se respeta la "reserva ambiental" de la zona permitiendo el asentamiento futuro de otras actividades generadoras de este contaminante.

A esto debe agregarse la relativamente pequeña probabilidad de ocurrencia de la dirección del viento hacia las zonas más pobladas y la distancia considerable de los centros poblados al lugar de la instalación.

De esta forma confluyen simultáneamente varios factores que permiten asegurar que la salud de la población será resguardada:

- Las concentraciones máximas estimadas no superan los "límites operativos".
- Existe reducida población en centros urbanos ubicados a distancias no menores que aquellas a las cuales se verifican las máximas concentraciones.
- Baja probabilidad de ocurrencia del viento en la dirección de las áreas urbanas pobladas.

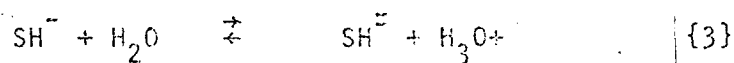
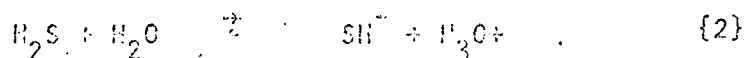
Por otra parte, de acuerdo con las concentraciones estimadas se podría asegurar que una futura actividad agrícola-ganadera en la zona no sería sensiblemente afectada por el SO_2 .

4.3. EFLUENTES ELIMINADOS EN CURSOS DE AGUA

La Planta de Agua Pesada genera residuos de origen químico fundamentalmente H_2S y calor residual que serán introducidos en cursos de agua. En el caso de la instalación de esta industria en la zona de Arroyito (Provincia del Neuquén), el Río Limay sería utilizado como reservorio natural de esta eliminación.

4.3.1. Contaminación de origen químico

La presencia del H_2S en agua da lugar a dos transformaciones químicas principales: su disociación y la reacción con el oxígeno disuelto. Existen evidencias de que el H_2S no ionizado es el componente más tóxico de las soluciones de sulfuros (17). La disociación del H_2S ocurre según las siguientes reacciones:

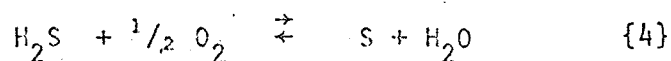


Este proceso es afectado por el pH de la solución: en medio ácido la forma predominante es la no ionizada. La Tabla 9 muestra las concentraciones del H_2S no ionizado con respecto al H_2S total en función del pH de la solución (18).

TABLA 9

pH	Factor de Conversion	Acido Sulfhídrico total (ppm)	Acido Sulfhídrico no ionizado (ppm)
6,0	0,83	6,82	5,66
6,5	0,61	6,82	4,16
7,0	0,33	6,82	2,25
7,2	0,24	6,82	1,64
7,5	0,14	6,82	0,96
7,7	0,091	6,82	0,62
8,0	0,048	6,82	0,33

Según mediciones realizadas las aguas del Río Limay poseen un pH que varía entre 6,6 y 7,3. Por otra parte, la transformación del H_2S en presencia de O_2 disuelto ocurre según la siguiente reacción:



Esta transformación es favorecida por la radiación solar y otros factores fisicoquímicos del medio acuoso. Aún cuando la cinética de la reacción {4}, no es bien conocida existen evidencias experimentales de que la transformación del H_2S es rápida en condiciones de oxigenación adecuada.

4.3.1.1. Efectos del H_2S sobre los organismos acuáticos

El H_2S , a pesar de su rápida transformación ha sido detectado en concentraciones perjudiciales para los organismos acuáticos, tanto en ambientes naturales, como en ambientes contaminados por efluentes cloacales o industriales.

Para evaluar la toxicidad del H_2S se han efectuado bioensayos en cámaras experimentales con distintas especies de invertebrados acuáticos y en particular con huevos, alevinos, juveniles y adultos de peces. Debido a que las concentraciones de H_2S detectables suelen encontrarse cerca de la interfase agua-lecho del curso de agua, los estudios sobre efectos del H_2S se han intensificado para aquellas especies o estadios cuya vida transcurre en o cerca del fondo.

Variando con la concentración del contaminante y el tiempo de exposición empleado, se han observado los siguientes efectos en los peces: mortalidad de huevos, alevinos y juveniles, prolongación del período de incubación de los huevos, reducción en la talla de los alevinos en el momento de la eclosión por una disminución en el ritmo de crecimiento, y mayor incidencia de malformaciones anatómicas letales en alevinos recién eclosionados (17), (18), (19), (20), (21), (22). En la Tabla 10 se registran los límites de tolerancia media (LT_{50}) durante períodos breves de exposición al H_2S (72 y 96 h), correspondientes a algunas de las especies estudiadas.

A pesar del uso difundido del $LT_{50-96 h}$ en estudios toxicológicos, es conveniente basarse en experiencias más prolongadas para poder establecer niveles compatibles con el bienestar de los organismos. (El $LT_{50-96 h}$ no tiene en cuenta, por ejemplo, la incidencia de malformaciones letales en los alevinos u otros efectos a largo plazo. Por lo tanto, se puede obtener una medida más adecuada de la toxicidad del H_2S a partir de la incubación de huevos a distintas concentraciones del H_2S y la determinación, en el momento de la eclosión del porcentaje de alevinos con malformaciones (Tabla 11).

En general, los alevinos tempranos, recién eclosionados, constituyen el estadio más sensible al H_2S . Por esa razón, se consideran los mejores indicadores para la determinación de niveles adecuados de H_2S , en experien-

TABLA 10

límites de tolerancia media (LT₅₀) al H₂S para distintas especies de peces (expresados en ppm de H₂S)

Especie	Estado	Temperatura (°C)	O ₂ disuelto (ppm)	LT-72 h (ppm)	LT-96 h (ppm)
<u>Salmo gairdneri</u> (trucha arco iris)	Huevo (24) Alevino (22)	15	6,0 6,0	0,055 0,020	0,040
<u>Lepomis macrochirus</u> ("bluegill")	Adulto (22) Juvenil (22)				0,020- 0,030 0,025- 0,030
<u>Stizostedion vitreum</u> ("walleye")	Huevo (24) Alevino (22) Juvenil (22)	12	6,0 6,0	0,060 0,017	0,052 0,007 0,018 - 0,020
<u>Esox lucius</u> (lucio)	Huevo (24) Alevino (22)	13 13	2,0 6,0 2,0 6,0	0,038 0,041 0,012 0,030	0,034 0,037 0,009 0,026

TABLA 11

Porcentaje de alevinos con malformaciones por incubación de huevos de Stizostedion vitreum a distintas concentraciones de H_2S y O_2

TIEMPO DE INCUBACION (días)	T (°C)	O_2 (ppm)	H_2S (ppm)	% alevinos con malformaciones
20	12	3	0	0,5
20	12	3	0,013	1,2
20	12	3	0,025	1,6
20	12	3	0,039	23,4
20	12	3	0,049	35,2
20	12	3	0,062	29,7

cias a corto plazo (20).

Ciertos factores ambientales tales como la temperatura y concentración de O_2 disuelto, pueden afectar los resultados. La toxicidad del H_2S parecería aumentar con el incremento de la temperatura. Por ejemplo, para la especie *Carassius auratus* existe una relación logarítmica entre la temperatura y los valores de (LT_{50-96h}) (19). Algunos investigadores sostienen que una disminución en la concentración de O_2 disuelto agravaría los efectos tóxicos del H_2S , ya que un bajo contenido de O_2 ejerce efectos perjudiciales directos independientemente de la presencia del contaminante, a la vez que aumenta su toxicidad (20).

Los estudios realizados confirman la extrema toxicidad de concentraciones relativamente bajas de H_2S en los organismos acuáticos. Adelman y Smith han estimado que niveles de H_2S en agua inferiores a $1,4 \times 10^{-2}$ - $1,8 \times 10^{-2}$ ppm para los huevos e inferiores a 4×10^{-3} - 6×10^{-3} ppm para los alevinos de *Esox lucius* pueden ser tolerados sin provocar efectos perjudiciales (17). Smith y Oseid han establecido que niveles en agua que excedan los $2,8 \times 10^{-2}$ ppm de H_2S podrían inhibir el mantenimiento de poblaciones de peces afectando principalmente la supervivencia de huevos y alevinos (22).

4.3.1.2. Transporte y difusión de contaminantes

No existe una única teoría que describa los procesos de transporte y difusión de contaminantes en cursos de agua. Sin embargo, un método frecuentemente utilizado en la estimación de la concentración de contaminantes descargados continuamente en ríos se basa en el uso de la siguiente ecuación de conservación de la masa (23).

$$C_o Q_o + C_i Q_i = C_f Q_f \quad \{5\}$$

dónde:

C_o es la concentración de "fondo" de contaminante en el río.

C_i es la concentración del contaminante en el efluente.

C_f es la concentración del contaminante a una distancia mayor que la longitud de mezcla.

Q_o es el caudal del río antes de la inyección.

Q_i es el caudal del efluente.

Q_f es el caudal final del río.

Considerando $C_o = 0$, es posible describir la ecuación {5} de la siguiente forma:

$$C_f = \frac{C_i \cdot Q_i}{Q_o + Q_i} \quad \{6\}$$

Por otra parte, la longitud de mezcla de un curso de agua es definida como la distancia mínima al punto de inyección a partir de la cual el contaminante se mezcla uniformemente con el fluido. Existen diferentes ecuaciones para estimar el valor de la longitud de mezcla (23). Suponiendo que los coeficientes de difusión longitudinal y transversal son iguales y que la dispersión de contaminantes se adapta a una distribución gaussiana, la longitud de mezcla puede ser calculada por la siguiente expresión (23):

$$L = a \cdot Q^{1/3}$$

donde:

L = longitud de mezcla (m)

a = coeficiente igual a 50 para una inyección en la mitad del curso de agua y 200 cuando se descarga cerca de la orilla.

Q = caudal del río (m^3/s)

De acuerdo con la información proporcionada se considera que la Planta inyectará una solución de 1 ppm de H_2S en agua, que se descarga con un caudal continuo de $0,5 m^3/s$ a las aguas del Río Limay.

Para la estimación de las concentraciones de H_2S en agua del río se adoptó la siguiente hipótesis: el H_2S persiste en la solución acuosa sin experimentar reacciones químicas. Esta suposición tiende a obtener concentraciones sobre estimadas de H_2S en agua respecto de las reales. Los valores de las concentraciones de H_2S en agua y de la longitud de mezcla para las características del

Río Limay calculados a partir de las expresiones {5} y {6} se incluyen en la Tabla 12.

TABLA 12

Caudal (7) (M /s)	Longitud de mezcla (m)	Concentraciones de H_2S en agua (ppm)
Máximo medio diario: 1115	2060	4×10^{-4}
Mínimo medio diario: 23	570	8×10^{-6}
Medio anual: 282	1320	1×10^{-4}
Módulo: 760	1820	3×10^{-4}

4.3.1.3. Conclusiones

Teniendo en cuenta que la población urbana más próxima a la zona del emplazamiento (Senillosa) está distante 18 km aguas abajo del Río Limay y que el H_2S en agua se transforma rápidamente como resultado de diferentes reacciones como se describió anteriormente, se puede considerar que la calidad de las aguas para consumo en esa localidad no sería afectada por la descarga de H_2S .

Debido a que los límites de tolerancia media (LT_{50}) para peces e invertebrados acuáticos son comparables, concentraciones inferiores a 2×10^{-2} ppm asegurarían la protección de ambos. De la comparación de dicho valor con las concentraciones estimadas, se desprende que la contaminación de H_2S originada por el funcionamiento de la Planta de Agua Pesada no ejercerá efectos perjudiciales sobre la biota acuática del Río Limay en la zona de Arroyito.

4.3.2. Contaminación térmica

Para la refrigeración de componentes de un proceso industrial se utilizan generalmente cursos de agua o torres de enfriamiento. La inyección de calor procedente de plantas industriales, se transmite y distribuye en los cursos de agua y los diversos mecanismos de transporte transfieren la energía calórica a la atmósfera o la introducen directamente al aire.

Para su refrigeración la Planta de Agua Pesada utilizará las aguas del Río Limay. La inyección de energía calórica al curso de agua podría producir modificaciones de algunas de sus propiedades físico-químicas y alteraciones en los organismos vivos.

4.3.2.1. Efectos sobre la biota acuática

La "contaminación térmica" resultante de la operación normal de la Planta podría afectar la viabilidad y el mantenimiento de la biota acuática.

Con el objeto de establecer un criterio de protección se dará prioridad a los requerimientos de los peces de interés para la pesca comercial, tales como la trucha criolla autóctona (*Percichthys* sp.) y fundamentalmente los salmónidos introducidos.

En vista de un proyecto de construcción de un dique en Arroyito y de la futura formación de un embalse en dicha zona, no se descarta la posibilidad de que pueda mantenerse allí, en el futuro, una reserva de salmónidos mediante la siembra artificial, practicada desde hace años en la cuenca.

Los salmónidos requieren aguas relativamente frías y bien aireadas y son muy sensibles a los cambios de temperatura (los juveniles detectan variaciones de hasta 0,5°C (24)). Por lo tanto, podríamos suponer "a priori" que si las condiciones son adecuadas para su mantenimiento, también lo serán para los demás niveles tróficos.

Actualmente prosperan en la cuenca del Limay cuatro especies de salmónidos introducidos: la trucha salmonada (*Salvelinus fontinalis*), la trucha arco iris (*Salmo trutta*), el salmón encerrado (*Salmo salar* seabago) y

la trucha marrón (*Salmo fontinalis*) (25).

Cabe señalar aquí que los valores y pautas que se fijan a continuación sólo pueden servir de guía puesto que se basan en datos bibliográficos a menudo incompletos sobre variedades, especies y aún géneros diferentes a los que prosperan actualmente en el bajo Limay.

4.3.2.1.1. Efectos letales de la temperatura

La temperatura, especialmente en la zona contigua al punto de descarga o durante el pasaje por el sistema refrigerante, puede actuar directamente como factor letal. Por lo tanto, un estudio preliminar debe incluir la determinación de los límites de tolerancia para cada temperatura de aclimatación y para las especies más importantes en sus distintos estadios (huevo, alevino, juvenil y adulto). En la Tabla 13 figuran los límites de tolerancia para algunas especies de salmónidos (26) (27) (28) (29) (30) (31).

Sin embargo, la información que permite una aplicación más directa frente a situaciones concretas, es la que brindan los modelos de resistencia térmica, ejemplificados en las Figuras 23, 24 y 25 (32) (33). Las rectas se obtienen representando los tiempos de resistencia media (en que se verifica la mortalidad del 50%) para cada temperatura de impacto o exposición a que es llevada la muestra, a partir de una determinada temperatura de aclimatación.

Los puntos extremos de dichas rectas (por ejemplo los puntos A y B de la Figura 23) representan las temperaturas letales incipientes, que se definen convencionalmente como aquellas que provocan la muerte de una fracción determinada (50%) de la muestra poblacional en un tiempo "indefinidamente" prolongado (generalmente se toma como 1 semana ó 48 horas) (34).

Dichos valores establecen un límite entre una zona de tolerancia y una zona de resistencia térmica. Si la temperatura (T del agua + ΔT) cae dentro de la zona de tolerancia, los organismos podrían mantenerse indefinidamente sin sufrir mortalidad por efectos directos de la temperatura. Si, en cambio, la temperatura cae dentro de la zona de resistencia,

TABLA 13

TOLERANCIA TERMICA DE ALGUNAS ESPECIES DE SALMONIDOS				
Especie o subespecie	Estado	DURACION (horas)	LIMITE SUPERIOR DE TOLERANCIA (°C)	TEMPERATURA DE ACCLIMATACION (°C)
<u>Oncorhynchus gorbuscha</u>	Juvenil (29) (30) (31)	168	23,9	20
		168	22,5	10
		168	21,3	5
			24 (a)	
<u>O. keta</u>	Juvenil (30)	168	23,7	20
		168	22,6	10
		168	21,8	5
<u>O. kisutch</u> ("Coho salmon")	Juvenil (29) (30)	168	25	20
		168	23,7	10
		168	22,9	5
<u>O. nerka</u> ("Sockeye salmon")	Juvenil (30)	168	24,8	20
		168	23,4	10
		168	22,2	5
	No especificado		25 (a)	
<u>O. tshawytscha</u> ("Chinook salmon")	Juvenil (30) (32)	168	25,1	20
		168	24,3	10
		168	21,5	5
			25 (a)	
<u>Salmo gairdneri</u> (trucha arco iris)	No especificado (33) (30)		33	25
			30	15
			28	5
			24	11,5
			25 (a)	
<u>S. salar</u> (Salmón del Atlántico)	Alevino (30)	10	26	20
		48	24	20
		2	25-26	10
		12	24	10
	Murqón (30)	24	29,8	
	Salmón de 1 año (30)	24	28,5	
<u>S. trutta fario</u> (trucha marrón)	Embrión (30)		27	
	Alevino (30)	24	26	20
		168	23	20
		12	26	10
		168	23	10
		1	25	5
		130	22,5	5
	Murqón (30)	24	29,0	
	Trucha de 1 año (30)	24	25,9	
<u>S. trutta trutta</u> (trucha marrón)	Alevino (29)	7	26	20
		60	24	20
	Murqón (30)	24	29,1	
	Trucha de 1 año (30)	24	26,4	
<u>Salvelinus fontinalis</u> (trucha salmonada)	Juvenil (34)		25,3 (a)	
	No especificado (30)		25,3	11
			25	20
		24	24	10
<u>S. fontinalis fontinalis</u>	No especificado (30)	50	25,0	10
		95	24,5	10

(a) Umbral superior letal final ("ultimate lethal level")

Tiempos de resistencia a temperaturas elevadas para el salmón del Pacífico, Oncorhynchus tshawytscha ("young chinook salmon") aclimatado a las temperaturas indicadas. (29)

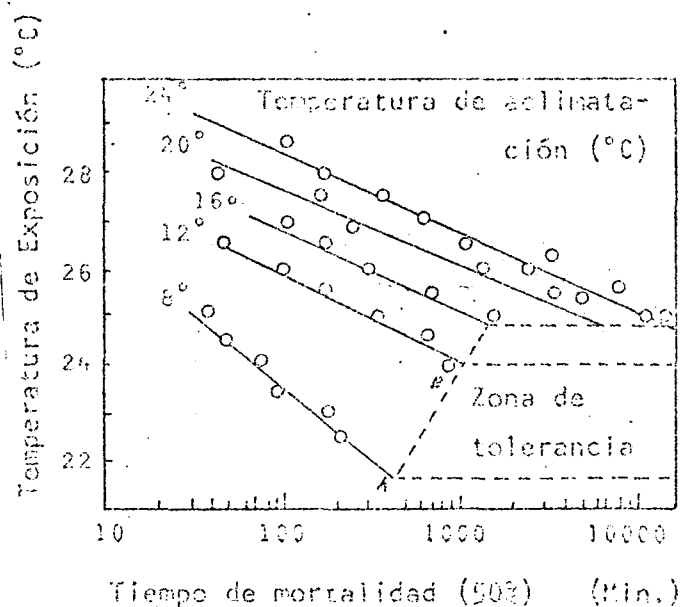
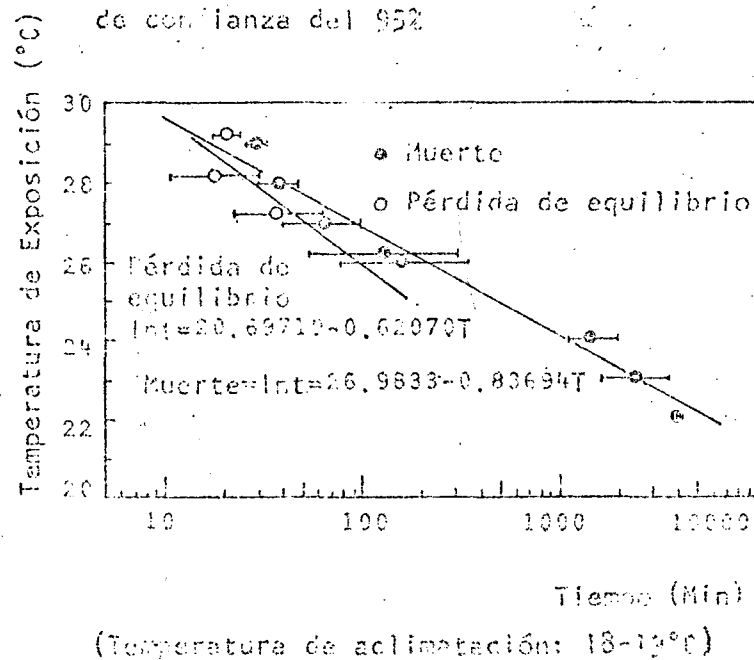


FIGURA N°24

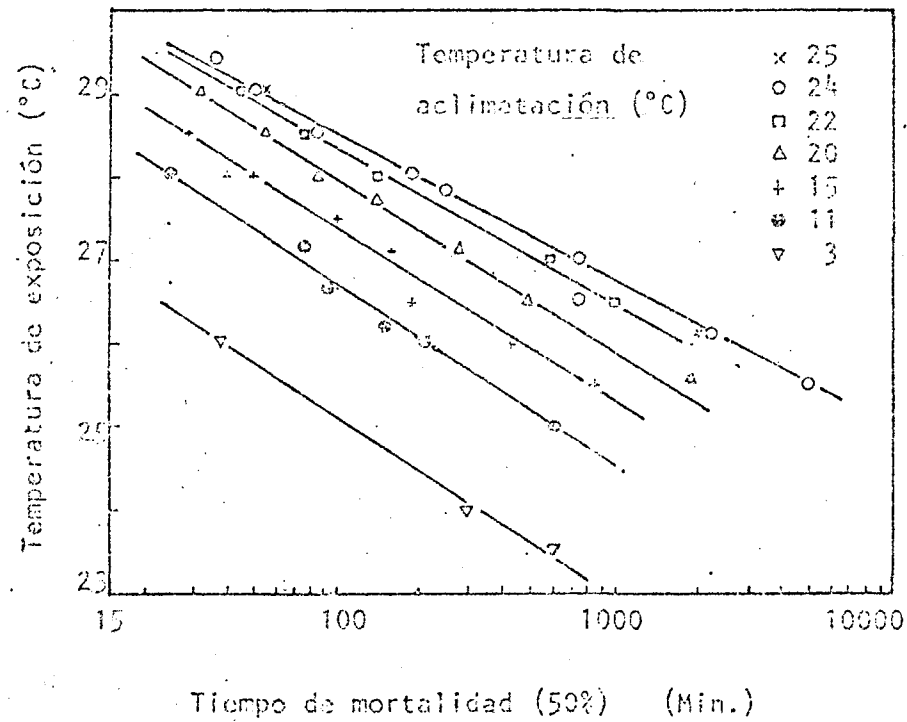
Tiempos (media geométrica) necesarios para alcanzar la pérdida de equilibrio y muerte de adultos de trucha cabeza de acero, Salmo gairdneri gairdneri, (30), con límites de confianza del 95%



Efecto de la temperatura de aclimatación sobre el límite

letal superior de la trucha salmonada ("speckled trout"): (29)

FIGURA N°25



se podrá esperar un cierto porcentaje de impacto o mortalidad acumulativa por pasaje a través de la "zona de mezcla" y/o a través del sistema refrigerante.

Para predecir en este último caso, a partir del modelo, si la mortalidad será significativa o no, es necesario conocer la distribución espacio-temporal de la descarga en base a las condiciones hidro-meteorológicas del curso de agua.

Comparando las isotermas alrededor del punto de descarga con las temperaturas letales, se podrá, en una primera aproximación, estimar el área con temperaturas potencialmente peligrosas para la supervivencia. Luego, conociendo el ciclo estacional de temperaturas y el salto térmico entre la toma y la descarga de agua refrigerante, y superponiendo las temperaturas letales incipientes, se podrá determinar en qué épocas del año la descarga se encuentra dentro de la zona de resistencia para cada especie.

Los modelos de resistencia térmica que permiten predicciones cuantitativas en zonas de fuertes gradientes térmicos, han sido desarrollados muy recientemente (30)(26). Gran parte de la información sobre la respuesta térmica de peces u otros organismos resulta difícil de interpretar, ya que se basa en el cálculo del LT_{50} (límite de tolerancia media o temperatura a la cual sobrevive el 50% de la muestra en un tiempo especificado de exposición, generalmente de 24, 48, 96 ó 168 hs.).

En la Figura 26 se intenta obtener una aproximación a las rectas tiempo-temperatura de la Figura 23, utilizando los valores de LT_{50} para 4 períodos distintos (12, 24, 48 y 168 hs.) para la trucha marrón (35), método sugerido por Coutant (36). Es evidente que las rectas, en base a sólo 4 puntos, no permiten más que extrapolaciones muy groseras.

Los modelos descriptos son también aplicables a los efectos subletales de la temperatura, tomando como índice la pérdida de equilibrio o "estado de coma" que precede a la muerte (Figura 24) y que resulta en un alto porcentaje de mortalidad retardada, o la mayor vulnerabilidad a la predación (24)(36). Este último efecto es importante para los juveniles de peces que atraviesan aguas donde existe un marcado gradiente térmico.

Se ha demostrado así, que si los juveniles de trucha arco iris aclimatados a una temperatura de aproximadamente 15°C sufren un breve incremento igual o mayor de 7°C por pasaje a través de la zona de mezcla, tendrán una mayor probabilidad de ser predados (37). Por lo tanto, exposiciones significativamente menores a las necesarias para provocar muerte directa pueden provocarla indirectamente.

Los salmónidos tienen en general una temperatura letal incipiente final del orden de 25°C (30). Esto se deduce también de los datos presentados en la Tabla 13. Este valor se define como la temperatura por encima de la cual se produce una mortalidad del 50%, independientemente de la temperatura de aclimatación, a exposiciones prolongadas.

Sin embargo, entre las especies de salmónidos introducidos en la cuenca del Limay, la trucha arco iris es la más resistente a las temperaturas elevadas y bajo contenido de O_2 , y la que se aclimata con mayor facilidad. De allí que sea la especie que prospera con más éxito en la subcuenca del bajo Limay.

Esta especie "vive en aguas de temperaturas relativamente elevadas con tal de que sean abundantes, corrientes y sombreadas. Soporta temperaturas de 23,8 a 29,4°C" (25). "En aguas con abundante renovación, puede soportar temperaturas de 20 a 22°C, llegando momentáneamente a 24°C o más" (48). "Tolera fácilmente temperaturas mayores de 20°C. La temperatura máxima efectiva es de 30°C, siempre que el agua esté bien oxigenada, pero en ambientes naturales y para los propósitos de su difusión, la temperatura máxima media no debe subir en verano de unos 22°C" (39). Para la trucha marrón, se comprueba que, aunque puede sobrevivir breves períodos a temperaturas superiores a los 27°C, no crece exitosamente a temperaturas que exceden los 20°C. (35)

4.3.2.1.2. Efectos subletales: crecimiento y producción

Aunque la preocupación más inmediata es la supervivencia de las especies de interés, es necesario mantener temperaturas compatibles con procesos vitales tales como el crecimiento, reproducción y desarrollo. Los límites superiores para el crecimiento y alimentación son, por regla general, menores que los correspondientes límites letales.

Para garantizar el mantenimiento de una población productiva en el transcurso del tiempo, en aguas afectadas por descargas térmicas, se ha propuesto recientemente adoptar como temperatura límite superior para los meses más cálidos del año, el promedio entre las temperaturas de crecimiento óptimo y de crecimiento nulo con alimento abundante, calculadas experimentalmente (29). Límites de este tipo, basados en el desempeño fisiológico de los organismos, son aplicables fuera de la "zona de mezcla" (definida posteriormente) donde los organismos quedan expuestos a incrementos de temperatura reducidos, pero durante tiempos prolongados.

Siguiendo este enfoque, se presentan en la Tabla 14 algunos datos de temperaturas en relación con el crecimiento de distintas especies de salmónidos. (31) (35) (40) (41)

Cabe destacar aquí que estos resultados, así como los de temperaturas letales, fueron obtenidos a partir de distintos diseños experimentales, que podrían no reproducir estrictamente las condiciones ambientales naturales.

Por otra parte, los rangos de temperaturas favorables para el crecimiento dependerán, entre otros factores, de la disponibilidad de alimento en el ambiente natural, puesto que en un medio oligotrófico pueden intensificarse los efectos desfavorables de la temperatura.

4.3.2.1.3. Temperatura en relación con otros factores ambientales

La respuesta de los organismos ante el cambio de un factor ambiental tal como la temperatura, dependerá del estado de otros parámetros ambientales. De ahí que el efecto térmico deba analizarse conjuntamente con el de otros factores que actúan en forma sinérgica, por ejemplo ciertos contaminantes químicos (cloro, H_2S , anticorrosivos, etc.). En general, se cumple la premisa de que los organismos sometidos a sustancias tóxicas poseen una menor tolerancia a temperaturas extremas.

Un factor importante a considerar es el contenido de O_2 disuelto, ya que no sólo disminuye la solubilidad del O_2 con el aumento de temperatura, sino que a mayores temperaturas aumenta su consumo por los organismos.

TABLA Nº 14

Temperaturas para el crecimiento de salmonidos (datos experimentales)

Especie	Temperatura de crecimiento óptimo (alimento no limitan- te). (°C)	Temperatura de crecimiento nulo (alimento no limitante (°C)	Rango de temperaturas que proveen condiciones adecu- das para el crecimiento (°C)
<u>Oncorhynchus nerka</u> (“Sockeye salmon”) Juvenil (43)	15	23	5-17
<u>Salvelinus fontinalis</u> (trucha de arroyo) alevino (34)	12,4-15,4		2,8-17,9
<u>S. fontinalis</u> (trucha de arroyo)	14		
<u>Salmo trutta</u> (trucha marrón) (38)	Para truchas de 2 a 3 años: 7-9 y 16-19 (*)		
	Para truchas de 3 a 4 años: 8-12 y 15-16 (*)		
	Para truchas de 1/2 a 1 1/2 años: 10-15		

(*) La disminución en el ritmo de crecimiento entre los dos rangos de temperaturas puede atribuirse a que, a pesar de que en esa zona el consumo de alimento es elevado, el pez se mantiene tan activo que una elevada porción del alimento ingerido es utilizado para el mantenimiento de las funciones corporales, en lugar de ser almacenado en la bicara. (41)

Los salmónidos requieren aguas bien oxigenadas, de aproximadamente 9 ppm. (42). Se recomienda que para organismos de aguas frías, en ningún caso el contenido de O_2 sea menor a 7 ppm. (43).

4.3.2.2. Normas para la eliminación de efluentes térmicos

La Organización Mundial para la Alimentación y la Pesca (FAO) recomienda las siguientes temperaturas provisionales como compatibles con el bienestar de los salmónidos y su biota asociadas (44)

20°C: para el crecimiento y rutas de migración de salmónidos

13°C: para el desove y desarrollo embrionario del salmón y trucha, excepto para la trucha de lago.

9°C: para el desove y desarrollo embrionario de trucha de lago y salmón del Atlántico.

La Tabla 15 contiene una recopilación de las normas propuestas o aplicadas en los Estados Unidos para la eliminación de efluentes térmicos en cuerpos de agua poblados por peces de aguas frías, y en particular por salmónidos. (45)

Los límites que figuran en ella, los cuales están sujetos a permanente revisión, representan las máximas temperaturas permisibles en el cuerpo de agua receptor del efluente y el máximo incremento sobre la temperatura ambiente (ΔT) que puede ser producido por la descarga de efluentes térmicos originados en plantas nucleares, pero que bien pueden aplicarse a cualquier otro tipo de planta generadora de calor. Los valores registrados en la Tabla no se refieren a la diferencia de temperatura entre la toma y la descarga de agua refrigerante, como tampoco especifican a qué distancia del punto de descarga debe efectuarse la medición de temperatura para cumplir con dichas normas.

En general, se permite una "zona de mezcla" inmediata a la descarga, que se entiende como el área donde no se cumple con las normas proscrip-tas (Tabla 11) y cuya extensión no se define con precisión, sino que suele ser delimitada para cada caso particular.

Los organismos competentes en los Estados Unidos recomiendan, sin

Formas de Calentamiento (temperatura), de algunos estados de USA, basados en los criterios propuestos por el NTAC, Comité Nacional Técnico Asesor de la Administración Federal de Control de Contaminación de Aguas (EPA) (45)

Estado	Incremento máximo de temperatura (ΔT) (°C)	Temperatura máxima (°C)	Observaciones
Arizona	1,1	12,8 a 21,1 según la época del año	Para peces de aguas frías
Indiana	El incremento máximo total en 24hs no debe superar el máximo diario.	18,3 (excepto cuando pueden ser toleradas temperaturas superiores con niveles de O ₂ elevados)	
Colorado, Idaho, y Montana		21,1	
Massachusetts y South Dakota	2,2	20,0	
New Mexico, North Carolina y Utah	1,1-1,6	21,1	
Maryland		22,2	Para truchas y salmones
Nebraska	2,7	18,3	
Oklahoma	2,7 (siempre que la temperatura máxima resultante no supere 21,1)		
Virginia		21,1	
Tennessee	5,5	20,0	
Wisconsin	2,7	20	

embargo; que la "zona de mezcla" cumpla con ciertos requisitos mínimos, que se detallan a continuación: (45) (46) (47)

- La "zona de mezcla" no debe exceder en ningún caso la distancia de 1,6 km, tomada en cualquier dirección a partir del punto de descarga.
- En ningún punto de la "zona de mezcla" se debe superar el $LT_{50} - 96$ hs., con lo cual se cumpliría que dentro de dicha zona las condiciones no sean inmediatamente letales para la biota.
- La "zona de mezcla" no debe abarcar más del 25% del área de la sección transversal de un curso de agua. Esto se establece con el fin de permitir a los organismos un "pasaje" alrededor del área potencialmente peligrosa. (46)

Las normas presentadas, evidentemente difíciles de interpretar, y aplicar, han sido discutidas por diversos autores (45) (46) (47). Sin embargo, se tienen en cuenta aquí debido a que representan uno de los ejemplos más documentados de legislación referida al problema de descargas térmicas en el medio acuático.

Se tiende a establecer recomendaciones especiales para aquellas aguas pobladas natural o artificialmente por truchas y salmones, lo cual evidencia el interés que despierta este recurso y las mayores exigencias de los salmónidos en cuanto se refiere a las condiciones del medio ambiente.

Se aconseja además, evitar la eliminación de efluentes térmicos en la vecindad de las áreas de desove de los peces de interés y la alteración del ciclo de fluctuaciones naturales estacionales de temperatura que pueden ser importantes para desencadenar fenómenos reproductivos, migratorios, etc. Por último, se recomienda evaluar cada área y problema en el contexto de las condiciones locales.

En base a todo lo expuesto, es probable que la época crítica en cuanto a posibles efectos de la descarga térmica, se restrinja a los meses más cálidos del año, cuando las medias mensuales superan los $15^{\circ}C$. Un aumento moderado de la temperatura en invierno puede incluso beneficiar a los organismos, favoreciendo su crecimiento y producción.

Asimilando criterios desarrollados en otros países, se delimitan dos zonas, a las cuales generalmente se aplican normas diferentes: la "zona de mezcla" contigua a la descarga y el resto del cuerpo de agua.

La "zona de mezcla" debería comprender, y ante la falta de estudios "in-situ", de acuerdo con lo ya establecido, un área que no abarque más del 25% del área de la sección transversal del curso de agua, y que no se extienda más de aproximadamente 1,6 km en cualquier dirección a partir del punto de descarga.

El análisis de los límites de tolerancia y modelos de resistencia térmica sugiere que en los meses del año en que la temperatura del cuerpo de agua es igual o inferior a 15°C, los salmónidos, y por ende los demás peces, podrían sufrir en la "zona de mezcla" incrementos de hasta unos 10°C, sin que se produzca mortalidad significativa por efectos directos de la temperatura.

En cambio, durante los meses cálidos del año, con temperaturas cercanas a los 18-20°C, sólo serían aceptables en la "zona de mezcla" incrementos inferiores a aproximadamente 5°C. Esto no significa que un salto térmico mayor de 5°C en verano, en un sector restringido dentro de la "zona de mezcla" provoque necesariamente la muerte de los peces. Sólo implica que esos incrementos, cuando la temperatura del curso de agua se aproxima a los 20°C, podrían provocar cierto impacto que dependerá de la combinación temperatura-tiempo de exposición sufrida por los organismos.

Es conveniente además, que la temperatura de las aguas no supere en ningún punto a partir de la descarga los 28-29°C; que no se efectúe la descarga en las proximidades de áreas de desove de los organismos de interés, y por último, que se conserven las fluctuaciones estacionales de temperatura en el curso de agua.

En el cuerpo de agua receptor, fuera de la "zona de mezcla", se recomienda, de acuerdo con normas propuestas en otros países (EE.UU.), que el incremento de temperatura provocado por la descarga en cualquier época del año no supere los 2-3°C, con el fin de asegurar el mantenimiento de poblaciones productivas a largo plazo.

4.3.2.3. Transporte, dispersión y disipación

Los mecanismos de transferencia de calor en un curso de agua son complejos y en ellos se pueden diferenciar dos aspectos: un proceso de difusión de calor en el agua y un proceso de transporte de energía del agua al aire.

Existen diferentes métodos para describir matemáticamente el comportamiento térmico de un reservorio de agua sometido a una descarga de energía calórica (32).

Uno de los más utilizados es el que supone un decaimiento exponencial de la temperatura con la distancia en la dirección del flujo de agua. Este método puede ser enfocado por dos caminos diferentes: el método de la onda de calor y el de la temperatura natural (48).

En el primer caso se supone el movimiento de una onda de calor con el agua a partir de una fuente instantánea de energía y que la temperatura es constante en una sección transversal del río.

En el segundo método la variación de la temperatura es función de condiciones meteorológicas (radiación, viento, humedad del aire, evaporación).

Los dos métodos, con pequeñas diferencias, tienden a la siguiente ecuación:

$$T - T_o = (T_m - T_o) \exp - \left(\frac{k x}{\rho C_p V Z} \right) \quad \{8\}$$

donde:

x: es la distancia corriente abajo

T: es la temperatura del río a la distancia x

T_o : es la temperatura del río antes de la liberación de calor

T_m : es la temperatura del río en el lugar de la liberación de calor

k: es el coeficiente de intercambio

ρ : es la densidad del agua ($10^3 \frac{kg}{m^3}$)

C_p : es el calor específico del agua ($10^3 \frac{cal}{kg^\circ C}$)

Z: es la profundidad del río

V: es la velocidad del agua

Con el objeto de estimar la influencia de una descarga de energía calórica originada por una Planta de Agua Pesada en las aguas del río Limay, se consideraron dos condiciones: una estival y otra invernal.

Para esas estaciones se supusieron los siguientes valores:

TABLA 16

Estación	Coefficiente de intercambio (cal/m ³ s°C)	Calor específico del agua (cal/kg°C)	Velocidad x profundidad (m ² /s)
Verano	10	10 ³	6 x 10 ⁻²
Invierno	5	10 ³	1.2 x 10 ⁻²

En la Figura 27 se observa la variación relativa del incremento de la temperatura a diferentes distancias desde la fuente de calor para el verano y el invierno.

La "longitud de uniformidad" se define como la distancia a la cual la temperatura sólo decrece con la distancia río abajo de la fuente. Existen diferentes ecuaciones (49) para su estimación, que generalmente son aplicables a lugares específicos.

Una de las fórmulas más recomendadas para su aplicación es la siguiente:

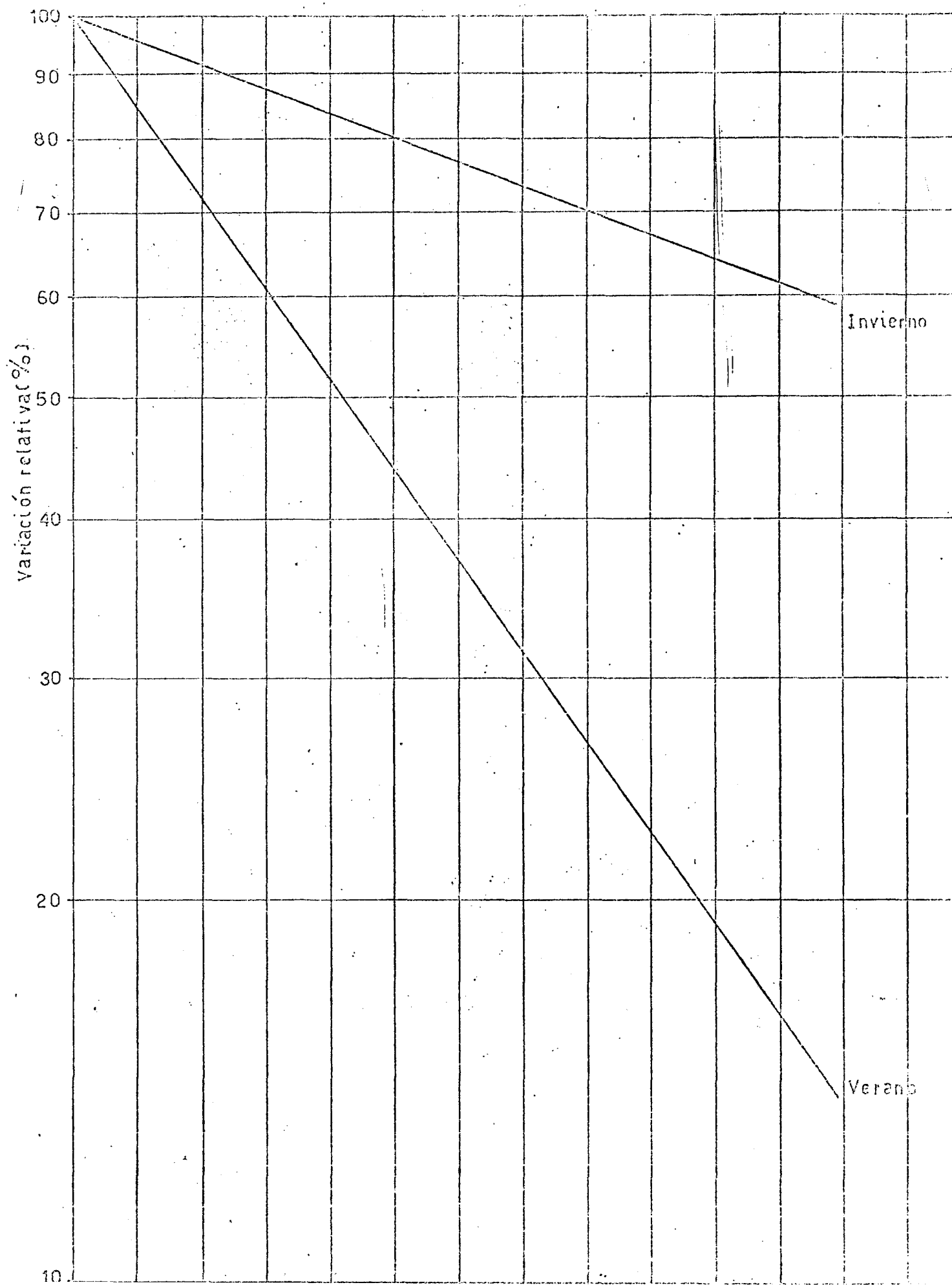
$$L = \frac{0,13 \cdot y^2 \cdot C (0,7C + 6)}{g \cdot Z} \quad \{9\}$$

donde:

- L: es la "longitud de uniformidad" (m)
- y: es el ancho del río (m)
- C: es el coeficiente de Chezy (m^{1/2}/s²)
- g: es la aceleración de la gravedad (cm/s²)
- Z: es la profundidad del río (m)

Utilizando datos del Río Limay y con una hipótesis que deriva en un

de la inversión respecto a la temperatura en la cascarga.



coeficiente de Chezy = $30 \text{ m}^{1/2}/\text{s}^2$ se obtiene una "longitud de uniformidad" igual a 1.000 m.

La Figura 28 incluye el gráfico de una serie temporal de temperaturas del río Limay observadas a al altura de El Chocón para el período 1971-1973 en superficie. La temperatura máxima fue de $21,5^\circ\text{C}$ y la mínima de $3,5^\circ\text{C}$. En el gráfico se observa la variación estacional de la temperatura de este curso de agua. Esa información no representa las fluctuaciones térmicas del agua del río Limay cerca de Arroyito y por otro lado sufriría modificación de concretarse el Embalse Arroyito.

4.3.2.4. Conclusiones

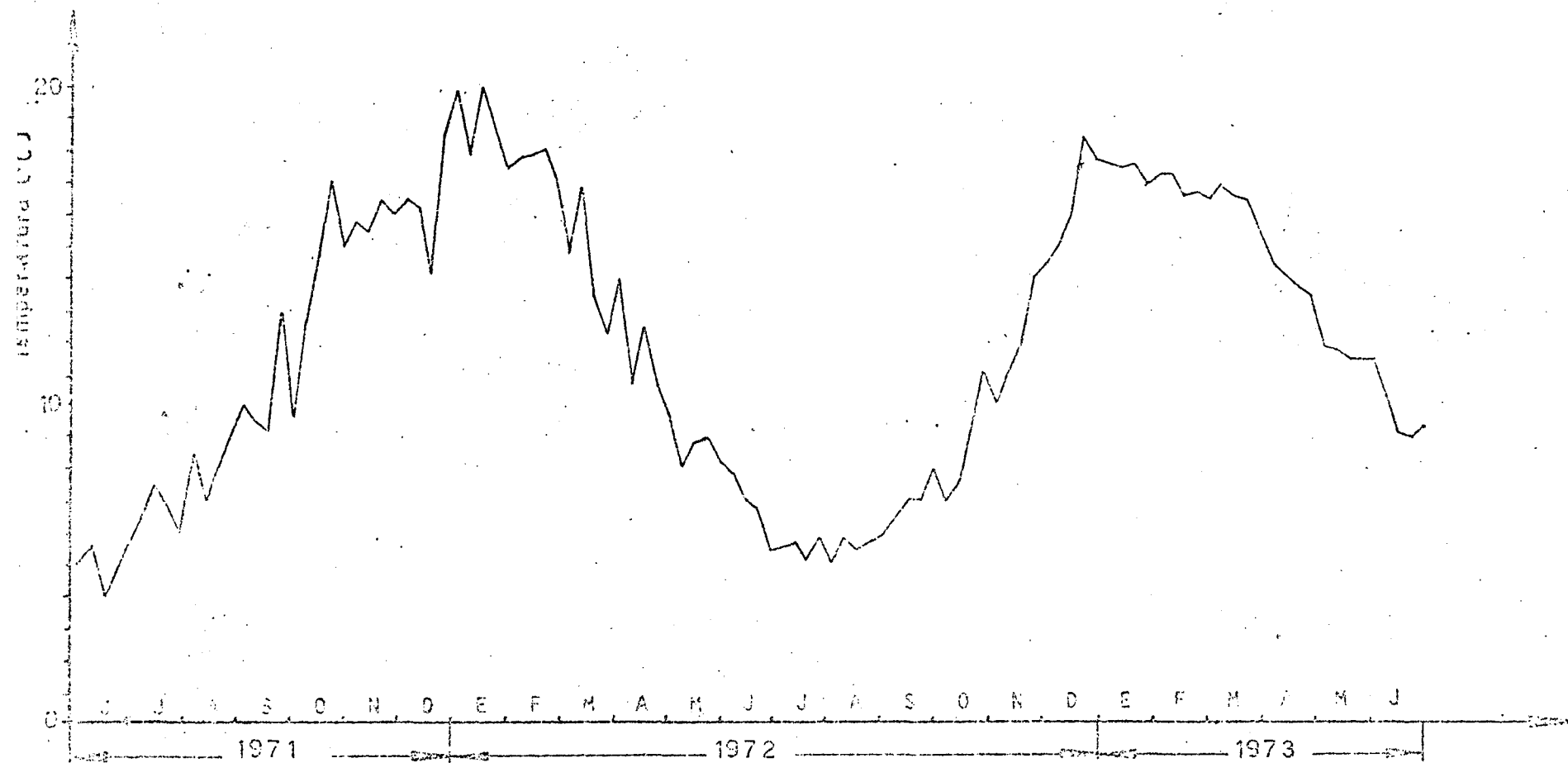
De lo expuesto se infiere que las condiciones de dilución térmica del río Limay varían con la estación del año. La distribución de temperaturas en el sentido de la corriente indica que la transferencia de calor en el cuerpo de agua es mayor en verano que en invierno.

Por otra parte, existe mayor probabilidad de que la descarga térmica cree condiciones adversas para los organismos en verano, cuando las temperaturas naturales están más próximas a los límites de tolerancia térmica de las distintas especies.

En base a la extensión máxima propuesta para la "zona de mezcla" y a la Figura 27, se deduce que un $\Delta T \leq 4^\circ\text{C}$ entre la toma y descarga en superficie del agua refrigerante cumpliría con las normas propuestas durante el verano. Este ΔT podría incrementarse mediante soluciones técnicas, por ejemplo, la toma de agua en profundidad y su descarga en superficie. Este límite, que puede considerarse conservador, se basa en una serie de consideraciones hipotéticas y parámetros extrapolados que han sido mencionados oportunamente.

Figura N°28. VARIACION TEMPORAL DE TEMPERATURAS (Promedios mensuales)

2. RIO LIMAY (CHOCOM) PERIODO 1971-1973



5. EVALUACION DE HIPOTESIS ACCIDENTALES

5.1. GENERALIDADES

5.2. EXPOSICION DE REFERENCIA

5.3. CONSIDERACION DE UN HIPOTETICO
EVENTO ACCIDENTAL

5.4. CONCLUSIONES

5.1. GENERALIDADES

El análisis de las situaciones accidentales de una planta industrial debe demostrar que las Exposiciones (Concentración de un contaminante en el aire integrada en el tiempo) que resultarían de hipotéticos accidentes sean menores que las "Exposiciones de Referencia" (E.R.). Las mismas deberán ser seleccionadas de modo tal que la acción de los contaminantes implique por lo menos el mismo orden de riesgos que los eventos de la vida diaria de la población de la región considerada.

Por otra parte, el riesgo real asociado a un accidente en una instalación industrial es el producto de la probabilidad del accidente considerado por el riesgo de la exposición resultante. Aun cuando es imposible estimar la probabilidad de ocurrencia de estos accidentes, la experiencia demuestra que esta probabilidad en plantas de agua pesada es pequeña.

De esta forma, se desprende que en los casos en que las exposiciones resultantes del accidente sean inferiores a las E.R., el riesgo real es totalmente despreciable y que el emplazamiento, desde el punto de vista de la protección de la salud de la población, debe considerarse aceptable.

Cuando las exposiciones resultantes de la hipótesis accidental superen las E.R., se puede mantener el mismo nivel que el riesgo real si el diseño, las pruebas de sus componentes y los procedimientos de operación de la industria aseguran una baja probabilidad de ocurrencia del accidente.

Dos métodos pueden ser utilizados en el análisis de situaciones accidentales:

- Considerando hipótesis accidentales realistas, consistentes en la suposición de una liberación de contaminantes a la atmósfera, estimando las exposiciones resultantes y comparando estas con la E.R.
- Estimando la emisión accidental máxima permisible mediante la delimitación de un área de protección (dentro de la cual existe el riesgo de sobrepasar la E.R.) con población escasa, y fuera de este área, con población protegida de los efectos causados por los contaminantes.

El primer método sólo puede ser aplicado conociendo detalles del diseño, especificaciones de los componentes y aspectos de la seguridad de la instalación industrial (ver Anexo VIII).

Para la aplicación del segundo método es preciso el establecimiento de la "Exposición de Referencia", la delimitación de una zona tal que dentro de ella la población sea muy reducida y en su exterior la exposición resultante sea inferior a la E.R., la suposición de condiciones meteorológicas "desfavorables" y la estimación de la emisión instantánea máxima permisible como representativa de un accidente. De esto se desprende que el diseño y proyecto de la Planta Industrial deberán contemplar las medidas necesarias para asegurar que el máximo accidente permisible no producirá consecuencias en la salud de la población.

5.2. EXPOSICION DE REFERENCIA

Aun cuando no se cuenta con antecedentes de establecimiento de E.R. respecto de plantas de agua pesada, en base al mecanismo de producción de una instalación de esa especie funcionando por el proceso ácido sulfhídrico-agua, se podría asegurar que en un caso accidental se produciría una inyección de H_2S a la atmósfera.

Un accidente representativo de una refinería de petróleo en Poza Rica, México, que emitió H_2S y otros contaminantes al aire, causó consecuencias graves. (50)

Distintas concentraciones de H_2S en aire, mantenidas durante períodos de tiempo variables, causan efectos diferentes en la salud del hombre. En la Tabla 17 se muestra que para concentraciones de H_2S en aire comprendidas entre 50 y 100 ppm, durante intervalos de tiempo menores que 30 minutos, no existen signos clínicos detectables. Por lo tanto, es posible establecer como la E.R. para el H_2S en aire:

$$1,26 \times 10^8 \frac{\mu g \cdot s}{m^3}$$

TABLA 17

TOXICIDAD DEL ACIDO SULFHDRIICO EN EL HOMBRE 30

Dosis en mg.		0-2 min.	2-15 min.	15-30 min.	30 min.-1 hora	1-4 horas	4-8 horas	8-16 horas
mg.	g.							
50	0,005				Leve corrientivitis			
100	0,010				Irritación del tracto respiratorio			
100	0,010		Acceso de tos. Irritación de ojos. Pérdida del sentido del olfato.	Respiración alterada. Dolor en ojos. Insomnio.	Irritación de garganta.	Descarga de mucosa y saliva, agudo dolor en ojos. Accesos de tos.	Se incrementan los síntomas.	
150	0,015							
150	0,015		Pérdida del sentido del olfato	Irritación de ojos y garganta.	Irritación de ojos y garganta.	Dificultad de respiración. Visión borrosa.	Serios efectos de irritación.	
200	0,020							
250	0,025		Irritación de ojos. Pérdida del sentido del olfato.	Irritación de ojos.	Delirio o secreción de lágrimas. Cansancio.	Catarro nasal. Dolor en ojos. Dificultad de respiración.	Coma o muerte.	
300	0,030							
350	0,035							
400	0,040		Irritación de ojos. Pérdida del sentido del olfato.	Irritación de ojos. Dificultad de respiración. Acceso de tos.	Incremento de irritación de ojos y tracto nasal. Dolor sordo de cabeza. Cansancio.	Desvanecimiento. Debilidad. Incremento de irritación. Muerte.	Muerte.	
450	0,045							
500	0,050	Acceso de tos. Colapso. Pérdida de conocimiento.	Disturbios respiratorios. Irritación de ojos. Colapso.	Seria irritación de ojos. Palpitación de corazón. Pocos casos de muerte.	Severo dolor en ojos y cabeza. Desvanecimiento. Temblor de extremidades. Gran debilidad y muerte.			
550	0,055							
600	0,060							
650	0,065							
700	0,070							
750	0,075							
800	0,080							
850	0,085							
900	0,090							
950	0,095							
1000	0,100							
1050	0,105							
1100	0,110							
1150	0,115							
1200	0,120							
1250	0,125							
1300	0,130							
1350	0,135							
1400	0,140							
1450	0,145							
1500	0,150							
1550	0,155							
1600	0,160							
1650	0,165							
1700	0,170							
1750	0,175							
1800	0,180							
1850	0,185							
1900	0,190							
1950	0,195							
2000	0,200							
2050	0,205							
2100	0,210							
2150	0,215							
2200	0,220							
2250	0,225							
2300	0,230							
2350	0,235							
2400	0,240							
2450	0,245							
2500	0,250							
2550	0,255							
2600	0,260							
2650	0,265							
2700	0,270							
2750	0,275							
2800	0,280							
2850	0,285							
2900	0,290							
2950	0,295							
3000	0,300							
3050	0,305							
3100	0,310							
3150	0,315							
3200	0,320							
3250	0,325							
3300	0,330							
3350	0,335							
3400	0,340							
3450	0,345							
3500	0,350							
3550	0,355							
3600	0,360							
3650	0,365							
3700	0,370							
3750	0,375							
3800	0,380							
3850	0,385							
3900	0,390							
3950	0,395							
4000	0,400							
4050	0,405							
4100	0,410							
4150	0,415							
4200	0,420							
4250	0,425							
4300	0,430							
4350	0,435							
4400	0,440							
4450	0,445							
4500	0,450							
4550	0,455							
4600	0,460							
4650	0,465							
4700	0,470							
4750	0,475							
4800	0,480							
4850	0,485							
4900	0,490							
4950	0,495							
5000	0,500							
5050	0,505							
5100	0,510							
5150	0,515							
5200	0,520							
5250	0,525							
5300	0,530							
5350	0,535							
5400	0,540							
5450	0,545							
5500	0,550							
5550	0,555							
5600	0,560							
5650	0,565							
5700	0,570							
5750	0,575							
5800	0,580							
5850	0,585							
5900	0,590							
5950	0,595							
6000	0,600							
6050	0,605							
6100	0,610							
6150	0,615							
6200	0,620							
6250	0,625							
6300	0,630							
6350	0,635							
6400	0,640							
6450	0,645							
6500	0,650							
6550	0,655							
6600	0,660							
6650	0,665							
6700	0,670							
6750	0,675							
6800	0,680							
6850	0,685							
6900	0,690							
6950	0,695							
7000	0,700							
7050	0,705							
7100	0,710							
7150	0,715							
7200	0,720							
7250	0,725							
7300	0,730							
7350	0,735							
7400	0,740							
7450	0,745							
7500	0,750							
7550	0,755							
7600	0,760							
7650	0,765							
7700	0,770							
7750	0,775							
7800	0,780							
7850	0,785							
7900	0,790							
7950	0,795							
8000	0,800							
8050	0,805							
8100	0,810							
8150	0,815							
8200	0,820							
8250	0,825							
8300	0,830							
8350	0,835							
8400	0,840							
8450	0,845							
8500	0,850							
8550	0,855							
8600	0,860							
8650	0,865							
8700	0,870							
8750	0,875							
8800	0,880							
8850	0,885							
8900	0,890							
8950	0,895							
9000	0,900							
9050	0,905							
9100	0,910							
9150	0,915							
9200	0,920							
9250	0,925							
9300	0,930							
9350	0,935							
9400	0,940							
9450	0,945							
9500	0,950							
9550	0,955							
9600	0,960							
9650	0,965							
9700	0,970							
9750	0,975							
9800	0,980							
9850	0,985							
9900	0,990							
9950	0,995							
10000	1,000							

5.3. CONSIDERACION DE UN HIPOTETICO EVENTO ACCIDENTAL

La distribución de la población alrededor de la zona del futuro emplazamiento de la Planta de Agua Pesada se incluye en la Figura 22. La población urbana más cercana a la ubicación propuesta es Senillosa con 1.077 habitantes, distante 18 km del lugar. De esta forma, se puede establecer un área de protección alrededor del emplazamiento de 18 km de radio, tal que fuera de ella las exposiciones resultantes del eventual accidente no sean superiores a las E.R. ($1,26 \times 10^8 \frac{\mu\text{g s}}{\text{m}^3}$ de H_2S en aire)

Mediante la aplicación de un modelo físico-matemático que describa los procesos de transporte y dispersión de contaminantes en la atmósfera (15), cuya explicación se expuso en el inciso 4.2., se estimó la magnitud de la emisión de H_2S tal que las exposiciones resultantes a 18 km de distancia no superen la E.R. En esta estimación se consideraron las condiciones de estabilidad atmosférica y una velocidad del viento de 1 m/s.

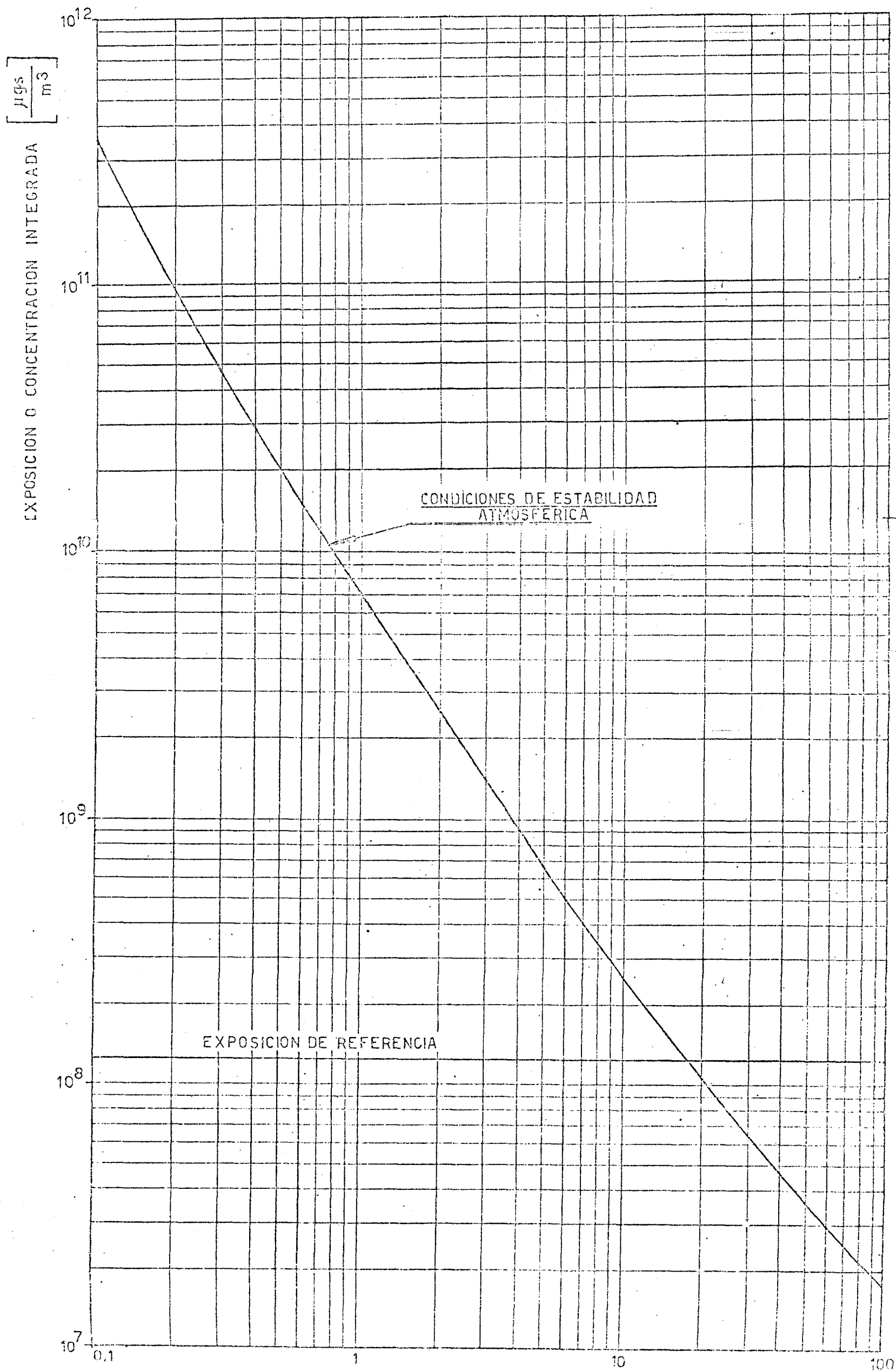
A partir de esta estimación resulta que la emisión instantánea máxima permisible de H_2S a la atmósfera para un accidente es de 10 toneladas. Con la hipótesis de esa liberación de H_2S y con las mismas suposiciones atmosféricas, se estimaron las exposiciones resultantes a diferentes distancias de la emisión. Estas concentraciones integradas están representadas en la Figura 29. En la misma se indica la E.R. considerada.

El valor estimado de la emisión máxima permisible para un eventual accidente es lo suficientemente conservador debido a que habría que incluir en las consideraciones la probabilidad de ocurrencia de la dirección del viento hacia Senillosa, indicada en la Figura 13 (13%) y la probabilidad no conocida de ocurrencia de las condiciones atmosféricas utilizadas.

De acuerdo a lo mostrado en la Figura 29, se desprende que ninguna población urbana cercana a la instalación podría recibir exposiciones superiores a la E.R. En cambio, los pobladores aislados comprendidos dentro de un radio de 18 km del emplazamiento propuesto, podrían estar expuestos "a priori" a exposiciones superiores a las E.R. Sin embargo, el riesgo real de estos pobladores se reduce a partir de la baja probabilidad del accidente y de contramedidas por evacuación o por la administración de específicos. Es necesario

FIGURA N°29

EXPOSICIONES(concentración integrada de H_2S en aire)RESULTANTE DEL
ACCIDENTE A DISTINTAS DISTANCIAS DE LA INSTALACION.



puntualizar que al planificarse contramedidas como las mencionadas, debería realizarse un balance entre el riesgo por contaminación evitado al público y el riesgo inherente a la misma contramedida. Por lo tanto, las contramedidas deberán ser estudiadas detalladamente para cada caso en particular.

5.4. CONCLUSIONES

El análisis de una hipótesis accidental de la Planta de Agua Pesada indica que las diferentes características de ingeniería deberán garantizar que un accidente no libere a la atmósfera una cantidad superior a 10 toneladas de H_2S . De esta manera se asegurará que fuera de un área de radio igual a 18 km alrededor de la planta, las exposiciones resultantes de un eventual accidente no superen la "Exposición de Referencia"

6 CONCLUSIONES FINALES

De los análisis y evaluaciones precedentes surge que, desde el punto de vista de la protección ambiental, la zona del Río Limay es la más recomendable para el emplazamiento de una Planta de Agua Pesada, frente a las demás consideradas (Paraná, Rosario, Atucha, Ensenada y Río Neuquén).

Por otra parte en cuanto a la proposición de la instalación en Arroyito (zona del Río Limay), se extraen las siguientes conclusiones:

- Durante el funcionamiento normal de la planta la contaminación ambiental de origen químico provocada por la misma se mantendrá por debajo de los "límites operativos" seleccionados.
- Un adecuado diseño de ingeniería de proyecto deberá garantizar que la descarga térmica cumpla con los requerimientos propuestos.
- La consideración de un hipotético accidente dio como resultado que si las condiciones de ingeniería de la Planta garantizan una liberación instantánea de 10 toneladas de H_2S al aire, las exposiciones resultantes se mantendrán por debajo de los valores de Referencia considerados.

7. RECOMENDACIONES

Los estudios e investigaciones que se recomiendan a continuación para ser efectuados previamente a la puesta en funcionamiento de la Planta, servirán para evaluar las hipótesis incluídas en este trabajo y planificar el control del medio:

- a) Estudio de la meteorología local con el objeto de conocer la climatología de la dispersión atmosférica.
- b) Selección del método más adecuado para el muestreo y análisis de contaminantes emitidos al ambiente.
- c) Determinación de las concentraciones de contaminantes en el ambiente antes de la puesta en marcha de la Planta, con el objeto de determinar la contaminación de "fondo" en la zona.
- d) Estudio de la cinética de transformación del H_2S en las aguas del Río Limay.
- e) Estudio limnológico de la subcuenca del bajo Limay, estudio de los efectos de los contaminantes y requerimientos térmicos para las especies autóctonas.
- f) Análisis de modelos de transporte, dispersión y disipación de energía calórica en cursos de agua. Aplicación de un modelo adaptado a la situación local.
- g) Planificación del monitoreo ambiental de los contaminantes emitidos durante el funcionamiento de la Planta, en base a la información obtenida de los puntos anteriores.

8 BIBLIOGRAFIA

- 1) CNEA. Estudio de Preinversión - Central Nuclear para la zona del Gran Buenos Aires - Litoral (1965)
- 2) CNEA. Estudio de Preinversión - Central Nuclear para la Provincia de Córdoba (1968)
- 3) Mazzeo, N. y Nicolini, H. Eficiencia de la dispersión atmosférica en la zona de La Plata (Prov. de Bs. As.) Congreso Nacional de Contaminación Ambiental - Rosario (1973)
- 4) Mazzeo, N. y Nicolini, H. Estudio Preliminar de la Contaminación potencial de la atmósfera en la zona de La Plata (Prov. de Bs. As.) IV Congreso Argentino de Saneamiento - Tucumán (Mayo 1974)
- 5) Mazzeo, N., Nicolini M., Moledo L. y Muller C. Estimación en gran escala de la capacidad de dispersión vertical atmosférica en la República Argentina - III Congreso Mundial del Aire Limpio - Dusseldorf (Alemania) (Octubre 1973)
- 6) Servicio Meteorológico Nacional - Estadísticas Meteorológicas 1951 - 1960. Publicación B, N°6 (1969)
- 7) Agua y Energía Eléctrica - Resumen de la estadística hidrológica hasta 1962. (1966)
- 8) INDEC. Censo Nacional de población, familias y viviendas 1970 (1973)
- 9) INDEC. Censo Nacional económico - industria 1963 (1966)
- 10) Secretaría de Estado de Recursos Naturales y Ambiente Humano - Plan de estudio de la contaminación ambiental en el eje fluvial. Rosario-La Plata. Plan Trienal 1973-76
- 11) EPA. "The Health Basis for the Ambient Primary Air Quality Standards for Sulfur Oxides" - Draft (1973)
- 12) NAPCA "Air Quality Criteria for Sulfur Oxides". Publ. N°AP-50 (1969)
- 13) EPA "Effects of Sulfur Oxide in the Atmosphere on Vegetation". "Revised Chapter 5 for Air Quality Criteria for Sulfur Oxides". EPA - R3 - 73 - 030. (1973)
- 14) Mazzeo, N.: Inserción de un modelo de calidad de aire en el control de la contaminación atmosférica. (1° Congreso Latinoamericano de Meteorología. Bs. As. Dic. (1974)

- 15) Pasquill F. "Atmospheric Diffusion". Ed. Van Nostrand (1962)
- 16) USAEC "Meteorology and Atomic Energy". TID-24190 (1968)
- 17) Adelman, I.R. y Smith, L.L., Jr.: "Effect of Hydrogen sulfide on Northern Pike Eggs and Sac Fry". Trans. Am. Fish. Soc. 99:501-509. (1970)
- 18) Bonn, E.W. y Follis, B.J.: "Effects of Hydrogen Sulfide on Channel Catfish, *Ictalurus punctatus*". Trans. Am. Fish. Soc. 96; 31-36 (1967)
- 19) Adelman, I.R. y Smith, L.L., Jr.: "Toxicity of Hydrogen Sulfide to Goldfish (*Carassius auratus*) as influenced by Temperature, Oxygen, and Bioassay. Techniques". J. Fish. Res. Bd. Canadá 29:1309-17 (1972)
- 20) Smith, L.L., Jr. y Oseid, D.M.: "Toxic Effects of Hydrogen Sulfide to Juvenile Fish and Fish Eggs". Proc. Ind. Waste Conf., Purdue Univ.: 739-744. (1971)
- 21) Oseid, D.M. y Smith, L.L., Jr.: "Factors Influencing Acute Toxicity Estimates of Hydrogen Sulfide to Freshwater Invertebrates". Water Res. 8: 739-746 (1974)
- 22) Smith, L.L., Jr. y Oseid, D.M.: "Effects of Hydrogen Sulfide on Fish Eggs and Fry". Water Res. 6: 711-720 (1972)
- 23) IAEA. Clayton, C.G. y Smith D.B.: "A Comparison of Radioisotope Methods for River Flow Measurement". STI/PUB/71 (1963)
- 24) Becker, C.D., Coutant, C.C. y Prentice, E.F.: "Effects of Effluent Discharges on Juvenile Salmonids". BNWL-1550. Vol. 1. Pt. 2. UC-48: 13-16 (1971)
- 25) Fuster de Plaza, M.L.: "Reconocimiento y determinación de las especies de salmones introducidos en el parque Nacional Nahuel Huapi". Publ. Misc. Minist. Agric. y Ganad. 336 (1950)
- 26) "Biological Aspects of Thermal Pollution". Ed. Krenkel, P.A. y Parker, F.L. Vanderbilt Univ. Press. (1969)
- 27) "Environmental Biology". Ed. Altman, P.L. y Dittmer, D.S. Federation of American Societies for Experimental Biology (1966)
- 28) Brett, J.R.: "Thermal Requirements of Fish-Three Decades of Study, 1940-1970". Biological Problems in Water Pollution. Trans. 1959 Seminar, R. A. Taft Sanit. Eng. Center. Rep. N° W 60-3 (1960)

- 29) Coutant, C.C.: "Physiological Considerations of Future Thermal Additions for Aquatic Life". CONF-740944-1 (1974)
- 30) Fry, F.E.J.: "Responses of Vertebrate Poikilotherms to Temperature". Cap. 11 en "Thermobiology". Ed. Rose A.H. Academic Press (1967)
- 31) Mc. Cormick, J.H., Hokanson, K.E.F. y Jones, B.R.: "Effects of Temperature on Growth and Survival of Young Brook Trout, *Salvelinus fontinalis*". Journal Fish. Res. Bd. of Canada 29(8); 1107-1112 (1972)
- 32) IAEA. "Thermal Discharges at Nuclear Power Stations - Their Management and Environmental Impacts". Tech. Rep. Series No. 155 (1974)
- 33) Templeton, W.L. y Coutant, C.C.: "Studies on the Biological Effects of Thermal Discharges from Nuclear Reactors to the Columbia River at Hanford". IAEA-SM-146/33: 591-614 (1971)
- 34) Coutant, C.C.: "Responses of Salmonid Fishes to Acute Thermal Shock". BNWL-1050. pt. 2: 19-26 (1971)
- 35) Frost, W.E. y Brown, M.E.: "The Trout". Ed. Gilmour, J.; Huxley, J.; Davies, M. y Mellanby, K. Great Britain (1973)
- 36) Coutant, C.C.: "Effects on Organisms of Entrainment in Cooling Water: Steps Toward Predictability". Nuclear Safety 12 (6) (1971)
- 37) Schneider, M.S.: "Vulnerability of Juvenile Salmonids to Predation Following Thermal Shock". BNWL-1550 Vol. 1 pt. 2. UC-48: 16-17 (1971)
- 38) Huet, M.: "Tratado de Piscicultura". Ed. Mundi-Prensa. 728p. (1973)
- 39) Ringuelet, R.A.; Aramburu, R.H. y Alonso de Aramburu, A.: "Los peces argentinos de agua dulce". Com. de Investigación Científica. La Plata (1967)
- 40) Brett, J.R.; Shelbourn, J.E. y Shoop, C.T.: "Growth Rate and Body Composition of Fingerling Sockeye Salmon, *Oncorhynchus nerka*, in relation to Temperature and Ration Size". J. Fish Res. Bd. of Canada 26 (9): 2363-93 (1969)
- 41) Clark, J.R.: "Thermal Pollution and Aquatic Life". Scientific American 220 (3). (1969)
- 42) Ghittino, P.: "Piscicoltura e Ittiopatologia". Edizione Rivista di Zootecnia: 43-44 (1969)

- 43) Liebmann, H.: "The Thermal Pollution Capacity of Surface Waters by Discharge of Cooling Water from Nuclear Reactors". AED-CONF-71-100-41. Germany (1971)
- 44) Parker, F.L.: "Thermal Discharges from Power Stations". Atomic Energy Review 11(4): 801-816. (1973)
- 45) USAEC. "Thermal Effects and U.S. Nuclear Power Stations". (1971)
- 46) Mount, D.I.: "Thermal Standards in the United States of América". IAEA SM-146/15: 195-199 (1971)
- 47) Nakatani, R.E.; Miller, D. y Tokar, J.V.: "Thermal Effects and Nuclear Power Stations in the U.S.A.: IAEA-SM-146/30: 561-573 (1971)
- 48) Sweers H.E.: "Two Methods of Measuring the Heat Dissipation of Discharged Cooling Water: A Phenomenological Approach". IAEA STI/Pub/378 - (1975)
- 49) Parker, F.L. "Thermal Discharges from Power Stations". Atomic Energy Review 11 (4) (1973)
- 50) McCabe, L.C. y Clayton, G.D.: "Air Pollution by Hydrogen Sulfide in Poza Rica, México". Arch. of Ind. Hygiene and Occupational Medicine. 6(3): 199-213. (1952)
- 51) Production of Heavy Water. Savannah River and Dana Plant Technical Manual. DP-400 (1959).

INDICE

1.-	INTRODUCCION	1
2.-	EVALUACION COMPARATIVA	3
3.-	CARACTERISTICAS DE LA ZONA DE ARROYITO	33
4.-	EFFECTOS DE LA PLANTA EN FUNCIONAMIENTO NORMAL	36
5.-	EVALUACION DE HIPOTESIS ACCIDENTALES	74
6.-	CONCLUSIONES FINALES	81
7.-	RECOMENDACIONES	82
8.-	BIBLIOGRAFIA	83