

**COMISION NACIONAL DE RIEGO
SECRETARIA EJECUTIVA**

**RECURSOS HIDRICOS
DE
ISLA DE PASCUA**

**ESTUDIO DEL REGADIO DE ISLA DE PASCUA
I ETAPA : ESTUDIO HIDROGEOLOGICO**

INFORME FINAL

ALAMOS Y PERALTA INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

ABRIL 1992

ESTUDIO DEL REGADIO DE ISLA DE PASCUA

I ETAPA: ESTUDIO HIDROGEOLOGICO

I N D I C E

	<u>Página</u>
CONCLUSIONES	1
RECOMENDACIONES	3
1. INTRODUCCION Y OBJETO DEL ESTUDIO	5
1.1 Introducción	5
1.2 Objeto del Estudio	7
2. RECOPIACION Y ANALISIS DE ANTECEDENTES	7
2.1 Informes	7
2.2 Reconocimiento de Terreno	16
3. LEVANTAMIENTO HIDROGEOLOGICO	19
3.1 Geología	20
3.2 Geomorfología	24
3.3 Características Hidrogeológicas de los Materiales	26
4. CATASTRO DE POZOS	29
5. ESTUDIO DE PRECIPITACIONES	33
5.1 Modelo de Infiltración a la Napa Subterránea	35
6. DEFINICION DEL EMBALSE SUBTERRANEO	39
7. CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL EMBALSE SUBTERRANEO	41
7.1 Isoespesor del Acuífero	42
7.2 Isoespesor Saturado del Acuífero	42
7.3 Posición de la Interfase	43

ESTUDIO DEL REGADIO DE ISLA DE PASCUA

I ETAPA: ESTUDIO HIDROGEOLOGICO

I N D I C E

	<u>Página</u>
8. CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL EMBALSE SUBTERRANEO	44
8.1 Aspectos Generales	44
8.2 Pruebas de Bombeo Realizadas	45
8.3 Valores de la Transmisibilidad	49
8.4 El Coeficiente de Almacenamiento	51
9. CARACTERISTICAS DE LA CAPA	53
9.1 Profundidad del Nivel de Saturación	54
9.2 Variación del Nivel de Saturación en el Tiempo	56
9.3 El sentido de Esgurrimiento de las Aguas	61
9.4 Las Características Químicas de las Aguas	62
10. RELACION ACUIFERO MAR	73
10.1 Las Mareas	73
10.2 La Relación de GHYBEN - HERZBERG	75
10.3 Variación del Nivel Estático y Posición de la Interfase	76
10.4 Variación del Nivel Estático como Producto de las Mareas	76
11. FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DEL EMBALSE SUBTERRANEO	83
11.1 Entrada de Aguas al Sistema	84
11.2 Salidas de Aguas del Sistema	85
12. BALANCE CUANTITATIVO	86
12.1 Entradas de Agua	87
12.2 Salidas de Agua	94
12.3 Resumen del Balance	98

ESTUDIO DEL REGADIO DE ISLA DE PASCUA

I ETAPA: ESTUDIO HIDROGEOLOGICO

I N D I C E

	<u>Página</u>
13. MODELO HIDROGEOLOGICO	99
13.1 Condiciones de Borde	100
13.2 Mallaje del Modelo	101
13.3 Datos de Entrada	101
13.4 Procesos de Calibración	105
13.5 Elementos Físicos de Contraste	107
13.6 Programa de Mediciones Futuras	108
14. EMPLEO DEL AGUA SUBTERRANEA	109
14.1 Areas mas promisorias para obtener agua	109
14.2 Pozo tipo para cada área	110
14.3 Características y Condiciones Constructivas	110
14.4 Presupuesto de las Obras	111
14.5 Calidad Química Esperada	113
14.6 Modalidad de Explotación para cada Area o Pozo Tipo	113
15. CRITERIOS DE EXPLOTACION	114
15.1 Explotación Programada y Controlada	114
15.2 Aumento Paulatino de las Extracciones	116
15.3 Sistemas de Vigilancia y Control de Acuífero	116
16. PROCESO DE AJUSTE	118

ANEXO:

- LISTA DE PLANOS

ESTUDIO DEL REGADIO DE ISLA DE PASCUA

I ETAPA: ESTUDIO HIDROGEOLOGICO

LISTA DE PLANOS

- Plano N° 1 de 11 - Mapa Hidrogeológico
- Plano N° 2 de 11 - Corte Hidrogeológico
- Plano N° 3 de 11 - Profundidad del Nivel de Saturación
- Plano N° 4 de 11 - Variación Mensual de Niveles Estáticos
- Plano N° 5 de 11 - Isopiezas
- Plano N° 6 de 11 - Variación Hiperanual de la Conductividad
- Plano N° 7 de 11 - Variación Mensual de Conductividad
- Plano N° 8 de 11 - Variación Mensual de los Caudales Extraídos y La Conductividad.
- Plano N° 9 de 11 - Relación Mareas Variación de Niveles Estáticos
- Plano N° 10 de 11 - Mallaje
- Plano N° 11 de 11 - Zonas Favorables para Captación

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE ISLA DE PASCUA

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La Isla de Pascua en sí, constituye un acuífero volcánico con permeabilidad por fisuración y por cavidades intraformacionales.
- La superficie del embalse subterráneo, tiene por lo tanto una extensión de 166 Km², coincidente con la de la Isla.
- El acuífero corresponde a un caso típico de Isla volcánica, con espesor nulo en los bordes oceánicos y máximo en el centro de la Isla.
- El volumen de agua dulce almacenado en el acuífero está comprendido entre 30 y 150 Millones de m³, suponiendo un espesor saturado medio de 20 metros y coeficiente de almacenamiento de 1% ó 5% en cada caso.
- La profundidad del nivel de saturación del agua subterránea, medidas en metros, tiende a coincidir con la cota del suelo en cada punto de la Isla, porque el nivel de saturación se encuentra muy cercano al nivel del mar. Así por ejemplo, un punto que esté a 200 m.s.n.m., tendrá la profundidad del nivel de saturación cercano a los 200 metros.
- Las cotas absolutas del nivel estático se sitúan entre 0,7 y 2,35 m.s.n.m. para pozos cuya cota de terreno es de 40 y 65 m.s.n.m. respectivamente.
- El espesor máximo estimado de agua dulce en el centro de la Isla es del orden de 100 metros de acuerdo con la relación de Ghyben-Herzberg.
- La cota absoluta del nivel estático, sube hacia el centro de la Isla y es nulo en la costa.

- Los valores de transmisibilidad de los sondeos, son muy altos, y varían entre 25.000 y 50.000 m³/día/m.
- Los caudales que pueden entregar cada sondeo varían entre 30 y 50 l/s. La capacidad máxima queda limitada más bien por la depresión que por la permeabilidad de los materiales. Esta depresión se limita para evitar riesgos de intrusión marina.
- En general, cualquier punto de la Isla es apto para la perforación de sondeos y la extracción de agua subterránea, siempre que sea asequible para las máquinas.
- El sector más vulnerable a la contaminación marina, por explotación de agua subterránea es el sector bajo la cota 50 metros s.n.m. De medio riesgo es el sector comprendido entre 50 y 100 m.s.n.m. Sectores sobre 100 m.s.n.m. son de bajo riesgo de provocar intrusión marina por bombeo. No obstante en estos últimos lugares, la altura de elevación será a su vez mayor de 100 metros.
- La influencia de las mareas es significativa en la oscilación de niveles de saturación del agua subterránea. Mareas de 50 a 60 cm. suelen producir variaciones de niveles cercanos a los 8 a 9 cm., para pozos a menos de 500 m. de la costa. Lo anterior es un índice más de la elevada permeabilidad de los materiales.
- Las variaciones estacionales del nivel estático, son pequeñas. Valores medidos durante un año de observación y correspondiente a 1989, varían entre 0,15 y 0,68 metros. No se observa una ley de variación mensual, debido al régimen de precipitaciones que carece de estacionalidad a efectos prácticos.
- El sentido de escurrimiento de las aguas subterráneas es radial y centrífugo, desde el centro de la Isla hacia el perímetro costero.
- La calidad química de las aguas subterráneas va disminuyendo en relación inversa a la distancia al mar. El contenido de sólidos disueltos disminuye hacia el centro de la Isla.
- Los valores de la conductancia específica de las aguas varían entre 400 y 5.000 micromhos/cm. Estando la mayoría de los pozos entre 1.000 y 2.000 micromhos/cm.

- La tendencia multianual de la conductividad es a una constancia, conclusión que se obtiene de observaciones de casi 5 años. La fluctuación anual puede llegar al 30% en algunos casos pero por lo general no supera el 10% .
- Las aguas subterráneas en general son potables y aptas, en consecuencia, para todos los usos.
- Las entradas de agua subterránea al acuífero, se producen por infiltración directa desde la superficie, en los días en que la precipitación supera a la capacidad de campo. En promedio, esto sucede unos 35 días al año, distribuidos a lo largo de casi todos los meses.
- El volumen medio de ingreso anual es del orden de los 100 Mm³.
- Las salidas se producen en forma casi uniformemente repartida, a lo largo de la costa y en forma subterránea hacia el mar. El volumen de salidas es similar a las entradas.
- El acuífero de la Isla de Pascua está subexplotado. De los 27 sondeos existentes, no se explotan más de 7 y el volumen de extracción anual es de 0,35 Mm³/año. Ello representa un porcentaje de 0,3% del volumen de ingreso anual promedio.

RECOMENDACIONES

- El acuífero, al ser de permeabilidad por fisuración de naturaleza volcánica, es altamente vulnerable a la contaminación, por vertidos de residuos sólidos o líquidos contaminantes en la superficie del suelo.
- Se debe, en consecuencia, establecer un adecuado sistema de vigilancia a la vez que crear conciencia en los habitantes de la Isla para evitar este tipo de contaminaciones.
- Por otra parte, dada la elevada permeabilidad de los materiales, la interfase se encuentra a poca profundidad, debiendo por lo tanto limitarse las depresiones de los sondeos a menos de 1 ó 2 metros según sea el caso.

- De acuerdo con lo anterior, es conveniente que las explotaciones se establezcan hacia el centro de la Isla. Además se recomienda una distribución areal en toda la Isla.
- El conocimiento del funcionamiento hidrológico de la Isla debe ser perfeccionado, básicamente en lo que se refiere a registros de precipitaciones y variables meteorológicas tales como radiación, evaporación, viento y temperatura. Estos registros se deben procurar en diferentes sectores de la Isla, atendiendo a su longitud, latitud y altura.
- Cualquier desarrollo de riego que se pretenda realizar en la Isla, debe tener en cuenta la idiosincracia de sus habitantes, con el objeto de respetar sus propios puntos de vista, a la vez que procurar su interés en nuevas actividades.
- La deforestación de la Isla de Pascua, como resultado de la explotación de sus árboles de Tolomiro, ha causado una serie de trastornos al funcionamiento hidrológico, entre ellos pérdida progresiva del suelo, mediante erosión hídrica y eólica. Esto a su vez ha disminuido la existencia de un colchón retenedor del agua de lluvia, eliminando el proceso de regulación de ésta.
- La cubierta de suelo existente, está hoy en día protegida por una cubierta vegetal de pastos, del tipo de estepa. Un proceso de roturación y aradura de éste, podría provocar su pérdida por erosión eólica en poco tiempo.
- Se recomienda en consecuencia el empleo de sistemas de riego tecnificado, que eviten la remoción de tierras. A menos que sea en lugares en los que se conozca a ciencia cierta la inexistencia de peligros de ese tipo.
- Como todo acuífero, en que se pretenda incrementar su desarrollo, este se debe hacer en forma progresiva, mediante un desarrollo programado y controlado.
- Se requiere además, mantener un sistema de vigilancia permanente del acuífero, en particular en lo que se refiere a medición semanal de los niveles estáticos, control mensual de volúmenes extraídos y medidas asimismo mensuales de la conductividad de las aguas.

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE ISLA DE PASCUA

1. INTRODUCCION Y OBJETO DEL ESTUDIO

1.1 INTRODUCCION

El Supremo Gobierno dentro de las tareas ministeriales, ha encomendado a la Comisión Nacional de Riego, la realización de un estudio hidrogeológico de la Isla de Pascua. Esto se inserta dentro de un estudio más amplio denominado "Estudio del Regadío de Isla de Pascua". Después de un concurso público, esta propuesta fue adjudicada a la Empresa Alamos y Peralta Ingenieros Consultores Limitada.

La Isla de Pascua, enclave chileno en el Océano Pacífico, tiene una superficie de 179 Km² y se encuentra a una distancia de 3.700 Km. al Oeste de la costa continental sudamericana. Corresponde a la Isla más oriental de la Polinesia, a 4.240 kilómetros de Tahiti. La Isla más cercana a ella es Sala y Gómez, la que se ubica a 400 Km. al nordoriente y está deshabitada, principalmente por carecer de recursos de agua superficial. La Isla Pitcairu, situada a 2.200 Km. al noroeste, se encuentra habitada y es la más cercana a la Isla de Pascua, con estas condiciones.

Tiene una población cercana a 2.600 personas, las que en su casi totalidad viven en el pueblo de Hanga Roa, que comprende cerca de 430 hás, y se ubica en el extremo suroeste de la Isla, próximo al Volcán Rano-Kau.

La localidad de Hanga-Roa, cuenta con las comodidades y servicios propios de una población similar de Chile Continental, a saber dispone de Agua Potable, Alumbrado Público y Domiciliario, Iglesia, Escuelas, Hoteles, T.V., Hospital, Aeropuerto, Caminos de Tierra, y Caminos de acceso a los diferentes puntos de la Isla. Además se encuentran representados los diferentes ministerios por medio de oficinas locales. Especial mención merecen SASIPA filial de CORFO, (Sociedad Administradora y de Servicios Isla de Pascua) y CONAF. SASIPA dispone de un fundo de 6.590 hectáreas el que lo dedica a pastoreo de ganado hereford y bramford (cruza de braman con hereford) como también a ganado caballar. CONAF es el encargado de manejar el Parque Nacional de 8.010 hectáreas, que comprende gran parte de los monumentos histórico artísticos, localizados preferentemente en la periferia de la Isla. Si se suma estas superficies a la del Pueblo de Hanga Roa, solo quedan 1.500 hectáreas de las 17.000 de la Isla. De estas 1.500, corresponden 1.000 hás a parcelas agrícolas de particulares, 130 al Aeropuerto de la FACH, 80 a Servicios Públicos y 300 a caminos, sitios arqueológicos, etc.

La empresa SASIPA es además la encargada del abastecimiento de agua potable y de la producción y distribución de energía eléctrica, lo que se hace con una planta termoeléctrica a base de petróleo.

La principal ocupación de la población de Isla de Pascua, es la que se asocia al turismo. En forma directa, a través de la ocupación hotelera y atención en sus casas, en restaurantes, transporte en jeep o a caballo. En forma indirecta, mediante la confección de diversos artículos de artesanía entre los que predominan los collares de concha, tejidos y tallas de madera de miro. Por otra parte, la mayoría de los hombres son pescadores, existiendo una pequeña flota de lanchas para pesca artesanal, pero además una gran parte se provee de pescado, capturándolo directamente. Finalmente, hay un número de personas que trabaja en los diversos servicios públicos de la Isla.

El abastecimiento de ropas, alimentos, medicamentos y artículos de consumo doméstico, proviene de Chile Continental, el cual es transportado hasta la Isla en barco en uno o dos viajes anuales. Se mantiene por lo demás una importante reserva de petróleo y gasolina para abastecimiento del consumo de vehículos, aviones y la planta termoeléctrica.

Se puede decir que no existe escasez de trabajo en la Isla, no registrándose cesantía. Se aprecia en cambio una corriente emigratoria hacia el continente o hacia Tahiti, principalmente por los más jóvenes, quienes buscan otras formas de vida fuera de la Isla.

Un aspecto de destacada importancia, es el que corresponde a lo que se puede llamar "Cultura Pascuense", la que se aprecia en todo momento, desde la llegada al Aeropuerto. Rápidamente se toma conciencia de encontrarse en un lugar diferente, con costumbres, idioma e idiosincracia particulares, las que en nada coinciden con nuestra cultura occidental.

Desde el punto de vista que nos ocupa, esto es importante en la medida en que, si se pretende implantar regadío en la Isla, se requiere de un lento proceso de mentalización, si se quiere llevar adelante, puesto que ellos no están familiarizados con el tema, y por otra parte no sienten necesidades apremiantes que les impulse a buscar un modo de vida más rentable o diferente.

De hecho, en la Isla crecen en forma silvestre, una serie de plantas frutales, tales como higueras, plátanos, piñas, guayabos y otros. No obstante, los isleños no se dedican en forma intensa al cultivo de éstos frutales. Entre otras cosas no las necesitan porque les llega fruta del continente y la producción nativa les alcanza. De allí que un programa de riego, deba contemplar como un factor importante el aspec-

to cultural.

1.2 OBJETO DEL ESTUDIO

El estudio que se efectúa, tiene por objeto, determinar las condiciones de existencia del agua subterránea y sus posibilidades de aprovechamiento con miras a un posible regadío, en zonas seleccionadas de la Isla de Pascua.

En particular se requiere conocer:

- Volúmenes posibles de extraer con seguridad adecuada, mensual y anualmente.
- Lugares más propicios para efectuar captaciones.
- Características de las captaciones, a saber diámetros y profundidades.
- Criterios de Explotación, preservando la calidad del agua subterránea.
- Sistemas de monitoreo y control.

2. RECOPIACION Y ANALISIS DE ANTECEDENTES

2.1 INFORMES

A continuación se entrega un resumen de una serie de informes analizados y un comentario breve de su contenido.

2.1.1 Prospección Hidrogeológica de la Isla de Pascua

Este trabajo fue realizado entre los años 1963 y 1967, por el Departamento de Recursos Hidráulicos de CORFO, en ése entonces denominado Sección Aguas Subterráneas. El estudio consistió en un reconocimiento general de la Isla, desde el punto de vista de la posible obtención de agua subterránea; en la construcción de un total de 26 sondeos con profundidad comprendida entre 7 y 102 metros, y con análisis de las características químicas del agua. El Ingeniero encargado de este proyecto fue el señor Fernando Alamos Cerda. No existe ningún informe publicado al respecto, que contenga el detalle del trabajo realizado, como las conclusiones obtenidas, sólo existe el catastro de pozos como tal. El resto de la información y experiencia obtenida, se encuentra en notas de tra-

bajo de borrador en poder del Ingeniero Alamos Cerda, como en el bagaje de conocimientos por él adquiridos durante la etapa de investigación.

El empleo de estos datos corresponde al inventario de pozos con sus características constructivas, de producción y calidad química de las aguas. Asimismo se vertirá la concepción sobre las condiciones de existencia del agua subterránea en la Isla y los criterios de explotación, sobre la base de la experiencia adquirida en esos años.

2.1.2 Proyecto de Racionalización, Mejoramiento y Ampliación de la Red de Agua Potable, Pozos de Captación y Estanques Acumuladores Hanga Roa - Isla de Pascua - Fernando Alamos Cerda - Febrero 1979

Este estudio contiene los siguientes aspectos que se emplearán en el trabajo propuesto.

- Recursos de Aguas Superficiales y Subterráneas
- Pozos Profundos, Fluctuaciones del Nivel Estático
- Calidad de las Aguas, Físico-Químico y Bacteriológico
- Anteproyecto de Captación, Regulación y Distribución

De ello se aprovechará todos los antecedentes antes descritos, en particular las fluctuaciones del nivel estático, calidad química de las aguas, funcionamiento del acuífero y criterios de ubicación de sondeos, como también criterios de explotación de la misma.

El informe comprende 69 páginas, 8 tablas, 3 anexos, 4 gráficos y dos planos.

Las Tablas son las siguientes:

- Registro de Pozos Profundos
- Análisis Bacteriológico de Agua Subterránea
- Listado Físico Químico de Agua Subterránea
- Listado y Características de Motobombas Existentes
- Empalmes de Agua Potable por Sector
- Tasa Anual de Crecimiento Demográfico

- Población Futura
- Consumos futuros de agua en Hanga Roa

Los Anexos incluyen:

- Contrato - Análisis Físico-Químico - Equipo Sondeo

Los Gráficos contienen:

- Oscilación del N.E. en Pozo N° 10 en correlación con Mareas.
- Oscilación del N.E. en Pozos N° 10 y 11 en correlación con Mareas.
- Oscilación del N.E. en Pozo N° 21 en correlación con Mareas.
- Población Futura

Los Planos contienen:

- Ubicación de Pozos Profundos
- Red de Agua Potable de Hanga Roa

2.1.3 Situación Energética Isla de Pascua - Comisión Nacional de Energía - 1982

Los antecedentes más importantes de este estudio y que serán empleados en el trabajo que se propone se refieren a:

- Registro de Temperaturas
- Registros de Humedad Relativa
- Registros de Precipitaciones entre 1970 y 1979
- Registro de Dirección y Magnitud de Vientos
- Radiación Solar

Todos estos datos, serán analizados, en el estudio hidrogeológico, en particular en el ítem infiltraciones por agua de lluvia. Dado que se deberá restar de la precipitación la evapotranspiración correspondiente.

2.1.4 Tablas de Mareas Instituto Geográfico de la Armada

Se refiere a un punto de control que posee en Hanga Piko, y el registro comprende la fluctuación diaria de mareas en un registro suficientemente extenso para los fines perseguidos en este estudio.

Su empleo se relaciona con la posición de la interfase y su zona de difusión, según se detallará más adelante en el capítulo correspondiente a la relación Acuífero - Mar.

2.1.5 Diagnóstico del Servicio de Agua Potable de Hanga Roa - Isla de Pascua ICSA para CORFO Abril 1975

Este estudio hace un detallado análisis y diagnóstico de la situación del servicio de Agua Potable de la Isla de Pascua, a esa fecha.

Aparte de los antecedentes propios del servicio en cuanto a su funcionamiento, caudales bombeados, red de distribución, etc., contiene un interesante dato sobre la variación de la salinidad del agua subterránea, en relación con el caudal bombeado en el sondeo P-21. Agrega 3 análisis químicos de fecha 17-2-75 y entrega criterios de depresión máximas admisibles para evitar peligros de intrusión.

Todo lo anterior será empleado en el capítulo correspondiente a hidrogeología en el estudio que se propone, en particular en la relación acuífero - mar, criterios de explotación y concepción general del funcionamiento del sistema acuífero de la Isla de Pascua.

2.1.6 Detección de Fugas Red de Agua Potable Isla de Pascua. R y Q Ingenieros Ltda. Dic. 1982.

Se trata de un trabajo especializado en el cual se empleó un instrumento diseñado para detección de fugas en redes de Agua Potable.

Los resultados que se obtuvieron son concordantes con los análisis efectuados con anterioridad por nuestra empresa consultora.

El empleo que se dará a estos resultados se refiere al balance de entradas y salidas de agua al acuífero, en que uno de los parámetros de entrada de agua corresponde a las pérdidas en la red de Agua Potable.

2.1.7 Labor Realizada años 1981 - 1983, Programa 1983. Alamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda. Abril 1983

Es un informe de 76 páginas, 1 anexo y 2 planos, contiene un registro de volúmenes explotado por los pozos N° 7, 21 y 25 a nivel mensual. Un análisis del funcionamiento de dichos pozos y proposiciones para su mejoramiento de las captaciones, un estudio hidrogeológico para emplazamiento de dos nuevos sondeos y proyecto de construcción. Además se agregan datos de calidad química para los pozos de la referencia y el pozo N° 2 para los años 81, 82 y 83.

El empleo de estos datos será en el capítulo correspondiente de hidrogeología, ya que proporciona datos históricos sobre niveles, volúmenes bombeados y calidad química de las aguas.

2.1.8 Labor Realizada en 1984 - Servicio de Agua Potable. Alamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda. Marzo 1985

Es un informe de 62 páginas, plano con red de agua potable y anexo con registro de consumos.

Se da cuenta de la explotación del embalse subterráneo durante 1984, con destino a abastecimiento, siendo el mayoritario en la Isla, se incluye un registro mensual de volúmenes bombeados por cada pozo. También se analiza la situación del abastecimiento al Fundo de CORFO.

Durante ese año se perforaron cuatro pozos, tres de los cuales resultaron improductivos por razones de construcción, se producen fácilmente desvios por dureza de la roca a perforar.

El pozo con éxito corresponde al N° 27, del cual se dispone de prueba de bombeo y registro de conductividad durante la prueba.

Se efectuó además limpieza, desarrollo y prueba de bombeo de un pozo en la estación de riego.

Se incluye análisis químico de aniones y cationes para los pozos 25, 21 y 7 y una medición en terreno de la conductividad de los mismos.

Toda esta información será empleada en el estudio hidrogeológico de la Isla. Los datos de perforación en las características geométricas, las pruebas de bombeo en las caracte-

terísticas hidráulicas; los datos de calidad química en las características químicas de la napa y el registro de volúmenes extraídos en el balance y funcionamiento del acuífero. Además todo servirá para analizar las relaciones acuífero - mar. Del mismo modo se incluye una determinación de pérdidas en la red, las que serán usadas en el estudio del balance. Se dispone además de los consumos de energía mensual por cada pozo.

2.1.9 Labor Realizada en 1985 - Servicio de Agua Potable. Alamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda. Marzo 1986

Este informe consta de 41 páginas. Tiene como objetivo analizar el funcionamiento de los pozos, como la conducción y distribución de agua potable. Hace un diagnóstico de las condiciones hidrogeológicas del sector, y propone un programa de trabajo para el año 1986.

Incluye una serie de datos de interés hidrogeológico y que son:

- Registro mensual de volúmenes extraídos por cada pozo.
- Catastro de bombas de pozo profundo en la Isla con sus características, ubicación y uso.
- Registro de Variación mensual discontinua del total de sólidos disueltos de las aguas de los sondeos 7, 25 y 21 entre los años 1967 y 1983.
- Estudio de Pérdidas en la red de Agua Potable.

2.1.10 Labor Realizada en 1986 - Servicio de Agua Potable. Alamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda. Marzo 1987

Es un informe de 31 páginas y un anexo de 40 páginas. Se analiza el comportamiento de los pozos, volúmenes mensuales producidos, volúmenes mensuales de pérdidas y análisis del sistema de regulación y distribución de las aguas.

Este año se hizo la habilitación del pozo 27, efectuándose una prueba de bombeo en él y medición de conductividad.

Se incluye además un registro de conductividad mensual de cada uno de los pozos en explotación a saber los N^{os} 7, 21 y 25. Labor sistemática que comenzó en Julio de 1985 y que se mantiene hasta el día de hoy.

Todos estos antecedentes serán usados en el capítulo de hidrogeología correspondiente del mismo modo que se ha descrito en los puntos anteriores.

Además se efectuó un control del funcionamiento del pozo del Fundo Vaitea.

2.1.11 Labor Realizada en 1987 - Servicio de Agua Potable. Alamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda. Abril 1988

Es un informe de 28 páginas con el mismo contenido de los anteriores.

Se mantiene el registro mensual de los volúmenes extraídos en los sondeos 7, 21, 25 y 27 de reciente habilitación.

El control mensual de calidad química de estos 4 pozos abarca desde Mayo a Diciembre.

El control de pérdidas en la red, también se encuentra a nivel mensual.

Se incluye también un diagnóstico del funcionamiento de cada sondeo, incluyendo el del Fundo Vaitea.

2.1.12 Informe de Habilitación. Desarrollo y Prueba de Bombeo en Pozo Nº 23 del Fundo Vaitea. (Archivo Interno Alamos y Peralta Ingenieros Consultores Limitada) Sept. 1981

Se dispone del registro de niveles y caudales. La duración de la prueba fue de 9,5 horas y contiene datos de niveles y recuperación. Este dato se empleará en el estudio hidrogeológico para conocer los valores de Transmisibilidad en un punto del acuífero.

2.1.13 Una Alternativa para Abastecimiento de Agua para Hanga Roa - Isla de Pascua - Chile. Arturo Hauser Y. 1986

El estudio consta de 14 páginas y en el se incluye un análisis de precipitaciones, las características geológicas de la Isla y las condiciones topográficas. Propone la explotación del cráter del Volcán Rano-Kau, por medio de drenes radiales y elementos anexos.

Este informe será empleado en todos sus aspectos pero básicamente en la descripción geológica, geomorfológica de la Isla y riesgo volcánico, incorporados al capítulo correspondiente al levantamiento hidrogeológico.

2.1.14 Resumen - Proposición de Proyecto de Riego en la Isla de Pascua. M. Acuña y C. Román B. - Sept. 1987

Trabajos realizados por la Dirección Regional de Riego V Región y SERPLAC V Región; consta de 20 páginas y hace una descripción de las características de suelo, clima, geológicas, transporte, historia del desarrollo agrícola de la Isla y propone un plan de trabajo para desarrollar el sector riego en la Isla. En particular, este estudio, se empleará en la descripción geológica efectuada, la que se basa en el trabajo de los geólogos señores D. González F. y Bunnister Potts (1981).

Se analizarán además ambos estudios rescatando de ello todo lo que haga referencia a la litología, geomorfología, estructura y tectónica de la Isla y que tenga importancia desde el punto de vista hidrogeológico. Ello dará luces tanto para el levantamiento hidrogeológico que se promete, como para el funcionamiento hidráulico del sistema acuífero.

2.1.15 Informe Preliminar - Posibilidades de Regadío en Isla de Pascua Y Región. M.O.P. Dirección de Riego - Junio 1984

Es un informe cuyo contenido se ajusta al título del informe consta de 26 páginas y 7 anexos.

Lo más interesante desde nuestro punto de vista, corresponde al anexo A sobre Recursos Acuíferos; el anexo B sobre Clasificación de Suelos de la Isla; el anexo C sobre Génesis y Mineralogía de los Suelos de la Isla.

Todos ellos serán empleados por una parte en el estudio hidrológico y después en el Balance para determinar la capacidad de retención del suelo y así tener un punto de referencia en el cálculo de las infiltraciones por agua de lluvia.

2.1.16 Mapa Hidrogeológico Nacional. M.O.P. - D.G.A. Dic. 1986

Este documento describe en forma breve, las principales condiciones de existencia del agua subterránea en la Isla de Pascua, asimilando el conjunto de la Isla a una formación rocosa de lavas porosas del cuaternario. Aparte de ello se encuentra en la D.G.A. los antecedentes para la confección del mapa hidrogeológico a escala 1:1.000.000, el cual incluirá la Isla de Pascua. Aunque la escala es muy diferente a la del estudio que se ofrece se tendrá en cuenta como punto de referencia en el levantamiento Hidrogeológico.

- 2.1.17 Análisis Crítico de la Red de Medición de Niveles de Agua Subterránea. V Región D.G.A. Alamos y Peralta Ingenieros Consultores Limitada. Dic. 1987.

El estudio consta de 10 tomos de un total de 2.000 páginas y 100 planos. En el se describe y analiza la red piezométrica actual y la red de calidad química, y se propone una nueva red para todo el país. Dentro de un tomo se encuentra la V Región y ésta incluye la cuenca 056 denominada Islas del Pacífico. Entrega una recopilación de los Análisis Químicos de Agua en la Isla y el catastro de Pozos correspondiente, será empleado en el estudio hidrogeológico en los capítulos correspondientes a las materias citadas.

- 2.1.18 Análisis de la Capacidad de Soporte de los Pavimentos del Aeropuerto Mataverí en Isla de Pascua. M.O.P. Dirección de Aeropuertos. Guillermo Noguera y Asociados. Eptisa Chile Limitada - Alamos y Peralta Ingenieros Consultores Limitada. Dic. 1984.

Este informe consta de 2 tomos con 500 páginas en total, el primero es el texto y el segundo Anexos. El objeto es calcular la capacidad de soporte de la pista existente a la fecha y proposición de modificaciones para su refuerzo y buen funcionamiento. Dentro de ella se incluyeron un estudio hidrogeológico y otro hidrogeológico del sector de la Pista. Para ello se analizó la precipitación de la Isla para el período 1943 - 1983 en particular las máximas en 24 horas a nivel mensual, con ello se construyó las curvas IDF para períodos de recurrencia de 5 y 10 años. En cuanto al agua subterránea se revisaron los registros de pozos y niveles de alrededor de 30 pozos y norias en la Isla con el objeto de tener una visión general de los recursos hídricos subterráneos y su empleo. En particular en el sector del Aeropuerto se perforaron 11 piezómetros. Incluye además un estudio de evacuación de aguas lluvias y el proyecto de los drenes de evacuación de estas.

Los antecedentes serán empleados en el capítulo correspondiente a hidrología; como también en el tema de la infiltración pues provee de descripciones litológicas en los 11 piezómetros y en once calicatas para determinar tipo de material del subsuelo.

- 2.1.19 Asesoría para la Construcción de la Prolongación del Aeropuerto, incluyendo terraplén, base y pavimento de rodado. D.A.P. - NASA - 1986 - 1987

La experiencia que se rescata de este trabajo, corresponde al reconocimiento de canteras efectuado por EPTISA CHILE LTDA., en la persona del señor Freddy Estaño, quien ahora forma

parte del equipo propuesto. Este técnico, tiene conocimiento de la Isla, en cuanto a la prospección y ubicación de materiales para la obra del Aeropuerto. Para ello debieron reconocerse toda la Isla, diferenciando los diferentes materiales tanto para la base del terraplén, como los agregados pétreos para la fabricación del asfalto.

Ese conocimiento, será empleado para la confección del catastro de pozos y norias de la Isla y su experiencia será particularmente importante en los apoyos logísticos para este trabajo en la Isla.

2.1.20 Asesoría Permanente desde el año 1978 a la fecha en el Abastecimiento de Agua Potable.

Esta labor ha sido realizada por la Empresa ALAMOS Y PERALTA Ingenieros Consultores Ltda. Gran parte de los datos, antecedentes y conocimientos se encuentran vertidos en la descripción de los informes anuales en puntos anteriores, sin embargo, hay una cantidad de conocimientos tanto hidrológicos, como hidrogeológicos y de terreno que se encuentran en la experiencia de la empresa, y en material de borrador que forman parte de su archivo y de su Know-How. Todo ello será empleado en los diferentes capítulos que abarca el estudio, en particular con la participación del Ingeniero Fernando Alamos Cerda en su calidad de Jefe de Proyecto. Al respecto cabe citar que en estos diez años se ha realizado como mínimo un viaje al año, con estancia cercana a los diez días cada vez. Se ha controlado el funcionamiento de los sondeos, y se ha tomado contacto con las condiciones de terreno tanto físicas como laborales y sociales, aspectos de particular importancia en la Isla, ello será particularmente útil en la proposición de trabajos futuros y su metodología de realización.

2.2 RECONOCIMIENTO DE TERRENO

A parte del análisis de los informes antes reseñados, los cuales seguirán empleándose en el futuro para las etapas venideras, se hizo un exhaustivo reconocimiento hidrogeológico de la Isla. Este se llevo a cabo en dos partes a saber: manifestaciones de existencia de agua, y levantamiento hidrogeológico de las diferentes formaciones acuíferas.

2.2.1 Manifestaciones de la Existencia de Agua Subterránea

Existe un total de 27 sondeos mecánicos, cuyos datos se incluyen en el inventario de puntos de agua. Por otra parte, los isleños conocen una serie de salidas de agua dulce al mar en diferentes puntos de la Isla, por desgracia la mayoría de

estos puntos no son apreciables a simple vista, debido a que se encuentran en parte cubiertos por las mareas; solo es posible detectarlos con bajas mareas.

Antiguamente, existieron una serie de norias, próximo a la costa, pero localizadas en el continente, estas fueron empleadas por la Compañía Williamson Balfour, para obtención de bebida de animales, lo cual constituía la principal actividad de la mencionada empresa.

La única noria que aún puede verse, aunque en ruinas es la de VAI-HU; sin embargo, está tapada. Siguiendo por la costa hasta HOTU-ITI, se pudo ver algunos restos de norias en ruinas sin poder medir el nivel del agua, ni tampoco su conductividad. Asimismo se reconocieron estas en dos sitios cercanos a La Perouse. Aparentemente, existió una iniciativa de hacer desaparecer tales manifestaciones, con el objeto de evitar el merodeo innecesario de personas en sitios de interés arqueológico, debido al celo funcionario de quienes deben cuidar del Parque Nacional.

Se trató de localizar vertientes, en toda la Isla, pero no existen, salvo las siguientes excepciones que son: En las inmediaciones de La Perouse y Ovahe, existen dos muros verticales de piedra, precedidos de una zanja en plano inclinado, las que sirven para coleccionar agua continental antes de que se vacíe al mar, no obstante las cantidades de agua en circulación son muy escasas y no pueden medirse.

Estas manifestaciones de agua, en pozos o vertientes reciben el nombre de VAI al que se le agrega otro nombre del lugar, así el vocablo pascuense VAI, significa agua. Ejemplo de estos casos son VAI-HU, Vaitea, Etc.

Existe además otra serie de manifestaciones de agua, no propiamente subterránea en sectores a media falda, y que corresponden a aguas lluvias interceptadas en bloques de lava semihorizontales o impermeables. Algunas veces esta agua proviene de infiltraciones desde el área superior inmediatamente circundante. Estos sitios reciben el nombre local de Taheva. Estos Taheva, muchas veces se encuentran tapados con piedras grandes, para pasar inadvertidos. En la actualidad, quien no conoce estos sitios puede pasar sobre ellos sin darse cuenta, su conocimiento está solo en poder de algunos isleños. Del mismo modo hay otras manifestaciones del agua, que se desconocen porque los concedores han muerto sin revelar el secreto. Esto pone de manifiesto la importancia que para la supervivencia humana, otorgaban los nativos de la Isla al conocimiento de tales "tesoros".

Otra manifestación de vertientes se asocian al cráter del Volcán Rano-Aroi, el cual forma un embale de aguas lluvias,

que descargaba naturalmente por una quebrada, donde el agua posteriormente se infiltraba.

Actualmente, el predio VAITEA de CORFO, hizo una pequeña presa a la salida para regular sus caudales, los que se aprovechan para bebida de animales mediante tuberías. Del mismo modo los volcanes Rano Raraku y Rano-Kau, presentan lagunas de agua dulce en el fondo, formadas por acumulación de agua de lluvia. Estas aguas eran empleadas también por los isleños antiguamente para satisfacer sus necesidades básicas.

En la actualidad, tanto el conocimiento de la ubicación de las manifestaciones de agua, como el uso de éstas se ha perdido, debido a que la población se ha concentrado en el pueblo de Hanga-Roa, donde se dispone de agua potable domiciliaria, proveniente de un sistema central que se basa en la explotación de 4 pozos profundos.

2.2.2 Manifestaciones Hidrogeológicas de los Materiales

Este aspecto es muy importante y constituye una de las bases en las cuales se desarrollarán los capítulos futuros. Durante el recorrido se analizó y discutió intensamente en terreno sobre las aptitudes acuíferas de los materiales.

En primer lugar, existen varios hechos claros que son de fácil observación y que se refieren a:

- La inexistencia de cauces superficiales permanentes o semipermanentes a pesar de la elevada precipitación y su constancia en el tiempo.
- La existencia de agua subterránea en casi todos los sondeos que se han perforado en la Isla, unido a la elevada transmisibilidad y alto caudal específico.

En segundo lugar, se puede detectar la existencia de hondonadas, de cierta magnitud, tales como una al lado de Rano-Aroi, en Orito, en Tararaina y otras a lo largo y ancho de toda la Isla, las que funcionan como verdaderos sumideros de agua, especialmente en los días de alta precipitación.

En tercer lugar, se visitaron una serie de cavernas en diferentes sitios de la Isla, pero principalmente las que se localizan entre Hanga-Roa, Ahu-Akivi y el manto suroeste del Volcán Terevaka, en ellas se pudo apreciar claramente dos procesos, uno el de la infiltración y otro de la saturación. En casi todas las cavernas se constató la existencia de

filtraciones desde la superficie, a través de los planos de diaclasas de las diferentes capas volcánicas. Por otra parte en algunas de ellas se pudo ver el nivel de saturación coincidente o no con el nivel regional. Estas cavernas son las típicas de las formaciones volcánicas y corresponden a bolsones de aire que han quedado atrapados durante el proceso de erupción y enfriamiento de la lava volcánica. Desde el punto de vista de la belleza natural son imponentes y dignos de incorporarse a los atractivos turísticos de la Isla. Como un ejemplo especial, vale la pena señalar la cueva Hanga Kai Tanaka, que significa cueva como hombres, o de los caníbales. Allí se encuentran en sus muros pinturas rupestres muy antiguas las que están en proceso de restauración. De paso se indica que la palabra Hanga, en pascuense quiere decir cueva. Estas cuevas se encuentran a lo largo y ancho de toda la Isla.

3. LEVANTAMIENTO HIDROGEOLOGICO

Este se realizó sobre la base de los estudio geológicos existentes, y el reconocimiento hidrogeológico de terreno llevado a cabo recientemente.

Consta de tres aspectos a saber:

- Geología
- Geomorfología
- Características Hidrogeológicas de los Materiales.

La Geología, describe los diferentes materiales que se encuentran en la isla, su historia geológica y su disposición estructural.

La Geomorfología diferencia los distintos tipos de materiales de acuerdo con su forma y pendiente, y ellos se encuentran representados en plano que se adjunta.

Las Características Hidrogeológicas, tratan de definir la aptitud acuífera de los materiales desde dos aspectos a saber: La parte superficial en cuanto a sus condiciones para favorecer la infiltración del agua de lluvia, y la geología de subsuperficie en lo que tiene relación con la capacidad de almacenar y transmitir agua.

3.1 GEOLOGIA

La Isla de Pascua está situada a 3700 Kms. al oeste de la costa de Chile. Corresponde a una Isla volcánica de tipo oceánico, construida sobre tres centros eruptivos fisurales importantes: los volcanes Poike, Rano Kau y Terevaka.

Estos tres centros volcánicos se disponen de forma tal que controlan, además, la morfología triangular de la Isla (Figura N° 1). Los rasgos morfológicos se conservan muy bien, dada la edad de los depósitos: Plioceno-Pleistoceno a Holoceno, no alcanzándose a modelar una red de drenaje más o menos definida ni una erosión fluvial importante.

La composición química global de las lavas que forman la Isla de Pascua pertenece a la serie de las toleitas a toleitas olivínicas. Esta serie grada a tipos diferenciados de hawaiitas (un tipo de andesitas con muy poco olivino y augita visibles), mugaritas, benmoeritas, tranquilas y riolitas. Esta serie es en muchos sentidos transicional entre la toleítica y la alcalina y es muy característica de las que ocurren cerca de zonas de expansión de la corteza marina (dorsales).

Los centros volcánicos principales poseen características geológicas muy distintivas. En lo que sigue, se describirá cada uno de ellos. (Ver Mapa Geológico adjunto).

3.1.1 Volcán Poike

El primer vértice de la Isla de Pascua lo constituye el Volcán Poike, centro volcánico construido a partir de la superposición de múltiples flujos laminares de lava, principalmente de composición basáltica y hawaiítica. La erosión marina y la existencia de acantilados, permite diferenciar en él cerca de 50 flujos de lava diferentes.

Hacia el flanco norte del volcán se encuentran tres domos de lavas afaníticas de composición tranquílica alineados en dirección NS.

En este mismo flanco se encuentra, además, un conjunto de lavas muy porfídicas, ricas en plagioclasas con pequeños fenocristales de olivinos y clinoproxenos, que contrastan notablemente con las lavas afaníticas descritas anteriormente y con aquellas de la parte suroccidental del Poike. Consideraciones geológicas llevan a concluir que estas son las lavas más antiguas expuestas en la Isla. Dataciones radiométricas en una de estas lavas determinan una edad de tres millones de años (Baker et al, 1974).

Un rasgo morfológico importante, que revela la evolución del

volcán Poike, es la existencia de un acantilado tierras adentro. Este acantilado se encuentra "taponeado" por sucesivas coladas provenientes de erupciones de los centros volcánicos parásitos del volcán Terevaka. Esto hace pensar que antes de estas erupciones del Terevaka, el volcán Poike era una Isla volcánica independiente del actual sistema de Pascua. Se estima que la edad del acoplamiento es reciente, dada la semejanza de sus líneas de costa.

3.1.2 Volcán Rano Kau

El Volcán Rano-Kau se encuentra en el vértice suroccidental de la Isla, siendo su rasgo morfológico más característico un cráter de paredes muy abruptas, de aproximadamente 1.6 Km. de diámetro y de 200-250 m. de profundidad, conocido como caldera. La erosión marina ha desarrollado acantilados de 200 a 300 m. de altura. Hacia la parte sur, la caldera se confunde con la pared de unos de esos acantilados. Esta situación permite visualizar, a lo menos, 50 flujos de lava basáltica porfídica y afanítica del tipo "aa", que se interdigitan con algunos depósitos piroclásticos. Estas lavas tipo "aa" corresponden a lavas donde resaltan fuertemente bloques de gran tamaño.

Cerca de la caldera, por el flanco nororiental, existen gruesos flujos de lava benmoreíticos que constituyen las lavas de la parte superior del cráter (somma). Estas benmoreitas son característicamente de color pardo.

La pendiente del flanco nororiental está cubierta por un potente depósito de pumicita con fragmentos líticos y de obsidiana. Este depósito alcanza un espesor máximo de 5 metros cerca del borde norte de la caldera, donde incluso cubre las lavas superiores del somma, mostrando un típico rasgo de depósito pumicítico de caída, por sus características morfológicas y estructuras. Esto hace pensar que este evento se registró hacia las etapas finales de desarrollo del volcán Rano-Kau culminando con el colapso de la caldera.

Antes del fin de la actividad pumicítica, se formaron algunos conos parásitos de composición félsica a intermedia a lo largo de una fisura de dirección NE a SW. Uno de ellos, ubicado en el flanco nororiental del volcán, es el Te-Mamavai formado por un domo de riolita-traquita afanítica de color gris claro con obsidiana en la superficie. El Maunga-Orito, más al noreste que éste último desarrolla un domo riolítico de unos 200 m. de altura.

En relación al centro volcánico Orito, se pensaba, antiguamente que estaba compuesto por piroclásticos, dada su apariencia superficial. Sin embargo, observaciones de

terreno (González y Baker, 1974) concluyen que está construido sobre gruesas coladas de lava afanítica de composición intermedia a félsica que engranan con algunos pocos depósitos de pómez y ceniza. Estos depósitos cubren los basaltos antiguos de Rano Kau. Sobre ellos se depositan nuevos flujos viscosos de lava de composición tranquílica a riolítica, principalmente hacia el flanco occidental del volcán, finalizando el evento con la creación de un domo con superficies de enfriamiento de obsidiana.

Un rasgo importante del Volcán Rano Kau es la existencia de tres isletas que siguen la misma dirección de los centros parásitos del volcán. Baker (1967), describe la existencia de riolitas y obsidiana, lo que hace pensar que se trate de la última etapa de desarrollo del Rano Kau, así como lo son los centros parásitos del Te-Mamavai y Orito.

3.1.3 Volcán Terevaka

El Volcán Terevaka es el centro volcánico fisural más complejo de la Isla, desarrollado a partir de un sistema de conos sgtélites alineados en dirección NNE-SSW que ocupan la mayor parte de la Isla. Pese a su origen fisural, su forma lo hace parecer un volcán de escudo.

A diferencia de los dos centros fisurales anteriores, destaca en este la ausencia de un cráter central bien definido, sin embargo, el edificio central del volcán está formado por decenas de centros de emisión parásitos y en conjunto superan los 500 m. de altura. Sus formas son suaves, compuestas por flujos de lava basáltica y hawaiítica que se extienden desde el cráter y se detienen al encontrarse con los dos volcanes más antiguos, el Poike y el Rano Kau.

El 60% de los cráteres o centros de erupción que se distribuyen en la superficie del Terevaka, se encuentran alineados a lo largo de un angosto cinturón de 1 Km. de ancho y 12 Km. de largo que muestra una orientación norte a noreste. Este es el principal sistema de fisuras compuesto a su vez por 4 ó 5 unidades fisurales menores.

Baker (1967), señala que el cuerpo del Terevaka ha sido construido a partir de lavas y piroclastos emitidos desde la vecindad del cráter. Es así que la formación del volcán principal puede ser dividida en tres etapas: una antigua, una intermedia y una joven. La mayor parte del volcán está construido por lavas y por unos pocos piroclásticos de basaltos afaníticos formados durante el período más antiguo; hacia el flanco norte del cráter principal no existen muchos afloramientos de este período, pues se encuentran cubiertos por sucesivas coladas de lava al igual que muchos de los centros de emisión de ese período.

Durante este período se forman también, los volcanes Rano Raraku y Toa Toa, conos parásitos orientales del Terevaka. A diferencia de la mayoría de los volcanes de la Isla, éstos han sido construidos por tobas de lapilli de composición basáltica..

Del segundo período se conserva una pequeña cordillera ubicada hacia el oeste del cráter principal, compuesta por más de 2 Km. De estos conos el más importante, por su tamaño, es el monte Terevaka; sin embargo, los centros menores son los responsables de la emisión de muchos flujos de lava de basaltos porfídicos, que se extienden hacia el oeste.

El período más joven se caracteriza por una actividad eruptiva localizada hacia el este del actual cráter y controlada por varios cráteres alineados de norte a sur por una longitud de 1.2 Km. De este cordón efusivo, sobresale el volcán Rano-a-Roi. Las lavas emitidas, del tipo basalto porfídico se extendieron por sobre el flanco oriental del volcán hasta llegar al mar; se caracterizan por su buena porosidad y escaso desarrollo de suelo, dando lugar a una colada del tipo "pahoehoe": efusiones muy líquidas laminares, pobres en gases, de viscosidad muy baja, alta temperatura y superficies suaves onduladas.

Otros numerosos conos parásitos se distribuyen hacia los flancos del complejo del Terevaka, siguiendo aparentemente una dirección fisural NW-SE. La más joven de estas coladas de lava es aquella del volcán Hiva-Hiva.

El área al norte del Rano-Kau y Orito, está cubierta por potentes flujos de lava afanítica provenientes del Vai-o-ao, uno de los conos parásitos del Terevaka. Un caso similar se registra en Vinapu y Mataveri-o-Terevaka, donde es claro que las lavas del Terevaka chocan en contra de la superficie intensamente meteorizada del Rano-Kao y Orito, guardando una misma relación con el borde occidental del Poike.

Aunque no pueda decirse cual volcán es más joven o más viejo, si puede afirmarse que el Poike y el Rano Kau son, sin lugar a dudas, anteriores al Terevaka.

También puede concluirse que la mayor parte de los dos volcanes más viejos ha sido construida por sucesivas erupciones de lavas basálticas durante períodos más recientes. Pero hacia los estados terminales, el magma se vuelve mucho más félsico; lavas viscosas y domos son extruidos a lo largo de fisuras con dirección NE-SW. A continuación de esta etapa se verifica la formación de la caldera del Rano Kau, a través de una intensa erupción de pómez. Por lo mismo, el volcán Terevaka parece permanecer aún en una etapa juvenil, no llegando aún a erupciones de carácter félsico.

GEOMORFOLOGIA

La Isla tiene forma triangular y la existencia en cada vértice de ella de un volcán, le determina un relieve típico volcánico, caracterizado por paisajes planos y montañosos.

En el vértice suroeste se ubica el volcán Rano Kau, que posee un cráter de forma circular, con un diámetro basal de un Km. de longitud Km., y en la parte más alta cercana a 1,6 Km. En este sector la Isla presenta un acantilado que en algunos casos llega a los 200 m.s.n.m. La superficie de este vértice es rugosa y con una pendiente suave. Hacia el este del cráter se presentan pequeñas erupciones, que levantan y fracturan la superficie.

En el vértice este de la Isla, se ubica el volcán Poike, cuyo cráter se encuentra a 360 m.s.n.m. En la parte superior tiene un pequeño cráter, de 120 m. de diámetro, que se encuentra cubierto por un bosque de eucaliptus. La parte superior del volcán tiene fuerte pendiente, haciéndose más suave hacia su falda.

Este volcán tiene un relieve suave, salvo tres domos ubicados en su parte norte. La superficie es suave y continua, cortado en los bordes por un acantilado de unos 100 m., el cual se visualiza hacia el oeste de la Isla, demostrando con ello que este volcán por sí solo formaba una Isla.

Hacia el oeste del Volcán Poike la superficie de la Isla cambia bruscamente, de una superficie lisa y pendiente alta, pasa a una superficie ondulada y en algunos casos fracturada con pendientes variables, desde altas a sub-horizontales. Esto ocurre en toda parte central de la Isla.

Entre el Volcán Poike y el Rano Kau la superficie de la Isla se hace muy discontinua, presentando alternancia entre ondulaciones y fracturas, que muestran los efectos de cursos esporádicos e irregulares de agua.

En el vértice norte y entre ambos volcanes se ubica el macizo volcánico de Mauna Terevaka que se alza por sobre los 500 m. sobre el nivel del mar. Está compuesto por una serie de Volcanes y conos adventicios. La gran cantidad de volcanes ha generado una superficie muy ondulada y de pendiente variable que presenta una costra muy rugosa y fracturada, en el que se encuentra todo tipo de material volcánico, y que en algunos sectores muestra los efectos de un intemperismo muy avanzado.

El principal cráter de este macizo de acuerdo al tamaño es el Rano Aroi, el que también se encuentra cubierto por un bosque de eucaliptus al igual que el cráter del Volcán Poike.

Este macizo es el punto de unión entre los volcanes Poike y Rano Kau, los que tienen un efecto, en extensión areal, mucho menor en la geomorfología de la Isla de Pascua.

La extensión en superficie de los volcanes secundarios es muy variable al igual que su relieve. La mayoría de los volcanes tienen extensiones areales menores de 500 m., causando abruptos cambios en el relieve, esto a diferencia de los volcanes de mayor extensión, que le imprimen mayor continuidad a la morfología de la isla, por cuanto tienen pendientes mucho más suaves, en que los contactos con la superficie se hacen menos notorios.

El sector central de la Isla también presenta numerosos domos y lomajes que son causados por pequeñas erupciones que no alcanzan a generar volcanes.

Los contactos entre estos y la superficie son de mayor suavidad que los contactos de los volcanes; esto debido a que poseen mucho menor pendiente y en algunos casos, también menor extensión.

Este sector central presenta también muchos cráteres colapsados, de reducida extensión comparativa, que en un flanco generan pendientes muy abruptas y en el lado opuesto, pendientes muy suaves.

El acantilado también sufre variaciones a lo largo de la costa, desapareciendo casi por completo entre el Volcán Poike y el macizo de Mauna Terevaka. Este acantilado se encuentra en casi todos los contornos de la Isla debido a la resistencia de las rocas volcánicas a la erosión.

El sector norte de la Isla, que es donde se presentan pendientes con cambios más bruscos es el único sector que muestra efectos de cursos de agua definidos originando numerosas quebradas de poca profundidad. Estos cursos de agua han labrado la costra volcánica, causando con ello una erosión bastante fuerte. Esto corresponde a la parte norte del macizo de Mauna Terevaka.

Hacia el sector sur del macizo, que corresponde a la parte central de la Isla (sector de Vaitea), la pendiente se hace mucho más suave, lo que implica cursos de agua mucho menos definidos, de los cuales gran parte desaparecen antes de llegar al mar, debido a lo cual las quebradas son más escasas.

En el mapa geomorfológico se puede observar las siguientes unidades geomorfológicas.

Tres volcanes principales, uno en cada vértice de la Isla, que modelan el paisaje según características propias. Cada

uno de estos volcanes lleva asociado una serie de volcanes adventicios y domos. La mayor proporción de estos se encuentra en la parte central de la Isla, y corresponde al sector del Macizo de Mauna Terevaka.

La superficie de la Isla presenta variaciones morfológicas que corresponden principalmente a variaciones de pendientes - desde muy altas a subhorizontales -, y a variaciones en la textura de la roca - lo que le imprime al paisaje superficies lisas a superficies muy fracturadas.

3.3 CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DE LOS MATERIALES

En el presente estudio hidrogeológico de la Isla de Pascua, se ha definido distintos grados de permeabilidad, en función de la capacidad del suelo para permitir la infiltración de las precipitaciones por una parte.

Por otra parte, se ha definido igualmente, grados de permeabilidades de los sustratos que conforman las unidades litológicas existentes en el paisaje volcánico de la Isla, con el objeto de determinar sus aptitudes acuíferas.

3.3.1 Permeabilidad del Suelo

Los grados de permeabilidad del suelo han sido definidos en función de la capacidad de estos de infiltrar las precipitaciones, y en función de la escorrentía que ellos generan.

De esta forma, se considera suelos altamente permeables aquellos en que la escorrentía es nula, puesto que en ellos se infiltra totalmente el agua caída, debido a las características de los materiales.

Otro tipo de suelos son de permeabilidad regular, y en ellos es posible que se genere una cierta escorrentía esporádica, así como también una infiltración regular.

Finalmente, otros suelos no permiten que se efectúe una infiltración, y con ocasión de las precipitaciones se generan ciertas escorrentías.

Sobre la base de las unidades que se ha entregado en el mapa geomorfológico que forma parte de este estudio, se ha definido los siguientes grados de permeabilidad, en los sectores que se indica:

PERMEABILIDAD ALTA: Se genera principalmente en los sectores de volcanes de la Isla, en lo que se ha definido como unidades de pendientes altas y medias. Resaltan en esta unidad de alta permeabilidad del suelo, los sectores de volcanes Poike, Rano-Kau y Mauna Terevaka.

Los sectores y lugares intervolcanes, que poseen este tipo de permeabilidad, son de menor importancia, resaltando el sector de Vaitea, así como Akivi, Orito, Rano Raraku.

PERMEABILIDAD MEDIA: En este tipo de rango se encuentran prácticamente todos los sectores intermedios intervolcanes. Se produce donde la pendiente es media y baja.

Un buen ejemplo de este tipo de permeabilidad se encuentra en los sectores de Hangaroa, Mataveri, y sector norte del Volcán Terevaka.

PERMEABILIDAD BAJA: En general, estos sectores son muy escasos en la Isla. Se conocen en el sector de Puna Pau, Tararaina y en otros sitios donde la cubierta de suelo es muy arcillosa, encontrándose algunos puntos en la Hacienda Vaitea, hacia la zona de Hanga Tetenga, en la costa.

Esta definición de permeabilidades es relativa y se han diferenciado tres con el objeto de analizar posteriormente el proceso de infiltración con mayor detalle. En todo caso, prácticamente toda la Isla presenta 3 suelos favorables a la infiltración, la que puede verse afectada por situación de pendiente.

3.3.2 Permeabilidad del Subsuelo

En el subsuelo, y con potencias del orden de varias decenas de metros, se extienden las distintas unidades litológicas conformadas por la gran variedad de rocas volcánicas que existen en la Isla de Pascua.

De acuerdo con el mapa geológico de la Isla de Pascua que forma parte de este estudio, se describirá los grados de permeabilidad que poseen estas unidades.

PERMEABILIDAD ALTA: Se encuentra en las unidades volcánicas conformadas por lavas del tipo "AA" o lavas de bloques. Estas unidades se extienden en las zonas del oeste de la Isla, en el Sanatorio y Vakakipo. Así también, en la zona hacia el noreste del centro de la Isla, en el sector de Mauna Toa Toa hasta Mauna Opipi.

PERMEABILIDAD MEDIA: Corresponde esta unidad al resto de prácticamente toda la Isla. Todas las unidades litológicas poseen este tipo de permeabilidad, destacando específicamente las coladas de lavas del tipo pahoehoe, o lavas cordadas, que se distribuyen en gran parte de los afloramientos de la Isla. Tal es el caso de los sectores del Volcán Terevaka, Hangaroa, Mataveri, Vaitea, etc.

PERMEABILIDAD BAJA: Se ha definido este grado de permeabilidad, en los volcanes Poike y Rano-Kau. Allí se verifica la existencia de coladas de lavas semi-horizontales, paralelas, que conforman potencias del orden de hasta 200 metros, donde existe solo una permeabilidad dada por escasas grietas que pueden existir, y que interconectan un estrato con otro.

Las superficies de interestratificación, poseen un cierto grado de permeabilidad mayor, especialmente cuando estas corresponden a superficie de intemperización sobre las que se ha depositado una colada de lava posterior, y así, sucesivamente.

4. CATASTRO DE POZOS

Tal y como se dijo en la Isla de Pascua existe un total de 27 sondeos profundos, cuyas características se encuentran en hoja adjunta, y están localizados en plano que se acompaña.

Aparte de ello se han reconocido otra serie de puntos acuíferos, los que se describen a continuación.

Pozo Vai-Hu:

Se encuentra cerca de la costa a pocos metros del mar, contaba con un molino, y un estanque acumulador, dispone de un brocal de piedra y se encuentra derrumbado por lo que no fue posible medir la profundidad del agua ni la conductividad de ésta. Antiguamente se accionaba con un molino y servía de bebida para los animales, de allí se puede colegir que la salinidad era baja, al menos en los límites tolerables por los ovinos.

Vertiente Vai-Hu:

Se ubica al frente del pozo, en la línea de costa, donde no hay playa, sino un pequeño acantilado de menos de diez metros. Es conocido por los lugareños antiguos. Se da ésto como referencia porque es un síntoma de la existencia de una descarga del agua continental subterránea.

Así se comprende además la ubicación de la noria Vai-Hu, la que se hizo en un lugar cercano a esta vertiente, seguramente por la existencia de esta.

Vertiente Hanga-Hanka:

Es del mismo tipo que la anterior, su ubicación se encuentra en la prolongación de la Quebrada del mismo nombre que pasa por el fundo Vaitea. Su ubicación en la costa es próxima al sitio denominado Opipiri.

Vertiente Hanga Te Tenqa:

Al igual que en el caso anterior, es una descarga subterránea en el mar, sin posibilidad de medir su caudal ni conductividad. Se localiza frente al sondeo 2700 - 10920 D-2 del Mapa Hidrogeológico.

Vertiente Vai Amo Eto:

Se localiza asimismo en la orilla del mar, cerca del sector denominado Hotu-Iti, agua abajo del volcán Rano RaraKu y frente al pozo 2900 - 18910 - C-2 del mapa hidrogeológico. En las inmediaciones de este lugar, se pudo apreciar la existencia de una antigua noria, que hoy se encuentra destruída y tapada.

Vertiente Manko Rao:

Se localiza en el sector de La Perousse, corresponde a una pared vertical de piedra que lo separa del mar y un ancho en rampa, la conductividad medida en esta vertiente es de 2.250 micromhos/cm., muestra evidente de su procedencia del interior de la Isla.

Vertiente La Perousse:

En las inmediaciones de la anterior, de las mismas características constructivas, se le midió una conductividad de 7.000 microhomos/cm., lo que asimismo pone de manifiesto su procedencia.

Pozo Aguas Arriba de La Perousse:

Se ubica a unos 300 metros hacia el interior, no se pudo determinar si era pozo o Teheva, en todo caso se deja consignado aquí y se le midió una conductividad de 325 micromhos/cm., la baja salinidad hace sospechar que se trata de una Teheva, aunque como dije no se pudo dilucidar con certeza.

Pozo Ovahe:

Esta se encuentra a la orilla del mar, pero sobre la meseta del acantilado, es tal vez la única noria, que puede haber sido de construcción nativa, dada las características de su emboquillado y pequeño diámetro, el nivel del agua se encontraba a 3 metros de profundidad y la conductividad medida era de 5.000 micromhos/cm.

Continuando hacia el oeste, por la orilla norte de la Isla, no se pudo encontrar otras manifestaciones claras de vertientes, aunque sí en varios casos se detectó presencia de

pequeños bajos, en los que crecían árboles y arbustos tales como plátanos, higueras y otros, los que son una manifestación clara de existencia de agua subterránea o bien de una napa colgada.

Pozo Vai Teka:

Esta se ubica a unos dos kilómetros al norte de Hanga-Roa, tiene aún restos de una bomba aspirante-impelente instalada hace algunos años pero hoy en desuso.

Pozo Vai Hina:

Pozo ubicado hacia el norte del anterior, en una zona de abundantes cavernas, en las inmediaciones se ubicaron dos lugares denominados ROHIO y LOHIJO.

Siguiendo hacia el Volcán Terevaka, recorrido que se hizo en parte en Jeep y en parte a pié, no se pudo localizar otros pozos aunque es muy probable que también exista un nivel de saturación del agua subterránea.

C A T A S T R O D E S O N D A J E S

C U E N C A I S L A S D E L P A C I F I C O (0 5 6)

ROL R.N.A.	LAT.	LONG.	POZO	COMARA	COMUNA	NOMBRE DEL PREDIO	PROPIETARIO	CONSTRUCTOR	COTA msnm	AN RESOL. GU D.G.A.	REG HIV	CARTA IGN	EST GEO	PROF PERF	PROF HAB.	CAU- DAL	NIVEL ESTAT.	FECHA TERM.	
056 00 125	-5	2700	1090	-B - 1	05 7 01	ISLA DE PASCUA ANAKENA	-13 CORPO	CORPO -557	21.03				P1	26	26	20.0	19.7	02/66	
056 00 106	-9	2700	1090	-B - 2	05 7 01	ISLA DE PASCUA OVAHE	-14 CORPO	CORPO -562	14.91				P1	17	17	15.0	13.9	03/66	
056 00 100	-K	2700	1090	-C - 1	05 7 01	ISLA DE PASCUA RAMO RARAKU 1	- 8 CORPO	CORPO -515	---				P1	P 13	--	--	--		
056 00 107	-7	2700	1090	-C - 1	05 7 01	ISLA DE PASCUA GOBERNACION MILITAR	- 1 CORPO	CORPO -474	---				P1	17	--	--	14.9	02/64	
056 00 101	-8	2700	1090	-C - 2	05 7 01	ISLA DE PASCUA RAMO RARAKU 2	- 9 CORPO	CORPO -516	---				P1	7	--	--	--		
056 00 108	-5	2700	1090	-C - 2	05 7 01	ISLA DE PASCUA NATAVERI OTAI	- 2 CORPO	CORPO -478	22.76				P1	27	27	5.5	22.6	08/64	
056 00 102	-6	2700	1090	-C - 3	05 7 01	ISLA DE PASCUA LA PEROUSSE	-15 CORPO	CORPO -571	24.07				P1	25	25	10.0	23.8	05/66	
056 00 109	-3	2700	1090	-C - 3	05 7 01	ISLA DE PASCUA NATAVERI	- 3 CORPO	CORPO -479	---				P1	20	--	--	--		
056 00 103	-4	2700	1090	-C - 4	05 7 01	ISLA DE PASCUA RAMO RARUKU 3	-19 CORPO	CORPO -604	33.18				P1	3	3	20.0	31.6	11/60	
056 00 110	-7	2700	1090	-C - 4	05 7 01	ISLA DE PASCUA BAJO COQUIMBO	- 4 CORPO	CORPO -484	---				P1	23	--	--	21.3	07/64	
056 00 104	-2	2700	1090	-C - 5	05 7 01	ISLA DE PASCUA OTU ITI 1	-22 CORPO	CORPO -622	---				P1	14	--	--	--		
056 00 111	-5	2700	1090	-C - 5	05 7 01	ISLA DE PASCUA NATAVERI OTAI	- 7 CORPO	CORPO -504	30.70	A		R	P1	35	35	7.6	30.2	01/65	
056 00 105	-0	2700	1090	-C - 6	05 7 01	ISLA DE PASCUA POIKE	-24 CORPO	CORPO -648	42.57				R	P1	45	45	50.0	41.6	05/67
056 00 112	-3	2700	1090	-C - 6	05 7 01	ISLA DE PASCUA HANGA ROA ALTO	-12 CORPO	CORPO -546	---				P1	19	--	--	--		
056 00 113	-1	2700	1090	-C - 7	05 7 01	ISLA DE PASCUA SANATORIO 1	-17 CORPO	CORPO -581	19.96				P1	21	--	10.0	19.8	07/66	
056 00 114	-K	2700	1090	-C - 8	05 7 01	ISLA DE PASCUA TERA AI	-20 CORPO	CORPO -609	---				P1	10	--	--	--		
056 00 115	-8	2700	1090	-C - 9	05 7 01	ISLA DE PASCUA TERA AI	-21 CORPO	CORPO -617	60.01	A		R	P1	65	65	20.0	60.3	11/67	
056 00 116	-6	2700	1090	-C -10	05 7 01	ISLA DE PASCUA NATAVERI	-25 CORPO	CORPO -664	43.09	A		R	P1	48	48	30.0	42.3	05/67	
056 00 117	-4	2700	1090	-C -11	05 7 01	ISLA DE PASCUA SANATORIO 2	-26 CORPO	CORPO -680	64.55				P1	68	68	30.0	62.2		
056 00 118	-2	2700	1090	-D - 1	05 7 01	ISLA DE PASCUA QUEBRADA OROI	- 5 CORPO	CORPO -488	---				P1	15	--	--	--		
056 00 119	-0	2700	1090	-D - 2	05 7 01	ISLA DE PASCUA CAMPEX VAITEA	- 6 CORPO	CORPO -496	---				P1	24	--	--	--		
056 00 120	-4	2700	1090	-D - 3	05 7 01	ISLA DE PASCUA QUEBRADA RAMO AROI	-10 CORPO	CORPO -517	24.39				P1	31	31	10.0	24.1	04/65	
056 00 121	-2	2700	1090	-D - 4	05 7 01	ISLA DE PASCUA AKAHANCA	-11 CORPO	CORPO -530	33.96				P1	44	44	20.0	33.8	07/63	
056 00 122	-0	2700	1090	-D - 5	05 7 01	ISLA DE PASCUA VAIHU	-16 CORPO	CORPO -577	---				P1	28	28	20.0	26.4	06/66	
056 00 123	-9	2700	1090	-D - 6	05 7 01	ISLA DE PASCUA HANGA TE TENGA	-18 CORPO	CORPO -595	30.66				P1	34	34	20.0	31.7	09/66	
056 00 124	-7	2700	1090	-D - 7	05 7 01	ISLA DE PASCUA VAITEA	-23 CORPO	CORPO -647	95.95				P1	102	102	30.0	94.7	10/67	

5. ESTUDIO DE PRECIPITACIONES

Este tema fue motivo de ajustes y discusiones previo a la firma del presente contrato. Se estableció finalmente la necesidad de efectuar un estudio hidrológico estadístico a nivel mensual, con un tratamiento especial a las curvas IDF y también a las precipitaciones máximas en 24, 48 y 72 horas.

En todo caso, después de haber analizado todos los antecedentes disponibles y haber efectuado un minucioso recorrido por la Isla, vale la pena hacer algunos comentarios al respecto, con el objeto de enfocar convenientemente el problema.

Se entiende que un estudio de precipitaciones, tiene por objeto obtener todos los elementos de juicio técnicos como para poder calcular la cantidad de agua que infiltra en el acuífero, como un porcentaje de la precipitación.

Lo primero que aparece como interesante es que la precipitación a nivel mensual, es irrelevante frente al análisis de la posible infiltración. Si se observa la precipitación mensual esta varía entre 6 y 469 mm para el período comprendido entre Enero de 1969 y Diciembre de 1988 y los valores totales anuales fluctúan entre 841 y 1617 mm.

Si se observa además la variabilidad de los valores mensuales, y si se asigna un porcentaje mensual a escorrentía se puede cometer graves errores porque cuando la precipitación diaria es pequeña o del orden de la evaporación potencial, casi la totalidad del agua vuelve a la atmósfera por evaporación, de allí que no se pueda emplear los métodos clásicos de la hidrología. Otro factor de incertidumbre corresponde al hecho de que la única estación meteorológica se encuentra en la vecindad del Aeropuerto. Este sitio por su altura y situación orográfica, puede corresponder a un valor mínimo de la precipitación en la Isla. Mediciones aisladas que se han efectuado en el fundo Vaitea, a 200 metros de altitud han recogido una precipitación 70% superior a la del Aeropuerto que está a 65 metros de altura. Desgraciadamente, no se dispone de estadística sistemática en otros puntos de la Isla, aspecto que deberá subsanarse a la brevedad posible, si se quiere disponer de valores representativos de la precipitación que permitan sacar conclusiones a nivel de toda la Isla.

De una manera teórica, para estudiar el fenómeno precipitación, evaporación - evapotranspiración, escorrentía, se requiere dividir la Isla en sectores homogéneos ateniéndose a las siguientes características: topografía, geología, suelos. Así en cada zona se podría aplicar un modelo conceptual de infiltración - escorrentía, para determinar los volúmenes de agua en juego. Estimamos que

ésto debería hacerse a escala diaria, por las razones que se detallarán más adelante.

Si se analiza el fenómeno de la infiltración, se puede indicar que para que esta exista, se requiere de una precipitación diaria que supere la capacidad de retención de la cubierta vegetal y la capacidad de campo del suelo. El exceso irá en parte a escorrentía y en parte a infiltración. La capacidad de campo y capacidad de retención de la cubierta vegetal, difieren en cada sector en la Isla. La escorrentía es función de la topografía entre otras cosas. Por desgracia, no se dispone de un conocimiento tan detallado en la Isla como para aplicar este método con suficiente apoyo de datos de terreno.

Como una manera de continuar analizando el problema y poder hacer algunas hipótesis simplificativas, se adquirió la estadística de precipitaciones diarias en la Isla para el período comprendido entre Enero de 1969 y Diciembre de 1988.

En anexo de este informe, se ha incluido una tabla en siete columnas que indica: El año, el mes, la precipitación total del mes, los días en que se ha concentrado el mayor porcentaje de lluvia para ese mes, la precipitación total en esos días, el porcentaje de precipitación en esos días en relación con el total del mes, y la precipitación en el día anterior a los días de máxima precipitación. En resumen se trata de analizar el fenómeno a nivel de día. De la observación del cuadro se desprende que entre el 30 y 75% de la precipitación mensual tiene lugar en dos o tres días del mes. De allí surge entonces que el estudio de la infiltración en aquellas áreas en que no hay escorrentías superficiales, sea más fácil analizarla en esos días de lluvia. Lo usual en estos casos sería, analizar la evaporación potencial y evapotranspiración real y comparada con la precipitación de ese día, la diferencia correspondería a la suma entre infiltración y escorrentía.

Ahora bien, para poder aplicar este modelo conceptual, es necesario contar con algunos elementos de información como también de hacer algunas hipótesis simplificadorias.

En primer lugar se requiere conocer la evaporación potencial a nivel diario, lo cual habrá que calcularla en forma teórica a partir de la Temperatura o bien efectuar una transposición con otras islas similares.

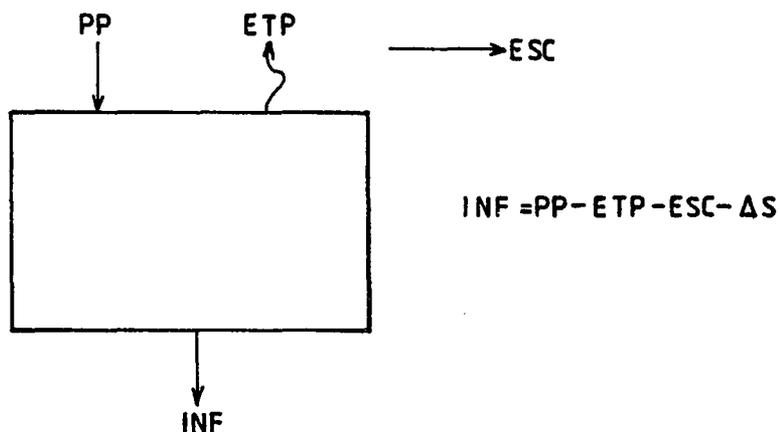
De acuerdo con lo anterior, se ha realizado un modelo de infiltración a la napa subterránea. Para ello se han tenido en cuenta todos los términos del balance y se ha tomado como base los datos diarios de precipitación y de temperatura. En el apartado posterior se detalla el modelo empleado. El resultado de este modelo ha permitido disponer de la

herramienta adecuada para el análisis del proceso de infiltración, escorrentía y alimentación a la napa subterránea. En Anexo se entrega el detalle de las salidas del modelo, las que además fueron empleadas en el modelo hidrogeológico correspondiente.

5.1 MODELO DE INFILTRACION A LA NAPA SUBTERRANEA

a. BASES DEL MODELO

La base principal del modelo es la ecuación de balance másico aplicada al subsuelo donde se desarrollan las raíces de los cultivos.



Donde:

PP = Precipitación diaria (mm)

ETP = Evapotranspiración potencial diaria (mm)

ESC = Escorrentía diaria (mm)

ΔS = Variación de Almacenamiento de Agua en el subsuelo en forma de humedad (mm/día)

INF = Infiltración a la napa subterránea (mm/día)

A continuación se explica de donde se obtienen éstos términos:

PP = Estadística diaria.

ETP = Se ha calculado empleando la relación de Blanney y Criddle, corregida para las condiciones de la Isla según la metodología del Boletín N° 24 de FAO - Riego y Drenaje. Para humedad relativa mayor a 50%, vientos diurnos moderados y una relación de horas de sol/horas diarias de luz baja (0,3 a 0,6) la ecuación de Blanney y Criddle queda:

$$ETP = P \cdot (0,46 \cdot t + 8,13) \cdot (0,9524 - 1,667 \text{ (mm/día)})$$

Donde:

P = Porcentaje mensual de horas de luz.

t = Temperatura media diaria (°C)

Los porcentajes de horas de luz se han obtenido del Boletín N° 24 de FAO - Riego y Drenaje, y son los siguientes:

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P %/1	0,31	0,294	0,28	0,26	0,246	0,236	0,24	0,256	0,27	0,29	0,304	0,314

$$ESC = COEF \cdot PP \text{ (mm/día)}$$

Se ha asumido que la escorrentía es una proporción de la lluvia que precipita. Se han analizado 3 casos, con los siguientes valores de COEF: 5%, 20% y 30% .

$$\Delta S = S_f - S_i = \frac{(H_f - H_i)}{100} \cdot da \cdot h \cdot 10 \text{ (mm/día)}$$

donde H_f = Humedad del suelo al finalizar el día %

H_i = Humedad del suelo al iniciarse el día %

da = Densidad aparente del suelo (gr/cm^3)

h = Profundidad de la zona de raíces (cm)

La humedad del suelo no podrá jamás superar la capacidad de campo (cc) ni ser inferior al punto de marchitez permanente (PMP). Para suelos porosos los valores más típicos de estos parámetros son:

$$CC = 6\%$$

$$PMP = 2\%$$

$$da = 0,7 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

En cuanto a la profundidad de la zona de raíces, se ha estudiado para los siguientes casos: 10, 50 y 100 cm.

La ecuación de balance opera de la siguiente manera:

1. Se calcula $BAL = PP - ESC - ETP$

2. Si $BAL \leq 0 \rightarrow INF = 0$
 $S_f = S_i + BAL$

Si $S_f \leq PMP \rightarrow S_f = PMP$

3. Si $BAL > 0 \rightarrow S_f = S_i + BAL$

Si $S_f \geq CC \rightarrow S_f = CC$

$$INF = PP - ETP - ESC - \Delta S$$

Esta operación se realiza diariamente.

b) PROGRAMA DESARROLLADO

Se ha desarrollado un programa en LOTUS, que se debe manejar de la siguiente forma:

1. Encender el Computador y la Impresora
2. Escribir CD\123 y apretar la tecla ENTER
3. Escribir 123 y apretar ENTER
4. Escribir /FR y apretar dos veces la tecla ESC

5. Escribir C:\BASIC\PROGR.WK1 y apretar ENTER

En este momento se encontrará dentro del programa.

6. Para hacer aparecer el MENU debe apretarse simultáneamente las teclas Alt y M.

Entonces aparece en el rincón superior izquierdo de la pantalla el siguiente MENU.

ANO	PARAMETROS	IMPRIMIR	CALCULAR	SALIR
-----	------------	----------	----------	-------

Donde:

ANO = Carga el año que se quiere procesar. Para hacerlo debe apretarse ENTER una vez, seleccionar el año de la lista que aparece y apretar nuevamente ENTER.

PARAMETROS = Permite cambiar los parámetros básicos. Para hacerlo debe apretarse ENTER una vez, seleccionar el parámetro a modificar y apretar ENTER nuevamente. El cursor se dirigirá al valor correspondiente. Se digita el nuevo valor y se apreta ENTER. El programa vuelve automáticamente al menú anterior, lo que permite modificar otro parámetro. Si se quiere volver al menú principal se debe apretar la tecla ESC.

IMPRIMIR = Calcula la planilla para los nuevos datos introducidos e imprime los resultados.

CALCULAR = Calcula la planilla para los nuevos datos introducidos. Si se imprime, no es necesario este paso.

SALIR = Sale del programa y del 123.

El modelo que se entrega es una herramienta de cálculo útil, porque permite, incluir nuevos datos, como resultado de unas mediciones más precisas que las que se han empleado hasta el momento. Así por ejemplo, mediciones de capacidad de campo,

punto de marchitez y evapotranspiración potencial, pueden incluirse fácilmente en el modelo y obtener así un nuevo valor de la infiltración, ya sea para la Isla o bien para un sector, que comprende un determinado número de mallas.

En relación con la fórmula empleada para el cálculo de la evapotranspiración, es tan válida como cualquier otra y tiene la precisión de los datos de horas-luz y temperatura diaria empleados para su cálculo. Estos antecedentes son muy escasos en la Isla y se refieren a un solo punto de medición. Al existir situaciones muy diferentes en toda la Isla, es probable que éstos cambien para diferentes sectores, lo cual será precisado una vez que se cuente con mayor información. De acuerdo con lo anterior no se ha considerado necesario el empleo de otras fórmulas empíricas de cálculo de la evapotranspiración, porque la precisión que se obtiene con la fórmula empleada, tiene al menos el grado de precisión del resto de las variables que intervienen en el cálculo del valor de la infiltración a nivel diario. Lo más relevante de este modelo que se entrega es el empleo de la estadística diaria de precipitación y la confección de un balance diario de las aguas en circulación. No obstante, el grado de imprecisión de la precipitación es asimismo alto, porque se dispone de medida en un solo punto de la Isla lo que no es muy representativo. En atención a todo lo expuesto en los párrafos anteriores, no se considera procedente efectuar otros cálculos de evapotranspiración sin disponer de nueva información de campo y al menos de algún evaporímetro.

6. DEFINICION DEL EMBALSE SUBTERRANEO

Se entiende por embalse subterráneo a una unidad geológica permeable saturada o saturable de agua, que permita su aprovechamiento mediante obras mecánicas de extracción y que a su vez sea capaz de ser empleado como un reservorio acumulador para regular las infiltraciones y/o las escorrentías superficiales.

Desde esta perspectiva y sobre la base de los antecedentes recopilados y el estudio descrito en las primeras páginas de este informe se puede definir los límites del embalse subterráneo, que será objeto de un estudio sistemático desde el punto de vista hidrogeológico.

Previo a su definición es preciso resumir algunos aspectos relevantes que sirven de base para plantear las conclusiones.

En todo el ámbito de la Isla se han encontrado manifestaciones tanto geológicas como de puntos acuíferos que apuntan hacia la existencia de materiales en el subsuelo

capaces de almacenar y transmitir agua.

Las excepciones a la situación anterior son más bien locales, de ámbito reducido y que no afectan a sectores representativos dentro de la Isla.

La permeabilidad de los materiales es en general por fisuración, producto del proceso de enfriamiento de las diferentes coladas de lava; la disposición de las diaclasas es aleatoria tanto en su geometría como en su magnitud, lo que es una consecuencia de su génesis.

Existen además áreas de alta permeabilidad como producto de las cavernas, que corresponden a un fenómeno característico de las erupciones volcánicas. No es posible por el momento, determinar la densidad y tipo de éstas, pero se han encontrado en lugares muy diversos de la Isla. En nuestro reconocimiento pudimos recorrer algunas que aún eran desconocidas por los isleños. En este aspecto cabe mencionar una costumbre ancestral de los antiguos pascuenses, quienes en forma similar a la costumbre esquimal, cuando veían próxima la hora de su muerte, se "encuevaban" al decir de los conocedores del tema, esto significa que buscaban una cueva, se introducían en ella, rogaban a sus dioses y esperaban la muerte por inanición. Esta costumbre está hoy extinguida casi totalmente, como producto de la cristianización de los isleños. No obstante aunque es un dato de carácter antropológico se ha querido dejar mencionado aquí por la información hidrogeológica que puede entregar.

No existen vertientes de importancia en ningún sector de la Isla, salvo las salidas subterráneas al mar. Ello indica que las aguas infiltradas van escurriendo lenta o rápidamente hacia cotas mas bajas en forma subterránea.

La casi totalidad de los sondeos han encontrado el nivel de saturación de las aguas y cuando no lo han hecho ha sido por desviación o imposibilidad de perforar en zona de grietas.

Los rendimientos de los sondeos son en general altos, signo de una elevada permeabilidad.

La diferencia geológica, de los tres volcanes y de sus zonas de interacción, no producen una diferencia significativa desde el punto de vista hidrogeológico.

De acuerdo con todo lo anterior, se estima que la Isla de Pascua en su conjunto conforma un embalse subterráneo. Los límites lo constituyen el Océano Pacífico que lo rodea y en consecuencia este embalse subterráneo es enteramente similar al caso clásico de los acuíferos isleños.

El límite de fondo, está constituido por la interfase agua dulce/agua salobre, regida por la ley de Ghyben-Herzberg basada en la diferencia de densidades de las aguas salada y dulce.

No obstante lo indicado anteriormente es posible diferenciar áreas y zonas dentro de la Isla que presentan distintas características acuíferas. Estas son variaciones propias de todo embalse subterráneo, en todo caso no son tan significativos como para poder hablar de embalses subterráneos diferentes.

Se trata, en consecuencia, de un gran acuífero rocoso permeable por fisuración y por cavernas, que recibe su alimentación casi exclusivamente por infiltración directa del agua de lluvia y que presenta descargas más o menos uniformemente repartidas a lo largo de su costa.

Las diferencias areales o zonales serán analizadas y tratadas en los capítulos posteriores de este estudio, las cuales no forman parte de este apartado.

7. CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL EMBALSE SUBTERRANEO

Se trata en este capítulo de definir y describir el embalse subterráneo desde el punto de vista estereométrico, es decir tanto en superficie como en profundidad.

El objeto de esta definición es la de conocer con suficiente detalle la formación geológica permeable, capaz de almacenar y transmitir agua. Esto en su topografía, morfología y sus condiciones de borde.

El esquema geométrico del acuífero de la Isla de Pascua, es el clásico de todos los acuíferos isleños de origen volcánico. El macizo sólido que forma la Isla, en su conjunto es un material acuífero porque está fisurado y además en ciertos sitios se encuentran cavernas y además existe material volcánico que presenta permeabilidad vacuolar.

La disposición de los distintos materiales descritos en el capítulo de geología, es tal que los diferentes huecos se encuentran comunicados entre sí, lo que hace que cuando el agua se infiltra, funcione como un medio permeable único al nivel de toda la Isla. Esto no es obstáculo para que existan diferencias particulares en algunas zonas más o menos favorables a la infiltración, o más o menos favorables al escurrimiento subterráneo; no obstante tales diferencias no son lo suficiente amplias como para dar lugar a diferentes sectores acuíferos, ello ha quedado de manifiesto en todos

los sondeos que se han perforado en la Isla y además en la inexistencia de vertientes, aspecto que se puede constatar a lo largo y ancho de toda la Isla.

7.1 ISOESPESOR DEL ACUIFERO

Esta es una de las principales características geométricas del embalse subterráneo, indica en cada punto del acuífero el espesor saturado y saturable del mismo. Se obtiene por diferencia entre el límite superior e inferior del embalse. En el caso del acuífero de la Isla de Pascua, el límite superior corresponde a la superficie porque desde allí podría saturarse de agua el acuífero al menos en forma teórica. El límite inferior lo constituye la interfase, porque si bien hacia abajo es también saturable, no obstante el agua no es aprovechable debido a que la calidad química no la hace apta, por ser cercana al agua de mar. En todo caso, se debe admitir que este límite no es fijo, porque la interfase depende a su vez del nivel de saturación del agua dulce, sin embargo se ha tomado esto como límite por corresponder a las condiciones naturales en que se encuentra el agua subterránea en la Isla y se ha tomado como referencia el nivel medio observado durante el último año.

El Plano N° 2 que se adjunta, contiene tres cortes hidrogeológicos que se han trazado bajo estas consideraciones y se explica por sí solo. En él se puede ver que el isoespesor de acuífero varía entre "0" metros a la orilla del mar y llega hasta ~400 metros hacia el centro de la Isla y en particular cercano a los cerros más altos, próximos a los cráteres de los volcanes.

7.2 ISOESPESOR SATURADO DEL ACUIFERO

Una características geométrica quedó definida en el anterior y sirve para conocer la potencia máxima teórica del acuífero. Otro aspecto lo constituye el espesor saturado del acuífero, es decir, aquella parte o sector de la formación acuífera que se encuentra normalmente saturada en las condiciones naturales del embalse subterráneo.

El límite superior lo constituye la topografía del nivel de saturación llamada la superficie equipotencial. Como es sabido, el nivel de saturación de un acuífero está sujeto a variaciones a través del tiempo, por lo tanto, la superficie del nivel piezométrico no es una sola, no obstante para esquematizar la situación se toma como referencia el nivel promedio observado durante el lapso del estudio, cosa que se ha hecho para este caso, tomando como base los niveles

medidos durante el año 1989 en un total de 12 sondeos en la Isla, distribuidos geográficamente dentro de ella.

El límite inferior, del espesor saturado con agua dulce, lo constituye, al igual que en el caso anterior, la interfase que divide el agua dulce del agua de mar, línea además esquemática, porque corresponde mas bien a una zona, pero que por razones de representación gráfica se asimila a una línea o una superficie. Su profundidad se ha trazado sobre la base de la relación de Ghyben-Herzberg.

El Plano Nº 2 trazado sobre estas bases indica por medio de cortes hidrogeológicos el espesor medio saturado de acuífero para cada punto de la Isla. Este documento gráfico se explica por sí solo, no obstante, vale la pena hacer algunos comentarios:

- El espesor mínimo y nulo corresponde al borde del embalse y coincide con la línea de costa.
- El espesor máximo, basado en observaciones indirectas alcanza y se encuentra a 7 Kms. hacia tierra adentro.
- El espesor máximo supuesto es del orden de 100 mts. y coincide con la base central de la Isla, correspondiendo al sector más alejado de la línea de costa.

7.3

POSICION DE LA INTERFASE

Dado que esta superficie constituye una de las condiciones de borde más importantes para el embalse subterráneo de la Isla, se ha creído conveniente presentar un Plano con la situación topográfica de la interfase. Vale en este caso la misma aclaración hecha anteriormente en el sentido de esquematizar ésta es una superficie y no una zona como es en la realidad. Del mismo modo la posición de la interfase se dedujo de la aplicación de la relación de Ghyben-Herzberg a los pocos puntos en que se conoce la cota del nivel de saturación del agua dulce. El resto se ha obtenido mediante interpolación y extrapolación, la cual es acertada en la medida de la homogeneidad hidrológica de la Isla, hipótesis que es correcta a escala general, aunque puede no ser estrictamente exacta a nivel puntual.

En todo caso, se considera que este Plano es suficientemente claro como para la escala de este trabajo y es útil en la medida que define gráficamente el fondo del acuífero.

Aunque si bien se explica por sí solo, es interesante hacer algunos comentarios al respecto:

- El gradiente de la cuña de la interfase hacia tierra adentro es del valor de 0,3 a 0,5 por mil, lo que indica posición más bien plana.
- La posición más profunda de la interfase alcanza a casi 100 metros bajo el nivel medio del mar.

8. CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL EMBALSE SUBTERRANEO

8.1 ASPECTOS GENERALES

Estos se refieren a los valores de los coeficientes de Transmisibilidad y Almacenamiento. Estos indican la capacidad o aptitud del acuífero para transmitir el agua desde un punto a otro y también para almacenarla dentro de él. Ambos conceptos se definieron mediante una analogía con la transmisión del calor en un cuerpo sólido, que se somete a diferentes gradientes de temperatura. Esta base matemática, establecida por C.V. Theiss el año 1936, ha sido el fundamento sobre el que se ha construido la hidrogeología moderna. No obstante se ha podido constatar que la precisión de estos conceptos y su aplicación práctica son mayores cuando se trata de acuíferos ideales; es decir aquellos que son homogéneos, isótopos, infinitos, etc., y que se ajustan más a las condiciones en que fueron deducidas las fórmulas por Theiss. Son innumerables las aproximaciones y nuevas fórmulas que se han introducido a lo largo de estos últimos 20 años para efectuar correcciones a estas situaciones "ideales" y acercarse más a la realidad; todo ello en general en acuíferos de carácter detrítico.

Ultimamente, y en particular en Europa se ha avanzado bastante en el análisis de acuíferos carsticos, en los que el agua se almacena y circula en huecos de la roca, y particularmente en formaciones calizas y dolomíticas.

Las formaciones volcánicas, que dan lugar a acuíferos, están menos estudiadas a nivel mundial, aunque existen una serie de ejemplos que sirven como punto de referencia tales como el acuífero de las Islas Canarias, o el Valle del río Snake en Idaho, USA.

Todo lo anterior apunta a señalar que los parámetros que representan las características hidráulicas de los acuíferos volcánicos si bien se han asimilado por analogía a los otros casos, suelen no representar físicamente la misma realidad.

En consecuencia, los valores de Transmisibilidad y Almacenamiento que más adelante se describirán servirán como una base de razonamiento, para comprender el funcionamiento hidráulico del embalse subterráneo, pero que debe ser tomado con todas las reservas del caso y evitar hacer extrapolaciones que puedan alejarse de la realidad, creando probables expectativas de empleo que luego no se cumplirán.

8.2 PRUEBAS DE BOMBEO REALIZADAS

8.2.1 Pruebas de la Epoca de Construcción

En la década del 60, durante la construcción de los sondeos de CORFO, a cada uno de ellos se les hizo una prueba de bombeo, los datos de ellas quedaron registrados en archivadores que nunca se traspasaron a informes, estos antecedentes, cuando desapareció el Departamento de Recursos Hidráulicos de CORFO, desaparecieron con él. Con esto se perdió una muy valiosa información, cuya reproducción en el día de hoy tienen un costo de decena de millones de pesos. El único antecedente recuperado desde esa fecha, corresponde a los caudales probados y los niveles estáticos registrados, sin embargo tampoco se dispone de los niveles dinámicos. En ausencia de estos antecedentes escritos, se ha recurrido a consultar a las personas que participaron en la ejecución de las pruebas de bombeo, de ellas se ha podido rescatar los siguientes datos útiles:

- No hay recuerdo que se hubiese bombeado largo tiempo llevando registro de los niveles dinámicos.
- Hay coincidencia en que las depresiones fueron siempre muy pequeñas, las que sólo alcanzaban a algunos centímetros.
- No se dispondría de un juego de bombas de diferente capacidad, como para extraer el caudal máximo desde cada sondeo.

Aparte de lo anterior, con el fin de fijar un límite inferior de referencia, de los posibles valores de los caudales específicos se ha estructurado una tabla sobre la base de las siguientes hipótesis:

- Se tratará de establecer el nivel dinámico máximo basado en la profundidad del sondeo y en la longitud del chupador de la bomba.

- Asumiendo que el chupador se hubiera colocado un metro por encima del fondo del pozo, que la longitud de éste fuese de solo un metro y que el nivel dinámico máximo hubiere alcanzado hasta el chupador, se obtiene el valor del nivel dinámico supuesto.
- Con el valor de los niveles estáticos y dinámico se obtiene la depresión para el caudal considerado y con ello el valor del caudal específico en l/s/m. Este valor sirve de antecedente para determinar posteriormente la Transmisibilidad.

**VALORES DE CAUDALES ESPECIFICOS MEDIDOS DURANTE LA
CONSTRUCCION DE LOS SONDEOS**

POZO N°	Prof	N.D.	N.Est (l/s)	Q (m)	Dep m.	C.E. l/s/m	
27.00-10.920 B- 1 Anakena	13	26	24	19.7	20	4.3	4.65
27.00-10.920 B- 2 Ovahe	14	17	15	13.9	15	1.1	13.64
27.00-10.920 C- 2 Mataveri Otai	2	27	25	22.6	5.5	2.4	2.29
27.00-10.910 C- 3 La Perouse	15	25	24	23.8	10.0	0.2	50.00
27.00-10.910 C- 2 Rano Raraku	19	34	32	31.6	20.0	0.4	50.00
27.00-10.920 C- 5 Mataveri Otai	7	35	33	30.2	7.6	2.8	2.71
27.00-10.910 C- 6 Poike	24	45	43	41.6	50.0	1.4	35.71
27.00-10.920 C- 9 Tera Ai	21	65	63	60.3	20.0	2.7	7.40
27.00-10.920 C-10 Mataveri	25	48	46	42.3	30.0	3.7	8.10
27.00-10.920 C-11 Sanatorio	26	68	66	62.2	30.0	3.8	7.90
27.00-10.920 D- 3 Rano Aroi	10	31	29	24.1	10.0	4.9	2.04
27.00-10.920 D- 4 Akahanga	11	44	42	33.8	20.0	7.2	2.77
27.00-10.920 D- 5 Vaihu	16	28	27	26.4	20.0	0.6	33.3
27.00-10.920 D- 6 Hanga te Tenga	18	34	32	31.7	20.0	5.3	5.66
27.00-10.920 D- 7 Vaitea	23	102	100	94.7	30.0	5.3	5.66

Así pues esta tabla indica los valores mínimos que pudieron haber tenido los caudales específicos, los que se encuentran directamente relacionados con la transmisividad. Estos valores oscilan entre 2 y 67 l/s/m, cifras que servirán como puntos de referencia para las discusiones posteriores del valor de T.

8.2.2 Prueba de Bombeo en Pozo Vaitea

Con motivo de labores de reparación y acondicionamiento del sondeo de Vaitea, el 11 de Septiembre de 1981 se realizó una prueba de bombeo en este sondeo. La profundidad del pozo se comprobó en 102 metros, la bomba se colocó a 101 metros y se extrajo un caudal constante de 16 l/s durante 9,5 horas. El nivel estático inicial fue de 97,80 metros, este descendió hasta 97,86 en los primeros doce minutos para luego estabilizarse en dicho valor los 570 minutos de bombeo. La recuperación se indica como instantánea, lo que significa que es menos de 1 ó 2 minutos que es el tiempo que se tarda en detener la bomba y efectuar la medida con el midiómetro.

Si se traduce este valor a caudal específico, resulta de 267 l/s/m, índice de una muy elevada permeabilidad. Se hace presente que el valor mínimo estimado, basado en los datos de la época de construcción, de 5,66 l/s/m está muy por debajo de esta nueva medición.

8.2.3 Pruebas de Bombeo Efectuadas en Enero de 1990

Durante el mes de Enero del año 1990 se hicieron un total de tres pruebas de bombeo, en los pozos que disponían de bomba instalada, que no estuviese funcionando en ese día y que además se les pudiera introducir la sonda para controlar el nivel dinámico.

Los resultados se encuentran resumidos en la siguiente Tabla.

PRUEBAS DE BOMBEO DEL 13 AL 15.1.90

POZO	Nº	N.E. m	Q l/s	N.D. m	Tiempo mm	Recup. min.	C.E. l/s/m	Estabil. desde minuto
Poike	24	41,62	12	41,67	11	1	220	2
Tera Ai	21	60,34	15	60,38	20	1	375	1
Mataveri Otari	7	29,43	10	29,82	15	1	39	1

Los tiempos de las pruebas son cortos debido a que los niveles se estabilizan desde casi el primer minuto en todos los sondeos, por tal razón no se consideró necesario prolongar más allá la duración de las pruebas.

Si se comparan los valores de los caudales específicos con los mínimos estimados de las pruebas realizadas durante la construcción, se aprecia que son muy superiores y que están más en concordancia con el valor obtenido en el sondeo de VAITEA durante el año 1981.

Vale la pena señalar que los caudales extraídos corresponden a la capacidad de las bombas instaladas, lo que impidió, efectuar bombeos con caudales mayores, para definir una curva característica del sondeo.

8.2.4 Medidas de Depresión Efectuadas Durante 1989 - 1990

Las mediciones sistemáticas de nivel estático realizadas en un total de 12 sondeos en la Isla, durante el período comprendido entre Marzo de 1989 y Enero de 1990, fueron acompañadas de una medida del nivel dinámico a los 15 ó 20 minutos de bombeo. Estos valores de depresión pueden asimismo ser empleados como referencia del valor real de esta, una vez efectuadas las comprobaciones hechas en Enero de 1990, en que se pudo constatar que la depresión total se produce en los primeros minutos (uno o dos). En la tabla adjunta se detallan los valores medidos de las depresiones durante el año 1989, para los sondeos que se han controlado cuando esto ha sido posible.

MEDIDAS DE DEPRESION EFECTUADAS EN EL AÑO 1989

VALORES EN MTS.

POZO Nº	FECHA	1 9 8 9				
		24/8	16/9	24/9	6/11	27/12
19	Rano Rarako	-	-	-	-	-
24	Poike	-	0,20	0,15	0,25	0,25
15	La Perousse	0,69	0,15	0,20	0,18	0,08
14	Ovahe	-	-	-	-	-
13	Anakena	-	-	-	-	-
11	Aka Hanga	-	0,25	0,30	0,32	0,12
7	Mataveri Otai	0,40	0,15	0,10	0,15	0,09
23	Vaitea	0,80	0,14	0,15	0,22	-
26	Sanatorio	0,35	0,20	0,30	0,30	0,16
21	Tara Ai	0,35	0,20	0,20	0,20	0,23
25	Mataveri	0,90	0,25	0,25	0,25	0,13
27		0,25	0,15	0,15	0,15	0,15

Aunque estos valores no corresponden a mediciones sistemáticas de nivel durante el bombeo, se ha estimado conveniente dejarlas indicadas en este informe, debido a que es un dato muy valioso que requiere ser consignado. En todo caso, aparentemente hay un error sistemático en la medición de la depresión, pudiendo ser la décima parte; sin embargo aunque fuesen los valores que aparecen en esta tabla, estarían indicando una depresión muy reducida.

Puede parecer una inconsecuencia incorporar una tabla que pudiese tener error sistemático, esto se justifica sólo por la gran dificultad que significa efectuar mediciones en la Isla de Pascua y su posterior transmisión y registro al continente. Esta información será usada con un criterio adecuado, sin pretender obtener resultados o conclusiones de ella, que vayan más allá de la precisión que esta tiene.

8.3 VALORES DE LA TRANSMISIBILIDAD

Tal y como se ha dicho, el valor de este coeficiente, carece de significado físico en un acuífero del tipo volcánico, en que la permeabilidad de la roca es producto de un sistema de disclasas unidas aleatoriamente entre sí, con la existencia de verdaderos bolsones de agua, que corresponden a cavernas volcánicas rellenas de agua.

Con el objeto de fijar órdenes de magnitud, en analogía con acuíferos detríticos y en ausencia de pruebas de bombeo de larga duración, se recurrirá al valor del caudal específico medido en las cuatro pruebas de bombeo realizadas. Para ello se emplearía la fórmula de recurrencia, basada en la relación de Walton, entre caudal específico y transmisividad, en que esta última es 110 veces el caudal específico para unidades métricas. Esta expresión se ha deducido en forma teórica para acuíferos homogéneos, infinitos, en pozos totalmente penetrantes y con eficiencia del 100%. Hipótesis que por ahora se asumirán como ciertas.

De acuerdo con lo anterior las transmisibilidades serían las siguientes:

POZO	CE (l/s/m)	T. m ² /día
Poike	220	25.200
Tera Ai	375	41.250
Mataveri Otai	39	4.290
Vai Tea	267	29.370

La distribución espacial de estos sondeos en la Isla, hacen que sean representativos del conjunto del acuífero.

Se puede decir entonces que la transmisibilidad estaría comprendida entre 20.000 y 40.000 m²/día, valores que son usuales sólo en acuíferos carsticos que poseen permeabilidad por fisuración y dilución, con la formación de cavernas.

Si se hubiese empleado la curva depresión tiempo, de acuerdo con los métodos de Theiss y Jacob para calcular la Transmisibilidad, se hubiera obtenido una permeabilidad infinita, puesto que la recta de depresión es paralela al eje de cordenadas (tiempo). Por esta razón se prefirió recurrir a la mencionada relación de Walton.

Existen además otros valores del caudal específico, consignados en informes parciales realizados por nuestra oficina en diferentes épocas, los cuales serán comentados a continuación con el objeto de agregar antecedentes.

En el año 1978 se hizo un reconocimiento de los pozos por encargo de la Sociedad Administradora de Isla de Pascua, el que arrojó los siguientes resultados:

POZO N°	Q l/s	Dep. m	C.E. l/s/m	T(m ² /día)
2 Mataveri Otai	5,5	1,66	3,3	400
7 Mataveri Otai	7,6	0,1		8.360
25 Mataveri	16,1	<0,1		>18.260
21 Tera Ai	20,0	<0,1		>14.670

Los valores indicados sirven de referencia y se encuentran en concordancia con los medidos en el año 1990, son asimismo indicativos de una alta permeabilidad.

- Los valores de la Transmisibilidad, se emplearon como dato de entrada en el modelo hidrogeológico, y se adoptó un valor único de 20.000 m²/día. La razón para esto, es que los datos puntuales de prueba de bombeo, no son representativos a nivel de área, sino sólo para el punto considerado. Por lo tanto y en atención a la estructura

geológica de la Isla, ésta se comporta como un sólo acuífero mas o menos homogéneo, tal y como se ha explicado en los párrafos anteriores.

8.4 EL COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

La determinación del coeficiente de almacenamiento, se efectúa sobre la base de mediciones sistemáticas de los niveles de agua, en un pozo en observación en las cercanías de un pozo de bombeo, cuando este último se somete a una prueba de caudal constante. En la Isla de Pascua, no se ha realizado anteriormente ni se ha podido realizar actualmente alguna prueba de este tipo.

En todo caso esta prueba se encuentra especificada para acuíferos detríticos, isótropos y homogéneos, lo cual es completamente diferente a la condición de acuífero fisurado en material volcánico por lo que aunque se hubiese hecho los resultados no serían del todo aplicables.

Ahora bien, yendo al concepto físico de lo que es el coeficiente de almacenamiento, este indica la cantidad de agua que drena libremente un volumen unitario de acuífero cuando la presión disminuye en una unidad; en el caso de unidades métricas se trata de un volumen de 1 m^3 y de un descenso de 1 metro. Esto es para acuíferos libres, en el caso de acuíferos confinados se aplica el mismo concepto sólo que cuando la carga piezométrica disminuye en 1 metro. Basado en este concepto, es que también se puede tener una medida del coeficiente de almacenamiento cuando se conoce el descenso de niveles en un sector de acuífero en un tiempo determinado y se compara con la salida neta de agua en el mismo sector y lapso.

Para aplicar esto, se recurrió a los registros de niveles del sector de Hanga Roa y registro de volúmenes extraídos a nivel mensual, pero tal y como se verá más adelante en los capítulos de variaciones de niveles y en el funcionamiento del acuífero, las variaciones de niveles son insignificantes y los volúmenes extraídos muy reducidos en relación con el volumen total de embalse. En consecuencia, se han agotado los medios que hubieren permitido disponer de algún valor de referencia para la determinación del coeficiente de almacenamiento. En ausencia de estos datos, se ha recurrido a mediciones efectuadas en acuíferos análogos, es decir que presentan permeabilidad por fisuración. En acuíferos calizos, que constituyen los más estudiados, son frecuentes los valores de 1% y 2% y hasta 5%, cuando se consideran sectores de varios kilómetros cuadrados del orden de 10 ó más.

Esto es así porque se trata de un fenómeno estadístico relacionado con la densidad de grietas y cavidades por disolución. Esto no es enteramente aplicable al caso de los acuíferos volcánicos con permeabilidad por fracturamiento pero es análogo, las cavidades por disolución en este caso corresponden a las cavernas volcánicas, las que también pueden encontrarse saturadas de agua. De acuerdo con la discusión anterior, se puede apreciar que en zonas reducidas de 3 Km² o menor, el valor del coeficiente de almacenamiento puede variar considerablemente.

En estos casos, lo que es aconsejable y práctica habitual en acuíferos poco explotados es efectuar una explotación programada y controlada, llevando un registro minucioso de caudales extraídos y variación de niveles mientras se aumenta en forma paulatina la explotación. Tal es el caso de la Isla de Pascua, en que como se verá más adelante, el acuífero se encuentra muy subexplotado.

En resumen, se puede decir que arealmente el coeficiente de almacenamiento, se puede encontrar comprendido entre 1% y 5%. Si se aplica esto a los 166 Km² de superficie de la Isla y suponiendo un espesor saturado medio de 20 metros, se dispone de un volumen embalsado de 33 Mm³ si el coeficiente de almacenamiento es de 1% y de 165 Mm³ si este es de 5% .

Los valores antes anotados se entregan como punto de referencia, con el objeto de fijar ordenes de magnitud, que permitan conformar elementos de juicio para conocer posteriormente su funcionamiento.

Los antecedentes de variación de niveles del cuadro que se adjunta, representan una oscilación media anual de 0,20 metros. En el sector en explotación las variaciones se encuentran entre 0,20 y 0,30 metros, las cuales no pueden asociarse a los volúmenes extraídos, debido a la influencia de las mareas y las recargas por infiltración de lluvia. En atención a ello el valor del coeficiente de almacenamiento se ajustará en el proceso de calibración del modelo.

VARIACION MENSUAL DE NIVELES

OBSERVADOS EN EL AÑO 1989

POZO N°		PROF. NIVEL ESTATICO					
		MAXIMO	MES	MINIMO	MES	AMPLIT. VARIAC.	VALOR MEDIO
RANO RARAKO	19	31,45	DICIEMBRE	31,20	AGOST.	0,25	31,37
POIKE	24	42,62	MARZO	41,451	(MY-J-A)	0,17	42,00
LA PEROUSSE	15	23,25	(NOV.)	23,10	AGOST.	0,15	23,18
OVAHE	14	14,58	(MZ.-MY)	13,90	DIC.-SEP	0,68	14,24
ANAKENA	13	19,83	(MZ.)	19,60	NOV.	0,23	19,73
VAITEA	23	94,80	MZ-MY-AG.	94,60	NOV.-DIC	0,20	94,69
AKA HANGA	11	34,47	MZ.	34,30	J-AG-SEP	0,47	34,36
SANATORIO	26	62,30	MZ-MY-S	62,15	NOV.	0,15	62,24
TERA AI	21	60,10	AG-S-N	59,95	DIC.	0,15	60,00
MATAVERI	25	42,60	NOV.	42,30	AG-NOV.	0,30	41,41
MATAVERI							
OTAI	7	29,40	MR-MY-N	29,20	JUN	0,20	29,32
	27	58,48	NOV.	58,20	JUN	0,28	58,30

9. CARACTERISTICA DE LA CAPA

Se entiende por esto a las características físicas y químicas del manto acuífero propiamente tal, es decir del agua que se encuentra alojada en la formación geológica. Estas se refieren a la profundidad del nivel de saturación, la variación de este nivel en el tiempo, el sentido de escurrimiento de las aguas y la calidad química de éstas.

Su estudio se basa tanto en los reconocimientos de terreno efectuados como en las mediciones que sobre los diferentes parámetros se disponga.

En el caso particular de este estudio se basa tanto en las mediciones efectuadas durante la época de construcción de los sondeos, las medidas esporádicas que se han efectuado entre los años 1966 y 1988; y las medidas sistemáticas realizadas durante el año 1989, especialmente para este trabajo. Tal y como se verá en cada caso, muchas veces sucede que las medidas no tienen la misma precisión, no obstante en su análisis se ha tenido en cuenta este hecho y en su empleo se ha considerado haciendo las salvedades del caso.

9.1

PROFUNDIDAD DEL NIVEL DE SATURACION

Este parámetro se ha estudiado sobre la base de los datos de un total de 27 sondeos, que son los realizados en la Isla hasta este momento. A ellos se agrega un total de 15 norias o pozos a mano, que fueron inventariados en 1966, pero que hoy día se encuentran destruidos casi en su totalidad y los que no lo están se encuentran parcialmente enterrados.

En lo que sigue se exponen una serie de tablas con las medidas más relevantes efectuadas:

TABLA DE NIVELES ESTATICOSMAS ANTIGUO Y MAS RECIENTE

POZO		NIVEL AÑO 1964-1967	NIVEL AÑO 1990	COTA s.n.m	COTA N.E. EN CONSTRUC	COTA N.E. ACTUAL
ANAKENA	13	19,7	19,8	21,03	1,33	1,23
OVAHE	14	13,9	13,9	14,91	1,01	1,01
GOB. MILITAR	1	14,9	-	-	-	-
LA PEROUSSE	15	23,8	23,2	24,07	0,27	0,87
RANO RARAKU	19	31,6	31,45	33,18	1,58	1,73
MATAVERI OTAI	7	30,2	29,30	30,70	0,50	1,30
POIKE	24	41,6	41,90	42,57	0,97	0,67
SANATORIO	26	62,2	62,20	64,55	2,35	2,35
TERA AI	21	60,3	59,95	60,01	-	0,06
MATAVERI	25	42,3	42,40	43,09	0,79	0,69
AKAHANGA	11	33,8	34,40	33,96	0,16	?
VAITEA	23	94,7	94,6	95,95	1,25	1,35

Del cuadro adjunto se puede apreciar que los niveles estáticos en general se encuentran a profundidades comprendidas entre 13 y 95 metros y que ello depende fundamentalmente de la cota topográfica en que se encuentra el sondeo, siendo además muy similares ambos valores, lo que indica que el nivel de saturación se encuentra muy próximo al nivel medio del mar. De acuerdo con las mediciones del año de construcción hace 25 años, estos niveles se ubicaban entre 0,16 m.s.n.m. y 2,35 m.s.n.m. y en la actualidad se ubican entre 0,06 y 2,35 m.s.n.m. Se debe hacer la salvedad que no se dispone de monografías que indiquen cuál es el punto de cota en relación con el punto de medida de los niveles. Por regla general, se daba cota al borde del tubo de la entubación definitiva y las medidas de nivel estático se

refieren en general al mismo punto, por tanto se asumirá que ambos puntos coinciden, aunque esto puede no ser cierto. En todo caso la conclusión sigue siendo válida en su aspecto principal. Por otra parte es de notar que los sondeos se han perforado en lugares cuya cota sobre el nivel del mar no excede los 100 metros y que la mayoría de ellos (excepto 3) se encuentran bajo la cota 50, siendo que la Isla tiene su cota máxima a los 500 m.s.n.m., no se sabe aún la situación de nivel de saturación hacia el centro de la Isla. Presumiblemente la cota del agua tenderá a ser mayor hacia el centro, pero la profundidad tenderá a ser mayor también.

El Plano N° 3 denominado isoprofundidad del nivel de saturación ha sido trazado sobre la base de los antecedentes de profundidad del cuadro anterior. Las curvas se han dibujado sólo en aquellos sectores en que se cuenta con mayor información, se presenta como un documento gráfico que permita al lector disponer de una visión de conjunto de la situación para conocer por sector las profundidades a que se podría encontrar el agua subterránea. Se ha dejado sin trazar en aquellos sectores en que no se dispone de datos de ningún tipo.

Como un antecedente más se entrega una lista de norias catastradas en Febrero de 1964 por personal de CORFO, en que aparece la profundidad, la que se supone que corresponde al nivel del agua.

POZOS CATASTRADOS EN FEBRERO DE 1964

POZO	PROFUNDIDAD NIVEL AGUA (m)
Gobernación A	2,95
Gobernación B	4,20
Takai	4,40
Hano Otai	2,80
Hanga Kao-Kao	3,90
Attu-Bil	4,85
Ovahe	4,10
Hanga-Roa	4,50
Hanga Te Tenga	3,60
Aka Hanga	6,40
Vaihu	6,20
Vinapu	4,00
Mataveri Otai	6,35
Hanga Pico A	5,40
Hanga Pico B	6,20

Algunos de estos lugares aparecen claramente identificados en el Plano de este informe, no así los pozos porque no se han podido encontrar en el reconocimiento actual. La escasa profundidad a que se encuentra el nivel de agua, indica que ellos se deben localizar cercano a la costa y probablemente en el sector bajo la cota 10 del Plano Topográfico.

9.2 VARIACION DEL NIVEL DE SATURACION EN EL TIEMPO

La respuesta de un acuífero frente a las distintas excitaciones externas a que se someta, se traduce en ascensos y descensos de los niveles de saturación. De tal manera que en aquellos lapsos en que las entradas superan las salidas se producen ascensos de niveles y descensos, en caso contrario. Dado que en general las entradas y salidas de agua pueden tener lugar por diversos conceptos muchas veces muy difíciles de evaluar, la observación y registro de los niveles de saturación constituye la herramienta mas universalmente empleada para el análisis del comportamiento de los embalses subterráneos. Su utilidad como elemento de contraste, referencia y análisis no ha sido superada por ningún otro parámetro hidrológico y constituye la base de sustentación de todo estudio hidrológico que pretenda obtener resultados prácticos frente a las posibilidades y formas de emplear un acuífero. A ello contribuye además la simplicidad de su trabajo y del equipo de medida, sólo se requiere constancia, responsabilidad y disciplina para producir un adecuado registro de variación de niveles.

En la Isla de Pascua, los sondeos fueron perforados a partir del año 1964 hasta 1967 aproximadamente, con anterioridad a esa fecha, no se dispone de antecedentes relativos a la profundidad del nivel de saturación y su posible variación en el tiempo. En todo caso, y como dato histórico se sabe que existían norias construídas por los propios isleños, cercanas al mar y que el agua se encontraba a poca profundidad, también se sabe que de alguna manera estos niveles estaban sujetos a variación, proceso que se manifestaba en la salinización del agua de los pozos, por ello cada tribu o grupo humano era muy celoso de sus fuentes de agua y también de guardar el secreto de su localización cuando se encontraban pequeños acuíferos "colgados" más al interior de la Isla. Hoy en día estos pozos, excepto 4 de ellos se encuentran inutilizados, ello en parte por una prevención de tipo sanitario determinada por diversas autoridades de la Isla.

Las variaciones de nivel son importantes de ser estudiadas tanto en el corto como en el largo plazo, obediendo cada una de ellas a un proceso diferente y a condiciones hidrológicas también distintas. En lo que sigue se hará un análisis de las variaciones, tanto hiperanuales como anuales.

9.2.1 Variación Hiperanual de Niveles

Como ya se ha dicho, estas variaciones representan la respuesta integrada del acuífero frente al balance de entradas y salidas de agua.

Para su análisis en el largo plazo, se recurrirá a los niveles medidos entre los años 1964 y 1967 y el último nivel medido en Diciembre de 1989, basado en los datos que se consignan en la tabla que figura en el apartado 9.1, se ha conformado la tabla de variación en el largo plazo.

VARIACION HIPERANUAL DE NIVELES

POZO		NIVEL	NIVEL	DIF.	COMENTARIOS
		AÑO 1964-1967	AÑO 1990		
ANAKENA	13	19,7	19,8	- 0,10	Ascenso
OVAHE	14	13,9	13,9	0,00	Igual
LA PEROUSSE	15	23,8	23,2	+ 0,60	Ascenso
RANO RARAKU	19	31,6	31,45	+ 0,15	Ascenso
MATAVERI OTAI	7	30,2	29,30	+ 0,90	Ascenso
POIKE	24	41,6	41,90	- 0,30	Descenso
SANATORIO	26	62,2	62,20	0,00	Igual
TERA AI	21	60,3	59,95	+ 0,35	Ascenso
MATAVERI	25	42,3	42,40	- 0,10	Descenso
AKA HANGA	11	33,8	34,40	- 0,60	Descenso
VAITEA	23	94,7	94,60	+ 0,10	Ascenso

De la tabla de variaciones hiperanuales se aprecia que del total de 11 sondeos en que se ha podido hacer la comparación, hay 5 que muestran ascensos, cuatro en descenso y dos sin variación. Las magnitudes de las diferencias varían entre 0,1 y 0,9 metros. Antes de sacar alguna conclusión de estas cifras es preciso tener en cuenta que:

- No se sabe si los puntos de medida de los niveles son los mismos o no.
- Puede haber variaciones diarias del orden de 0,1 a 0,5 metros o más como consecuencia del nivel de las mareas - aspecto que se estudiará en detalle más adelante - lo cual hace variar la medida dependiendo de la hora, del día en que se haga y de la posición de la marea.

Hechas las salvedades anteriores, se puede concluir que en líneas generales no ha habido variaciones significativas de nivel de saturación en el lapso de 25 años analizado.

De ello se desprende que tanto las condiciones hidrológicas no han variado, como tampoco las condiciones de explotación han provocado descensos de importancia. Esto último es además un índice de que las extracciones de agua que hoy se realizan en la Isla son de escasa importancia frente a la magnitud del embalse subterráneo y de la situación de recarga.

9.2.2 Variación Estacional y/o Anual de Niveles

Se trata en este caso de establecer la posible variación de niveles a lo largo del año, aspecto asimismo de la mayor importancia para determinar la amplitud de oscilación a nivel estático debido a diferentes situaciones de recarga y descarga a nivel anual o mensual. Este análisis sirve entre otras cosas para determinar las variaciones de producción de los pozos, la ubicación de las bombas elevadoras, y en el caso de la Isla para estudiar los riesgos de intrusión marina.

A parte de ello constituye el elemento de análisis para comprender el funcionamiento del embalse subterráneo, tanto en su totalidad como por sectores. En el caso de que se requiera construir un modelo de simulación del acuífero, es el elemento de contraste más adecuado y válido para efectuar su calibración.

En el caso particular de este estudio, hubo que prolongar su duración en más de 1 año, debido a que no se contaba con registros sistemáticos de niveles, los cuales se realizaron entre Marzo y Diciembre de 1989 con una periodicidad casi mensual, completándose un total de doce medidas. El detalle de estas mediciones se encuentra en un anexo de este Informe. En la tabla adjunta se ha indicado, para cada uno de los doce sondeos controlados, el valor máximo de la profundidad observada, el valor mínimo, la amplitud de oscilación anual y el valor medio de la profundidad observada. Asimismo, se ha dejado consignado el mes en que se han producido los valores máximos y mínimos.

VARIACION MENSUAL DE NIVELES OBSERVADOS EN EL AÑO 1989

POZO	PROF. NIVEL ESTATICO						
		MAXIMO	MES	MINIMO	MES	AMPLIT. VARIAC.	VALOR MEDIO
RANO RARAKO	19	31,45	DICIEMBRE	31,20	AGOST.	0,25	31,37
POIKE	24	42,62	MARZO	41,451	(MY-J-A)	0,17	42,00
LA PEROUSSE	15	23,25	(NOV.)	23,10	AGOST.	0,15	23,18
OVAHE	14	14,58	(MZ.-MY)	13,90	DIC.-SEP	0,68	14,24
ANAKENA	13	19,83	(MZ.)	19,60	NOV.	0,23	19,73
VAITEA	23	94,80	MZ-MY-AG.	94,60	NOV.-DIC	0,20	94,69
AKA HANGA	11	34,47	MZ.	34,30	J-AG-SEP	0,47	34,36
SANATORIO	26	62,30	MZ-MY-S	62,15	NOV.	0,15	62,24
TERA AI	21	60,10	AG-S-N	59,95	DIC.	0,15	60,00
MATAVERI	25	42,60	NOV.	42,30	AG-NOV.	0,30	41,41
MATAVERI							
OTAI	7	29,40	MR-MY-N	29,20	JUN	0,20	29,32
	27	58,48	NOV.	58,20	JUN	0,28	58,30

De la tabla adjunta se puede deducir lo siguiente con respecto a la variación mensual de niveles.

- Las amplitudes de variación son pequeñas en la mayoría de los casos menos de 0,25 metros, sólo 4 de los 12 sondeos presentaron una amplitud superior y hasta 1,17 en el caso de el Poike. Las pequeñas variaciones de 0,25 metros y hasta 0,50 metros podrían explicarse por el fenómeno de las mareas, aspecto que se detallará en el capítulo correspondiente a la relación acuífero-mar.
- La amplitud de 1,17 medida en el Poike, puede deberse a un error de medida en el mes de marzo de 1989, si se elimina dicho valor, la amplitud desciende a 0,85 metros.
- No se nota una localización de los máximos o mínimos de niveles en algún mes determinado para los diferentes sondeos.
- En el mes de Marzo hay 8 de los 12 sondeos que presentan un nivel más profundo; sin embargo ese nivel también se repite en otros meses.

- En cuanto al nivel mínimo, o sea el más cercano a la superficie, suele ubicarse entre los meses de Noviembre y Diciembre, situación que sucede en 6 de los 12 casos; en otros cinco de ellos se localiza en el mes de Agosto.
- La escasa magnitud de las variaciones unido a la posible influencia de las mareas, impide avanzar juicios sobre la relación entre los niveles estáticos y los procesos de recarga y descarga.
- Los sondeos que presentan mayor oscilación de niveles, suelen coincidir con los que se encuentran más cercanos al mar, con excepción del Poike. Aunque tampoco esto permite avanzar un juicio general sobre el tema, sin embargo, marca una tendencia, cuya explicación física coincide con las mareas, las que deberían atenuarse hacia el centro de la Isla.
- La escasa variación de los niveles, así como la ausencia de un ritmo de ascensos y descensos, hacen que estas medidas sean poco adecuadas para el proceso de calibración de un modelo hidrogeológico, puesto que aparentemente los niveles son "insensibles" a los cambios externos, al menos a la escala en que se ha establecido este informe.
- Normalmente en un acuífero, esta situación de pequeña amplitud de variación coincide con las áreas de descarga. En tales zonas el nivel se encuentra controlado por la geomorfología y características físicas de la zona de borde del acuífero, que produce la descarga; tal parece suceder en la Isla, al ser el mar el elemento controlador de las descargas, el cual actúa como una gran barrera impermeable que circunda a todo el acuífero.
- Lo anterior se ve favorecido por el hecho de que la mayoría de los sondeos de los cuales se tiene registros se encuentran en las cercanías del mar y a una baja cota.
- Es probable que sondeos que se realicen a cota 150 o superior, presentan variaciones de niveles más significativas.

En el Plano N° 4 se han graficado las variaciones mensuales del nivel para el total de los 12 sondeos en que se efectuó el registro durante el año 1989. En él se puede apreciar que la tendencia general es a la permanencia de los niveles, tal

y como debe ser en un acuífero que se encuentra en equilibrio y que no está sometido a explotación intensa.

La falta de variación estacional y mensual puede deberse además al hecho de que en la Isla no existe una diferencia tan marcada de las estaciones en cuanto a precipitación. El promedio mensual varía entre 60 y 145 mm. entre Noviembre y Mayo respectivamente, no obstante llueve todos los meses, el promedio anual para los 20 años de estadística analizada (1969 - 1988) es de 1.150 mm y la mensual es de 96 mm.

9.3 EL SENTIDO DE ESCURRIMIENTO DE LAS AGUAS

El estudio de esta característica se hace sobre la base del plazo de isopiezas, es decir líneas que unen puntos de igual cota del nivel de saturación. Para ello se ha representado en el Plano la cota del agua en la época de su construcción, teniendo como base la cota del sondeo y la profundidad del nivel de agua. Se han tomado los valores de la construcción porque aparentemente ambas medidas son consistentes, es decir, referidas al mismo punto de medida. Además, se ha tenido en cuenta el hecho de que la variación de niveles durante estos 25 años no ha sido relevante, en consecuencia, son válidos los niveles estáticos del año 1964-1967 para el trazado de las isopiezas.

El Plano N° 5 corresponde a un intento de trazado de isopiezas de acuerdo con la escasa información con que se cuenta, ya que la densidad de puntos es muy baja, se dispone de solo 12 puntos de apoyo para un área de 166 Km², es decir, cerca de un punto por cada 14 Km², cantidad muy exigua como para lograr un adecuado y preciso mapa de isopiezas. Por esa misma razón se ha dibujado en un mapa a escala 1:50.000.

Del análisis del mapa se puede deducir lo siguiente:

- El sentido general de escurrimiento es "centrífugo" por así decirlo, es decir va desde el centro de la Isla hacia el mar, esto coincide con una situación de tipo general en las islas volcánicas.
- La densidad de información no permite establecer zonas de circulación preferencial u otra singularidad de este tipo.
- Los gradientes que se han podido establecer son 0,3 a 0,5 ‰. De algún modo esto puede ser un índice de algún contraste de permeabilidades.

- Los valores de los gradientes hidráulicos son bajos en relación con lo que es habitual en un acuífero detrítico. Esto es un reflejo de la elevada permeabilidad de los materiales, ya que no se requiere de una gran carga para permitir el escurrimiento, salvo en el Sector Anakena, Ovahe en que aparentemente la permeabilidad es menor que en el resto de la Isla, pero sigue siendo alta en valor absoluto.

9.4 LAS CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LAS AGUAS

Se trata en este capítulo de dar a conocer la calidad química de las aguas subterráneas, su variación sectorial si es que la hubiere, la variación temporal, la relación entre el empleo del agua y su calidad química y el riesgo de contaminación. Todo ello sobre la base de los antecedentes disponibles, los cuales pueden ser tanto de carácter cualitativo como cuantitativo.

9.4.1 Antecedentes Empleados

Se ha podido recopilar una serie de antecedentes, cuyo listado es el siguiente:

- Datos de conductividad del inventario de pozos y norias del 17 de Febrero de 1964.
- Análisis químico de aguas de tres sondeos de abastecimiento efectuados en Marzo de 1972.
- 6 análisis químicos, correspondiente a cinco sondeos de la Isla de Pascua, según muestras tomadas por el Sr. Fernando Alamos en Abril de 1978.
- Medidas Mensuales de Conductividad en cuatro sondeos por abastecimiento de agua potable de la Isla de Pascua entre Abril 1983 y Diciembre de 1988.
- Medidas Mensuales de Conductividad en 12 sondeos, durante el año 1989, junto con las medidas de nivel estático.

Todos estos datos y antecedentes se encuentran en el correspondiente anexo de este informe.

9.4.2 Calidad Química Previa a la Construcción de los Sondeos

En el mes de Febrero del año 1964, CORFO efectuó un inventario de puntos de agua, previo a la construcción de los sondeos. El resultado de este reconocimiento indicó la existencia de 15 norias o pozos excavados a mano por los isleños o las empresas cuyos principales datos se encuentran en la tabla adjunta:

NOMBRE POZO	PROF. N.E.	CONDUCT. /CM	TIEMPO °C	OBSERVACIONES
Pozo Gobernación A	2,95	>10.000	22,0	Con Molino Viento
Pozo Gobernación B	4,20	>10.000	25,0	Bomba en Mal Estado
TAKAI	4,20	8.500	23,5	Molino de Viento
HANO OTAI	2,80	9.500	23,0	Sin Bomba
HANGA KAO-KAO	3,90	9.100	22,5	Molino de Viento
AHU BIL	4,85	6.500	28,0	Molino de Viento
RUAHE	4,10	7.750	23,0	Molino de Viento
MANKO ROA	4,50	5.800	22,0	Molino de Viento
HANGA TE TENGA	3,60	4.800	23,5	Molino de Viento
AKA HANGA	6,40	2.400	23,5	Molino de Viento
VAIHU	6,20	8.200	23,5	Molino de Viento
VINAPU	4,00	5.400	24,0	Molino de Viento
MATAVERI OTAI	6,35	1.650	24,0	Molino de Viento
HANGA PIKO A	5,40	>10.000	22,0	Sin Bomba
HANGA PIKO B	6,20	9.500	23,5	Sin Bomba

Esta tabla indica una serie de antecedentes que son del caso reseñar:

- A esa fecha gran parte del abastecimiento de agua en la Isla se efectuaba con agua procedente de norias, accionadas con molinos de viento y que entregaban agua semi-salobre.
- La profundidad del nivel estático, indica que las norias se encontraban muy próximas al mar, en la primera terraza de la costa y bajo la cota 10.
- La mayoría de estos puntos fueron visitados y reconocidos en el trabajo realizado en la Isla durante Marzo de 1989, sin embargo, estaban desmantelados, enterrados y casi todos ellos destruidos. Los únicos que se pudieron examinar fueron los de VAIHU y OVAHE.

- Los únicos que tenían agua relativamente potable eran los de MATAVERI OTAI y AKA HANGA, en el año 1964.
- La distribución de los pozos era en casi todo el perímetro de la Isla.

9.4.3 Calidad de las Aguas en los Sondeos Durante la Prueba de Bombeo de Construcción

En la sección aguas subterráneas después Departamento de Recursos Hidráulicos de CORFO, era norma la obtención de muestra y posterior análisis efectuados en estos pozos. En la tabla adjunta se entrega en resumen de estos datos.

De ellos se puede obtener la siguientes conclusiones:

- En T.S.D. en casi todos los sondeos se encontró bajo 1.000 mgr/lt., límite de la norma chilena de agua potable, excepto el 21 que se encuentra dentro de las tolerancias aceptadas.
- Para los sondeos cuyo T.S.D. es mayor de 400 mgr/lt. el 80% de este corresponde a NaCl , índice de mezclas de agua dulce con agua de mar. En cambio en aquellos con T.S.D. menor de 400 el NaCl sólo representa el 50% de estos.
- Con excepción del Na y Cl todos los demás elementos analizados son bajos y se encuentran dentro de los límites permitidos o tolerados por las normas chilenas.
- El pH indica aguas levemente ácidas, aunque se recomienda efectuar mediciones in situ del pH, puesto que este varía con el tiempo, modificando el valor medido del pH.
- La dureza de las aguas está en relación directa con el contenido de NaCl, siendo este el principal causante de ella.
- Las aguas de mejor calidad relativa corresponden a las del pozo VAITEA y RANO AROI, las que se localizan en sectores vecinos dentro de la Isla.

CALIDAD QUINICA DE LAS AGUAS EN SONDEOS CORFO

ANOS 1965-1967 (VALORES EN Mgr/Lt)

POZO N°	Ca	Mg	Na	K	HCO ³	CO ³	SO ⁴	Cl	NO ³	DUREZA TOTAL	DUREZA CARB.	DUREZA NO CARB.	TSA	PB	CO ² DIS	FECHA	OBSERVACIONES
1 MATAVERI OTAI	26	25	314	19	7,3	0	63	565	0,5	162	6	159	1019	5,8	18	07.09.65	
7 MATAVERI OTAI	24	10	131	10	50	0	30	228	2,5	102	41	61	486	6,9	8,5	20.03.67	
10 RANO AROI	10	12	52	4,2	65	0	14	86	5,1	73	53	20	263	6,8	16	06.09.65	
11 RANO AROI	9	11	31	5,9	52	0	23	129	1,9	70	43	27	306	6,5	24	06.09.65	
21 TERA AI-MATAVERI	52	79	400	27	162	0	110	783	5,1	452	133	319	1588	6,8	32	20.03.67	INICIO PRUEBA
21 TERA AI-MATAVERI	30	52	267	19	171	0	65	500	0,4	310	140	170	1077	6,9	30	12.03.67	FIN PRUEBA
23 MAUNGA ROA (VAITEA)	10	7,1	35	3,3	52	0	9,9	58	0,1	55	43	13	201	6,5	25	12.10.67	
26 SANATORIO	30	30	230	30	70	0	60	440	0,5	199	142	57	901	6,3	55	08.01.68	

- El Pozo N° 21 presenta una situación especial, que es el que tiene un mayor contenido salino, lo que no concuerda con su continentalidad (distancia del mar) y cota, ya que es de similar contenido salino que el Sondeo N° 2 que se encuentra muy próximo a la costa.
- Los análisis realizados, no determinaron el valor de la conductividad, por lo cual no es posible conocer la relación entre T.S.D. y C.E. la que hubiera servido para futuras mediciones, empleando la CE como elemento trazador.

9.4.4 Análisis Químicos Realizados en 1972

Entre los meses de Octubre de 1971 y Marzo de 1972, se efectuaron análisis químicos a tres muestras de las cuales no se especifica su procedencia exacta, pero en uno se trata del Sondeo N° 21 en otro del N° 7, y el tercero puede ser asimismo del Pozo 21 ó bien del 25; en todo caso, aunque persista la duda, se ha considerado necesario incluirlos en este informe por la validez y relevancia de la información. Los aniones y cationes analizados son diferentes de los

anteriores puesto que corresponden a un análisis químico sanitario, efectuado en los sondeos que a esa fecha abastecían de agua potable a la Isla. En la tabla adjunta se indican los resultados.

De su análisis se puede comentar lo siguiente:

- En el Sondeo N° 21, si se compara la cantidad de sólidos disueltos del año 1967 con los del año 1972, se aprecia un aumento de cloruro y sodio, con el consiguiente de T.S.D. En todo caso es de notar que en el año 1967, se tomaron las muestras una al inicio y otra al final del bombeo, mejorando notablemente la calidad, dado que no se sabe el método de muestra de la última no se puede comparar.

ANALISIS QUIMICOS EN SONDEOS DE ABASTECIMIENTO

AÑO 1972

PARAMETRO ANALIZADO mrg/lt.	SONDEO		
	TERA AI (21) 15.01.72	TERA AI 21 02.10.72	MATAVERI 25 (?)
pH	7,6	7,45	7,9
Dureza Carbotanosa	150	132	67
Dureza no Carbonatosa	688	544	143
TSD 10 5° C	838	676	210
Cl	3.332	2.493	944
Fierro told	0,17	0,15	0,13
Sulfatos	192	136,4	385
Calcio	83	76	37
Silice	59	68	63
Cobre	0,02	0,0	0
Fluor	0,4	0,5	0,8
Sodio y Potasio	695	473	204
Magnesio	154	118,5	29,0
Aluminio	0	0	0
Arsénico	0	0	0
Cromo Hexav	0	0	0
Nitratos	1,2	4,8	0,4

9.4.5 Análisis Químicos Realizados en 1978

Fueron realizados como parte de una asesoría de diagnóstico de las aguas subterráneas e instalaciones encomendado por CORFO al señor Fernando Alamos Cerda, la tabla adjunta expone los resultados obtenidos:

MEDICIONES DE CALIDAD REALIZADAS EN 1978

Valores en mgr/lt.

PARAMETRO ANALIZADO	POZO N°					
	2	7	25	21	21 c/purif	24 POIKE
FECHA	26.4.78	27.4.78	27.4.78	3.5.78	3.5.78	30.4.78
Calcio	33	34	18	32	33	26
Magnesio	32	33	17	63	65	36
Sodio	190	190	98	330	311	420
Potasio	11	11	7	16	16	17
Hidróxidos	0	0	0	0	0	0
Carbonatos	0	0	0	0	0	0
Bicarbonatos	76	67	52	207	186	55
Sulfatos	45	48	26	75	71	93
Cloruros	375	383	190	595	582	715
Boro	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Arsénico	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fluor	-	-	-	-	-	-
Silice	40	43	40	49	47	33
Dureza Total	214	219	115	339	350	213
Carbonatada	62	55	43	152	152	45
No Carbonat.	152	164	72	187	198	168
T.S.D	800	810	440	1.300	1.270	1.430
pH	7,4	7,2	7,35	7,5	7,7	7,5
CO2 disuelto	5,0	7,5	5,5	14	7,5	3,6
Cota Agua	+0,16	+0,50	+0,79	-0,29	-0,29	-0,97

Al análisis del cuadro anterior, se puede indicar lo siguiente:

- Los valores del TSD se encuentra comprendido entre 440 y 1.300 mgr/lt. para los sondeos de abastecimiento.
- El sondeo 21, presenta el valor más alto, siendo los demás menores de 800 mgr/lt.
- Si se compara las calidades químicas con la cota del nivel estático aparece el sondeo 21, con una cota negativa, lo cual amerita una nivelación precisa del punto de medida para estudiar más a fondo el problema.
- El sondeo N° 21 tiene un menor contenido de sólidos disueltos el año 1978 que el año 1972, pero mayor que en el año de su construcción.
- En todos los sondeos se cumple que el 80% del TSD se explica por los contenidos de Na y Cl.
- El valor del pH, indica un agua de carácter alcalino en todos los análisis, lo que no concuerda con los datos anteriores. Dado que este análisis debe hacerse in situ, se pone de manifiesto que este valor puede no representar la realidad.

9.4.6 Medidas Mensuales de Conductividad Realizadas entre 1983 y 1988 en Sondeos de Abastecimiento

Para los cuatro sondeos que hoy se emplean en el abastecimiento de agua potable a la Isla de Pascua, se ha llevado un control mensual de los valores de la conductividad, ello como parte de la asesoría que ALAMOS Y PERALTA Ingenieros Consultores Ltda. efectúa a SASIPA.

En el Anexo N° 3, se encuentra el registro de conductividad antes indicado. Estos antecedentes son de importancia para conocer la tendencia de la variación de la calidad química de las aguas en un lugar en que el acuífero se encuentra sometido a explotación.

La tabla adjunta indica un resumen de estas características, anota los valores máximos y mínimos registrados y la amplitud de oscilación, también indica el mes en que se produjeron estos valores y luego en las observaciones se comenta la tendencia que presentan en el largo plazo.

VARIACION HIPERANUAL DE LA CONDUCTIVIDAD

POZO Nº	CONDUCTIVIDAD					
	MAXIMO	FECHA	MINIMO	FECHA	VARIACION	OBSERVAC.
7	1.750	5-87	672	4-83	888	Estabiliz.
25	1.250	6-85	672	4-83	588	Estabiliz.
21	2.900	3-86	860	6-84	2.140	Estabiliz.
27	900	7-86	760	12-87	140	Estabiliz.

Además se han dibujado los gráficos mensuales de variación de niveles en los cuales puede apreciarse con mayor exactitud la época en que se han producido los valores extremos, como asimismo, la tendencia de estos valores en el largo plazo.

Entre los años 1983 y 1985 se puede apreciar un ascenso paulatino de los contenidos de sólidos disueltos hasta llegar a una verdadera estabilización, ya que desde esa fecha hasta 1988 no han seguido aumentando, sino solo con pequeñas fluctuaciones.

9.4.7 Medidas Mensuales de Conductividad durante el Año 1989

Junto con las mediciones de niveles realizados durante el año 1989 se efectuó en forma sistemática un registro del valor de la conductividad eléctrica medida en micromhos.

Los valores registrados en cada sondeo, se encuentran en el anexo correspondiente al final de este informe. Además el Plano N° 7, incluye los gráficos de variación de conductividad, en los que puede apreciarse claramente los valores máximos, mínimos, la tendencia y la ubicación del sondeo dentro del acuífero.

El gráfico es suficientemente claro y se explica por sí solo, no obstante se ha confeccionado la tabla adjunta en la cual se encuentran consignados los valores máximos registrados, los mínimos, la amplitud de la variación y el valor medio del período.

Se ha colocado además en la última columna el valor estimado de la conductividad, durante la época de construcción. Este valor no se midió en esa época y se ha obtenido de la relación teórica entre C.E. y TSD, en que este último es 0,65 veces la C.E. para unidades expresadas en micromhos para la conductividad y mgr/lt para el total de sólidos disueltos.

VARIACIONES MENSUALES DE LA CONDUCTIVIDAD EN EL AÑO 1989

POZO Nº		CONDUCTIVIDAD						
		MAXIMA	MES	MINIMA	MES	VARIACION	VALOR MEDIO	CONST
RANO RARAKO	19	3.850	N	3.600	Jn	250	3.737	
POIKE	24	1.850	O	1.700	Ab-Ag	100	1.770	
LA PEROUSSE	15	2.350	N	2.200	-	150	2.268	
OVAHE	14	5.000	Mz	4.200	Dc	800	4.465	
ANAKENA	13	3.250	Mz-Dc	3.200	-	50	3.208	
VAITEA	23	450	O-D	400	Jn	50	428	310
AKAHANGA	11	2.500	N	2.100	Dc	400	2.360	470
SANATORIO	26	1.800	-	1.700	S	100	1.770	1.390
TERA AI	21	2.600	D	2.250	Mr	350	2.358	2.440
ABASTEC.	25	1.150	-	1.050		100	1.100	
ABASTEC.	7	1.600	O-D	1.380		220	-	747
ABASTEC.	27	950	S	850	N	100	883	

Del análisis de la tabla y de los gráficos, se puede deducir lo siguiente:

- Las variaciones de la conductividad, son menores del 10% en general, salvo dos casos en que ésta alcanzó al 20% .
- Los sondeos en que se registró una mayor variación corresponden a aquellos que se encuentran más próximos al mar.
- El sondeo que tiene una menor conductividad corresponde al de VAITEA, que coincide con el más continental de la Isla. Este aspecto estaría confirmando la influencia del mar, de las mareas en la calidad química de las aguas.

- Si se comparan los valores del año 1979 con los de la época de construcción, se puede apreciar que salvo el sondeo 7 y el de AKAHANGA (11), los demás no tienen diferencias significativas.
- El sondeo 7 habría aumentado al doble su salinidad y el sondeo N° 11 habría aumentado en cinco veces. Esto indica que habría que estudiar más a fondo la situación de dicho sondeo.

9.4.8 Variación Anual e Hiperanual de la Conductividad

Tal y como se dijo anteriormente, el valor de la conductividad es función del total de Sólidos Disueltos, y éste a su vez depende del contenido salino de las aguas. De tal manera que la conductividad constituye un excelente elemento - traza, para estudiar las variaciones de la calidad química con el tiempo.

En este informe se han seleccionado dos juegos de gráficos para determinar la variación mensual de la conductividad. El primero de ellos corresponde a las medidas mensuales realizadas en el año 1989 y se encuentra en el Plano N° 7, el segundo corresponde a las medidas mensuales realizadas en los 4 sondeos de abastecimiento entre los años 1985 y 1988 y se encuentra en el Plano N° 6.

9.4.8i Variación Anual de la C.E.

De acuerdo con lo que indican los diferentes sondeos controlados, no existe una fluctuación importante en los valores de la conductividad. La amplitud es tal que no modifica la aptitud de las aguas para su empleo en los diferentes fines.

La tendencia manifestada a lo largo del año es la mantención, salvo en los sondeos N° 7 y 21, que se emplean para abastecimiento de agua potable, en esto el ascenso de conductividad es de 12% y 20% respectivamente, en todo caso los valores son aún tolerables para su empleo en abastecimiento doméstico.

9.4.8ii Variación Hiperanual de la C.E.

Los gráficos del Plano N° 6, muestran estas variaciones para cuatro casos seleccionados, a saber los sondeos de

abastecimiento. En todo caso estos sondeos son los que se encuentran sometidos a una mayor explotación y por lo tanto serían los que podrían sufrir mayores modificaciones.

Se aprecia que en cuatro años de registro no hay una tendencia clara ni a la disminución ni al aumento de la C.E. y por lo tanto del total de sólidos disueltos.

Para los sondeos N° 7 y 21 que tienen una tendencia anual de aumento, detectada en el año 1989, si se analiza en el largo plazo esta aparece como una situación no nueva y que podría revertirse en forma natural.

Para el período de 5 años, se tiene que:

- El Sondeo N° 7, varía entre 1.400 y 1.750 micromhos, situándose el valor medio alrededor de 1.500 umhos.
- El Sondeo N° 21 varía entre 2.250 y 2.900 umhos, con un valor medio alrededor de 2.400.
- El Sondeo N° 27 varía entre 750 y 950 umhos, con un valor medio cercano a 850.
- El Sondeo N° 25, varía entre 1.000 y 1.250 umhos, con un valor medio situado alrededor de 1.100 umhos.

Si se tiene en cuenta estos gráficos y los diferentes comentarios realizados en los apartados anteriores, se puede concluir que la tendencia hiperanual es a oscilar levemente alrededor de un valor medio.

Por otra parte, en el Plano N° 8 de este informe se hace una comparación gráfica entre los volúmenes extraídos mensualmente y el valor de la conductividad en los cuatro sondeos que se emplean para abastecimiento de la localidad de HANGA ROA.

De su análisis se desprende que no existe ninguna relación entre la variación de la conductividad y la extracción de agua subterránea. En consecuencia los ascensos del valor de la conductividad pueden tener causas muy diferentes.

10.

RELACION ACUIFERO-MAR

Siendo el acuífero de la Isla de Pascua, una formación geológica permeable en contacto con el mar en todos sus bordes, se produce una relación íntima entre el acuífero y el mar, la cual debe analizarse, por constituir esta relación, una condición de borde del acuífero y una condicionante al momento de plantear su explotación. El mar es una condición de borde, tanto lateral como de fondo.

En lo que sigue se hará un análisis de los tres elementos más importantes que inciden en la relación acuífero-mar, a saber, las mareas, la relación de Ghyben-Herzberg, la posición del nivel estático y su variación en el tiempo.

10.1

MAREAS

Su análisis se ha basado en el registro de mareas del año 1965 en los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre. Se ha recurrido a estas fechas por ser consistentes con la observación que se hizo de la variación de niveles en algunos sondeos de la Isla.

En todo caso, dado que las mareas conforman un fenómeno cíclico a nivel diario, mensual y anual, no se consideró necesario establecer un registro mas extenso de las mareas, debido a que los períodos y las amplitudes más normales quedarían bien reflejadas con esos cuatro meses.

Por otra parte se debe tener presente que al efecto de las mareas, se superpone, en el sector costero, al oleaje en épocas normales y también en épocas de tormenta, ambos factores pueden incluso superar el efecto de las mareas al menos a nivel costero.

La tabla que se adjunta expresa, para los cuatro meses considerados, la amplitud máxima de variación registrada, en la marea de mayor amplitud, para cada día del mes.

De ella se puede apreciar que para cada mes las amplitudes máximas y mínimas son las siguientes:

Septiembre	entre	0,15	y	0,79
Octubre	entre	0,21	y	0,82
Noviembre	entre	0,19	y	0,79
Diciembre	entre	0,36	y	0,65

AMPLITUD MAXIMA DE MAREAS REGISTRADAS A NIVEL DIARIO
ENTRE SEPTIEMBRE Y DICIEMBRE DE 1965. VALORES EN METROS

DIA	M E S			
	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	0,67	0,67	0,52	0,49
2	0,49	0,52	0,54	0,52
3	0,67	0,67	0,58	0,49
4	0,67	0,51	0,52	0,49
5	0,61	0,51	0,43	0,49
6	0,55	0,52	0,40	0,52
7	0,52	0,46	0,31	0,52
8	0,43	0,40	0,30	0,55
9	0,40	0,31	0,19	0,65
10	0,34	0,22	0,40	0,65
11	0,24	0,21	0,49	0,65
12	0,21	0,27	0,31	0,64
13	0,15	0,37	0,64	0,61
14	0,31	0,52	0,70	0,64
15	0,33	0,58	0,73	0,59
16	0,55	0,70	0,61	0,64
17	0,67	0,76	0,79	0,64
18	0,66	0,58	0,70	0,67
19	0,73	0,82	0,54	0,64
20	0,79	0,79	0,52	0,61
21	0,82	0,70	0,46	0,49
22	0,73	0,64	0,55	0,52
23	0,67	0,46	0,46	0,49
24	0,63	0,37	0,49	0,42
25	0,56	0,33	0,46	0,39
26	0,40	0,49	0,49	0,39
27	0,46	0,52	0,52	0,39
28	0,52	0,58	0,52	0,36
29	0,61	0,58	0,49	0,39
30	0,67	0,58	0,46	0,36
31	-.-	0,52	-.-	0,49

Se puede apreciar que la amplitud de las mareas se encuentra dentro del rango de los valores absolutos de la cota sobre el nivel del mar del nivel de saturación de las aguas subterráneas. Dentro de este mismo aspecto, cabe señalar que no existe una nivelación única que relacione, el nivel medio del mar, al cual estén referidas las mareas, con el nivel del punto de medida del nivel del agua subterránea. Ambos aspectos inciden en la imprecisión que pueden tener las

medidas de variación del nivel piezométrico, en cuanto estas podrían estar reflejando solamente la posición de las mareas y no una variación provocada por el régimen de entradas y salidas de agua desde el acuífero.

10.2 LA RELACION DE GHYBEN-HERZBERG

En un acuífero costero, como es el caso que nos ocupa, se requiere conocer cual será la posición de la interfase; es decir la ubicación geométrica de la superficie de separación entre el agua dulce y el agua salobre. En este aspecto, intervienen dos factores importantes y que son la cota del nivel de saturación en el acuífero y la permeabilidad de la formación acuífera, sobre todo en el sector bajo la línea de referencia del nivel del mar.

En el primer aspecto, se tiene que de acuerdo con la relación de densidades, siendo el agua de mar más densa que el agua dulce, la primera, tenderá a colocarse abajo. Para ello existe la relación de Ghyben-Herzberg que establece que por cada metro de agua dulce sobre el nivel del mar, existe una profundidad de 40 metros bajo el nivel del mar saturado de agua dulce, antes de llegar al agua de mar. La separación entre ambos se denomina interfase, la cual no es punto, sino más bien una "zona de difusión", en la cual hay una mezcla de aguas dulce y salada. La amplitud de esta zona depende en parte de la permeabilidad del acuífero, de la amplitud de las mareas y de la distancia a la costa.

En cuanto al segundo aspecto, y que se refiere a la permeabilidad del acuífero, los antecedentes existentes indican que lo más probable es que el acuífero sea homogéneo hacia el fondo y exista la misma permeabilidad. En consecuencia el gradiente de la interfase corresponderá exclusivamente a lo indicado por la relación de Ghyben-Herzberg.

De acuerdo con esta hipótesis, se han trazado tres perfiles hidrogeológicos esquemáticos, que atraviesan la Isla de lado a lado, partiendo en consecuencia desde el mar y volviendo luego al mar. El Plano N° 2, incluye estos perfiles y muestra en planta la ubicación de estos en la Isla. Estos esquemas se explican por sí solos e indican el espesor de agua dulce hacia el interior de la Isla. En todo caso, se debe indicar que no se dispone de datos a nivel estático en los sectores centrales de la Isla, y que corresponden a una topografía más elevada. Por ello se ha efectuado una extrapolación conservadora, eso quiere decir que, tal vez hacia el centro de la Isla el espesor de acuífero saturado con agua dulce sea mayor.

10.3 VARIACION DEL NIVEL ESTÁTICO Y POSICIÓN DE LA INTERFASE

Cuando el nivel del agua subterránea sube por efectos de infiltración de agua de lluvia, se produce una mayor carga, la cual debería replegar la interfase hacia el fondo. No obstante, este proceso tiene una inercia que le es propia, de manera que para que esto se produzca debe existir una permanencia de los niveles estáticos altos.

Tal y como se ha visto en los capítulos anteriores, y en particular en el análisis de la variación mensual de niveles, las oscilaciones del nivel estático son inferiores a 0,5 metros. Esto tiende a producir una estabilización de la interfase, en una posición intermedia. Además, hacia el centro de la Isla, esto tiende a amortiguarse haciendo esta situación aún más estable.

Pueden eventualmente existir niveles altos como producto de la infiltración de agua de lluvia en días de alta precipitación, no obstante la elevada permeabilidad de los materiales hace que esta situación solo tenga algunas horas de duración y no afecte a la posición de la interfase.

Por otra parte, las extracciones de agua existentes, en los sondeos en explotación producen descensos de niveles de sólo algunos centímetros, ello hace que la posición de la interfase no se afecte por este concepto. Explotaciones prolongadas podrían hacer variar esta situación pero sucede que el régimen de precipitaciones de la Isla es tal que se produce regularmente una alimentación al acuífero, lo que impide el descenso de niveles en el largo plazo como resultado de la extracción por bombeo.

En resumen, se puede decir que la posición de la interfase en las condiciones actuales, debe ser estable, sin verse afectada ni por las variaciones horarias, mensuales y anuales, como tampoco por las extracciones de agua en los sondeos que hoy en día se explotan.

10.4 VARIACION DEL NIVEL ESTÁTICO COMO PRODUCTO DE LAS MAREAS

En el año 1965, durante los meses de Octubre y Noviembre, se efectuaron mediciones y análisis relativos a la influencia de las mareas en la variación de los niveles estáticos del agua en los sondeos. Los sondeos observados fueron los Nos. 10 y 11, que se localizan en AKAHANGA, a 700 y 1.100 de la costa respectivamente.

La medición de niveles en los sondeos se efectuó mediante un inscriptor del tipo RECORDER, marca Stevens. Estos valores fueron graficados eligiendo un punto para cada hora, de

acuerdo con la lectura indicada en el inscriptor, esto da un gráfico de variación de nivel versus tiempo, a escala diaria. Al mismo tiempo, se registró el nivel de mareas, medido oficialmente por el Instituto Hidrográfico de la Armada y cuyos valores se encuentran en anexo de este informe. Los registros continuos de los inscriptores no existen en la actualidad, como para efectuarse una revisión de los mismos.

La información que aquí se reproduce, se encuentra en uno de los informes analizados para este trabajo y es el que corresponde al "Proyecto de Racionalización, Mejoramiento y Ampliación de la Red de Agua Potable, Pozos de Captación y Estanques Acumuladores. Hanga Roa - Isla de Pascua, Fernando Alamos Cerda. Febrero 1979".

10.4.1 Influencia de las Mareas en la Variación del Nivel Estático del Pozo N° 10

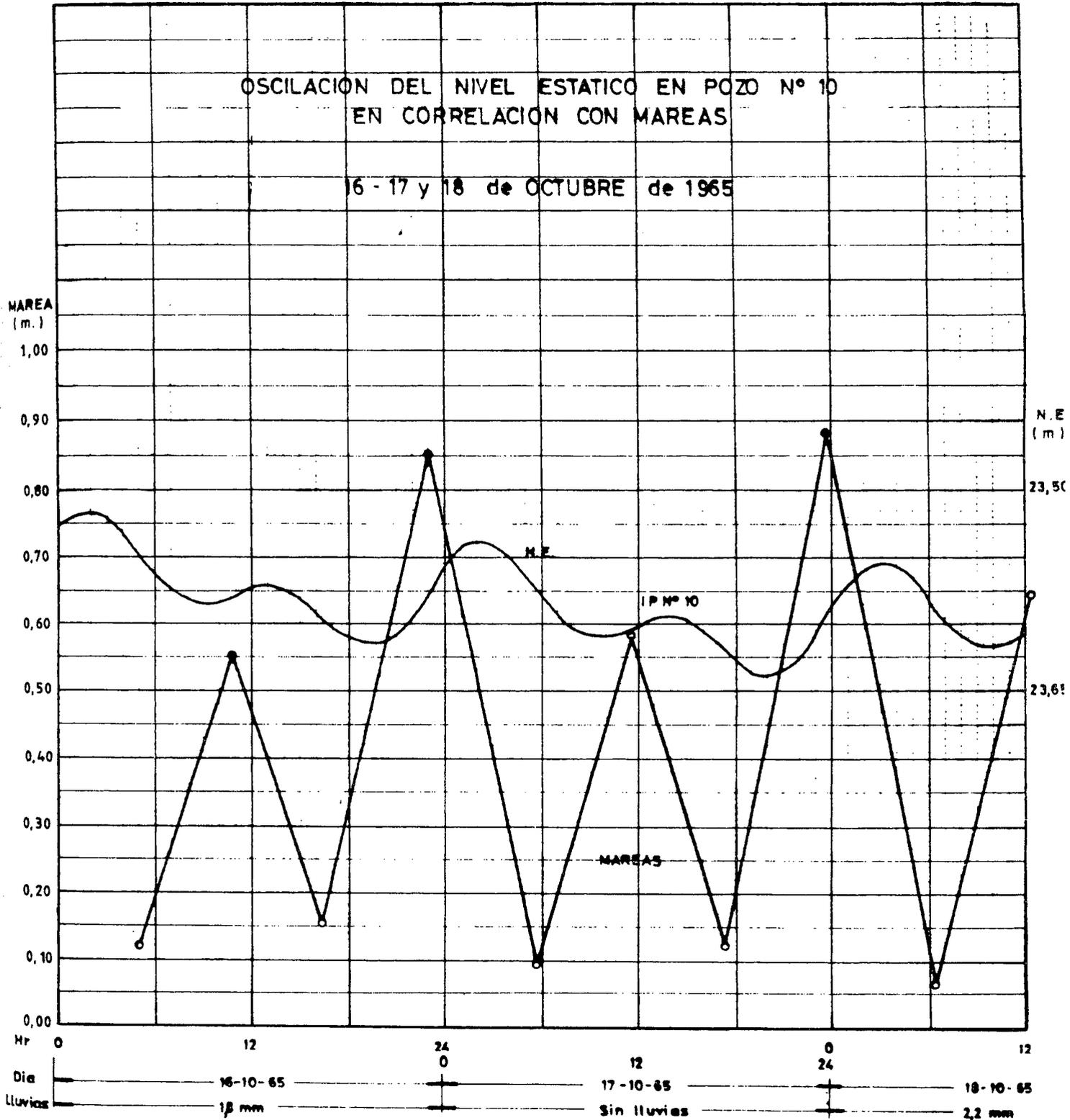
El gráfico adjunto reproduce el nivel estático de cada hora entre las 0 horas del 16 de Octubre de 1965 y las 12 horas del día 18 del mismo mes.

La amplitud de variación registrada entre las 21 horas del día 16 y las 3 horas del día 17 es de 0,08 metros. La variación de mareas entre las 16 horas y las 23 horas del mismo día fue de 0,70 metros.

La variación registrada en el sondeo N° 10, entre las 20 horas del día 17 y las 3 horas del día 18 fue de 0,09 metros. La variación de mareas entre las 17 horas del 17 y las 24 horas del mismo día fue de 0,76 metros.

Estas observaciones indican lo siguiente:

- Hay una clara influencia de las mareas en la oscilación del nivel piezométrico.
- La influencia de las mareas tiene un retardo de 3 horas en la variación en el sondeo.
- Para un sondeo distante a 700 metros del mar, la variación de las mareas produce una amplitud de variación en el nivel estático, del orden de $1/9$ a $1/8$ de la amplitud de la marea.
- Las observaciones anteriores indican claramente que las variaciones piezométricas observadas durante el año 1989, en parte pueden deberse a la influencia de las mareas.



10.4.2 Influencia de la Marea en la Variación de Niveles de los Sondeos N° 10 y 11.

El gráfico adjunto reproduce el nivel estático en cada hora en los sondeos 10 y 11 para el lapso comprendido entre las 0 horas del día 13 de Noviembre de 1965 y las 12 horas del 15 de Noviembre del mismo año.

Se han seleccionado dos amplitudes de variación en dicho lapso para su análisis y correlación.

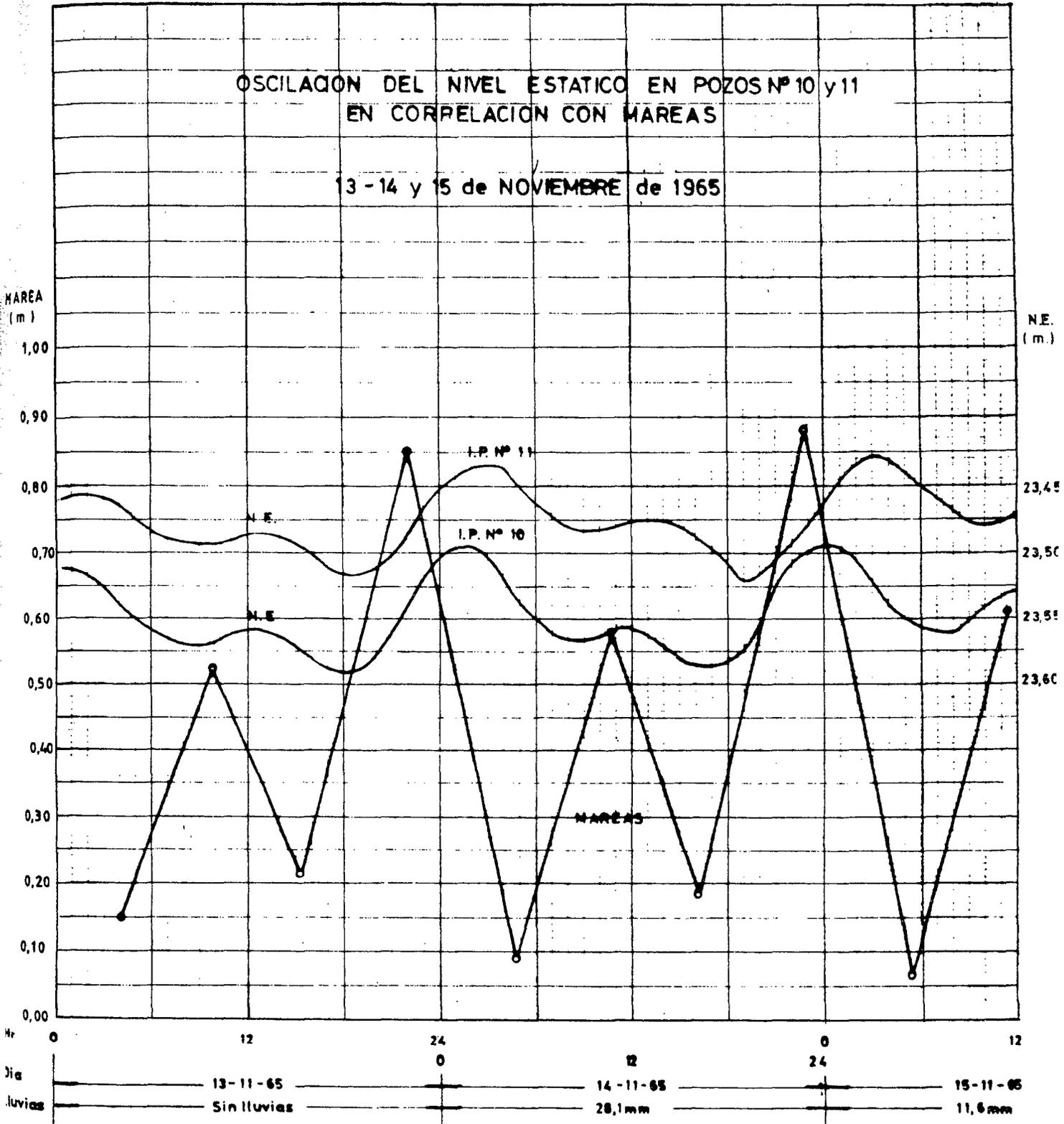
La marea del día 13.11.66 entre las 15 horas y las 22 horas tuvo una amplitud de 0,65 metros. En el Sondeo N° 10 generó una variación de 0,09 metros entre las 19 horas del 13.11 y las 2 horas del día 14; y en el Sondeo N° 11 generó una variación de 0,07 metros entre las 21 horas del día 13 y las 4 horas del día 14.11.

La marea del día 14.11.66 entre las 16 horas del día 14 y las 23 horas del mismo día tuvo una variación de 0,68 metros. Esto generó una variación de 0,09 metros en el Sondeo N° 10 entre las 18 horas del día 14 y las 24 horas del mismo día. En el Sondeo N° 11, provocó una variación de 0,075 metros entre las 19 horas del día 14 y las 3 horas del día 15.

Estas interesantes observaciones, nos indican lo siguiente:

- Son válidos todos los comentarios realizados para el caso anterior.
- En el Sondeo N° 11, que se encuentra a 1.100 metros de la costa, es decir 400 metros más alejado que el Sondeo N° 10, hay un retardo de casi una hora más en producirse el efecto de la marea.
- El día 13 de Noviembre el efecto de una variación de 0,65 metros en la marea provocó un ascenso de 0,09 metros en el Sondeo N° 10 y de sólo 0,07 metros en el Sondeo N° 11.

Para el día 14 de Noviembre, una variación de marea de 0,68 metros provocó un ascenso de 0,09 metros en el Sondeo N° 10 y de 0,075 metros en el Sondeo N° 11. Esto estaría indicando un amortiguamiento de la influencia de las mareas hacia el centro de la Isla. La razón de amortiguamiento sería del orden de 1 a 2 centímetros por cada 500 metros de distancia a la costa. Si se extrapola esta conclusión significaría que entre 4 y 8 kilómetros de la costa, no se debería notar la influencia de las mareas; o bien podría ser muy reducida.

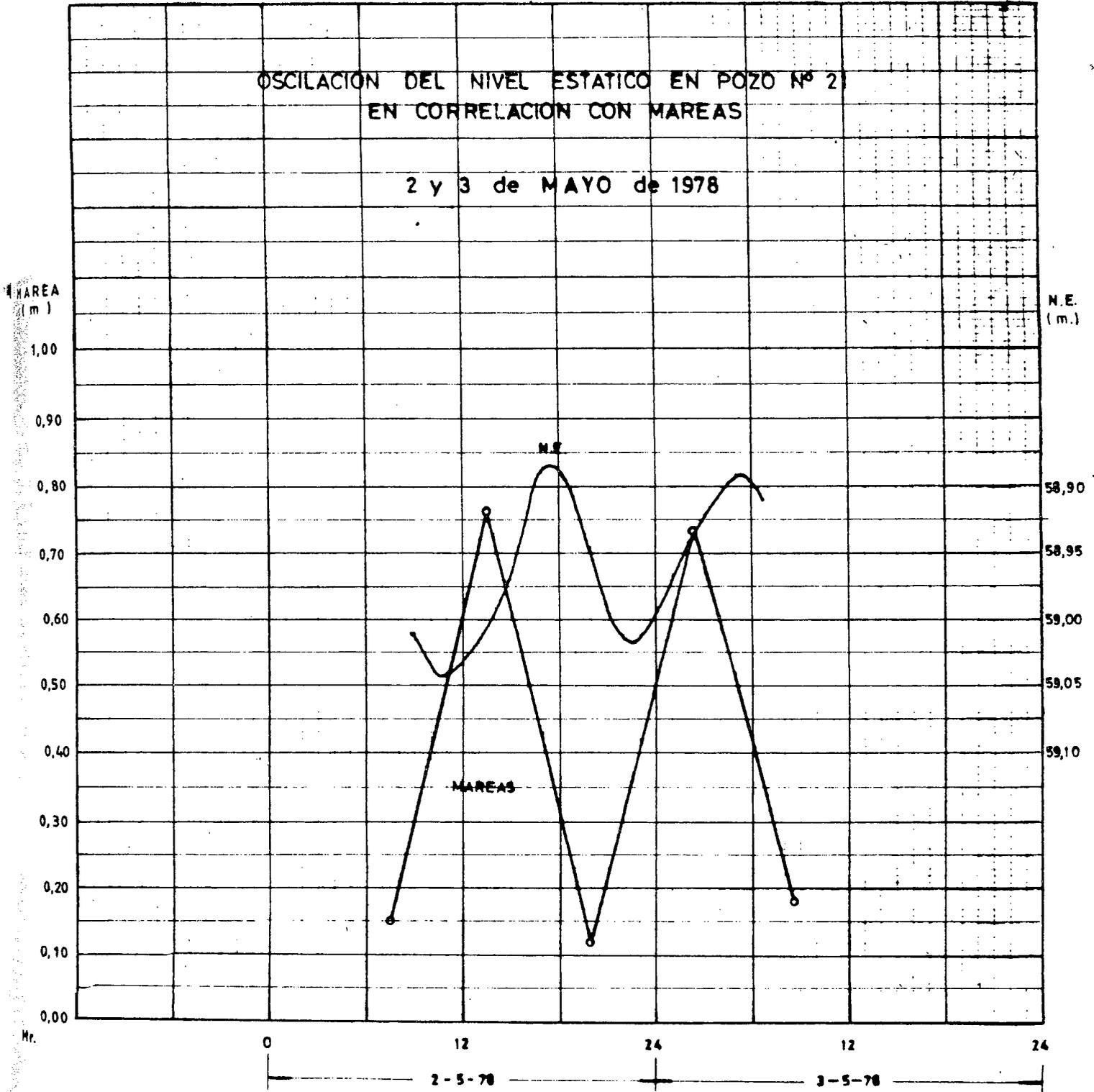


10.4.3 Influencia de las Mareas en la Variación del Nivel Estático del Sondeo N° 21.

Durante los días 2 y 3 de Mayo de 1978, se efectuó una medición manual de niveles en el Sondeo N° 21, con una periodicidad de una hora, mediante una sonda eléctrica. El resultado de éstas observaciones, fue graficado para el lapso comprendido entre las 9 horas del día 2 de Mayo y las 7 horas del día 3 de Mayo de 1978.

Del análisis de dicho gráfico se puede deducir lo siguiente:

- La marea del día 2 de Mayo entre las 7 y las 13 horas tiene una amplitud de 0,60 metros y provocó un ascenso de 0,12 metros en el Sondeo N° 21 entre las 10 y 16 horas del mismo día.
- La marea de las 20 horas del día 2 y las 2 horas del día 3, con una amplitud de 0,60 metros provocó un ascenso de 0,12 metros en el Sondeo N° 21 entre las 23 horas del día 2 y las 5 horas del día 3.
- Se aprecia que en este caso, la influencia de la marea, es superior a la de los casos de los Sondeos 10 y 11, siendo además que el Sondeo 21 se encuentra a 1.600 metros desde la línea de costa. En vez de ser de $1/8$ ó $1/9$ la variación de las mareas, es del orden de $1/4$ de ésta. Ello podría significar la influencia de la transmisividad, la que probablemente sea superior en el sector del Sondeo 21 que en el de los Sondeos 10 y 11. Esto además se aprecia y concordaría con los gradientes hidráulicos de la capa, el cual es muy inferior entre el sondeo 21 y el mar que entre los Sondeos 10 y 11 y el mar.
- El desfase o tiempo de retardo entre la marea y el ascenso del nivel del agua en el sondeo es de 3 horas al igual que en el sector de HAKAHANGA (Sondeos 10 y 11).
- Las variaciones de nivel observadas en el Sondeo N° 21, durante el año 1989, pueden explicarse solamente por la influencia de las mareas.
- De ser efectiva la aseveración anterior, se estaría demostrando la "insensibilidad" del nivel de saturación frente a los mecanismos de recarga y descarga. Esto implica que no existe un elemento de contraste válido para realizar el proceso de calibración del modelo.



10.4.4 Influencia de las Precipitaciones en la Interfase

Este es un tema difícil de resolver, por cuanto no existe una medición sistemática de niveles que al mismo tiempo registre la precipitación y la infiltración.

Sin duda constituye uno de los aspectos básicos que deben ser resueltos en la Isla, si se desea conocer el funcionamiento hidráulico del acuífero, puesto que la precipitación representa el factor de recarga más importante.

Si en el futuro se desea intensificar la explotación de agua subterránea en la Isla, se deberá necesariamente efectuar una investigación completa que incluya como elemento fundamental el análisis de la precipitación, infiltración y movimiento de la interfase.

Una manera indirecta de analizar este tema es a través de las variaciones del nivel piezométrico, puesto que la lluvia infiltrada haría subir este nivel y este a su vez provocaría un descenso de la interfase. La escasa magnitud de las variaciones de niveles registrados estarían indicando, que la precipitación infiltrada no produce una modificación de los niveles de la interfase.

Por otra parte, si se comparan las mediciones realizadas en el Sondeo N° 10, en Octubre y Noviembre de 1965; la única diferencia entre ellos es que en los primeros no hubo precipitación en los días de observación y en la segunda cayeron 28,1 mm el día 14 de Noviembre. Al analizar los gráficos se aprecia una tendencia al ascenso el día 14 o bien una leve interrupción del descenso, no obstante la magnitud es muy pequeña, podría ser de 1 cm. y por otro lado no hay otros juegos de medida que permitan sacar esta conclusión como valedera.

Finalmente cabe indicar que de acuerdo con los antecedentes disponibles, la posición de la interfase es insensible a la precipitación.

11. FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DEL EMBALSE SUBTERRANEO

En los capítulos anteriores, se ha definido el embalse, sus características geométricas, hidráulicas, las características de la capa acuífera y la relación con el mar. Corresponde en este capítulo describir en forma cualitativa todas y cada una de las entradas y salidas de agua en el Sistema que forma el embalse subterráneo.

11.1 ENTRADAS DE AGUA AL SISTEMA

Las entradas de agua al acuífero tienen lugar por tres conceptos a saber:

- Infiltración directa de lluvia
- Infiltración en cursos de agua
- Infiltración desde la red de Agua Potable.

11.1.1 Infiltración Directa de lluvia

La precipitación en la Isla, de acuerdo con el régimen de lluvias existente, es tal que tiene lugar a lo largo de todos los meses del año y la mayoría de los días. No obstante, la mayoría de los días de lluvia la cantidad de agua caída no alcanza para producir infiltración, en todo caso, este tema será tratado en detalle en el Balance Cuantitativo.

En cuanto al proceso mismo de infiltración, para que éste fenómeno se produzca, se debe copar la capacidad de campo, la cual es muy baja en casi toda la Isla, puesto que la cubierta de suelo vegetal rara vez es mayor de 30 centímetros. Por otra parte la vegetación natural, provoca una retención del agua caída por intercepción de las hojas, la que después vuelve a la atmósfera por evaporación directa.

11.1.2 Infiltración en Cursos de Agua

A lo largo y ancho de toda la Isla, existen una serie de pequeñas quebradas, pequeños cráteres y cavernas que constituyen sumideros de agua durante los días de lluvias abundantes. El mecanismo de funcionamiento es muy similar al de los acuíferos cársticos, en que los cráteres semejan dolinas y las cavernas semejan las disoluciones, de tal modo que aparece como un paisaje cárstico. Las escorrentías que se producen, son en general de corto recorrido hasta alcanzar una quebrada permeable, una caverna o un cráter donde se sume rápidamente todo el caudal que escurre, debido a la elevada permeabilidad de éstas formaciones. En el futuro si se desea estudiar con más detalle este fenómeno y además analizar la posibilidad de inducir recarga artificial, sería conveniente efectuar una cartografía de detalle en la cual se consignen este tipo de accidentes. Durante el reconocimiento general que se realizó con motivo del presente estudio, se pudo comprobar la existencia de estos accidentes a lo largo y a lo ancho de casi toda la Isla. Este mecanismo de recarga funciona en casi todos los sectores de la Isla en mayor o

menor grado, de manera que son muy pocos los cursos de agua que alcanzan el mar y dentro de ellos sólo en contadas ocasiones el agua escurre hasta el mar.

11.1.3 Infiltración desde la Red de Agua Potable

Con motivo de la asesoría permanente que nuestra firma realiza para la empresa SASIPA, se dispone de un registro mensual y anual de las pérdidas en la red de distribución de agua potable del pueblo de HANGA ROA.

Un porcentaje considerable del agua distribuida se infiltraba en diferentes sectores del pueblo, éstas pérdidas se han ido reduciendo desde un porcentaje cercano al 80% en 1978 hasta uno de 23,5% en 1989. Esto pone de manifiesto dos cosas, una que existe una recarga por infiltración en el sector de HANGA ROA y otra que la capacidad de infiltración es considerable.

11.2 SALIDAS DE AGUA DESDE EL SISTEMA

Las salidas de agua desde el acuífero, tienen lugar por dos conceptos a saber:

- Por descarga subterránea hacia el mar.
- Por extracción en sondeos de explotación.

11.2.1 La Descarga Subterránea al Mar

De acuerdo a lo indicado en los capítulos correspondientes a las características geométricas e hidráulicas del acuífero, este se encuentra en comunicación hidráulica con el mar a lo largo de todo su perímetro. Tampoco se ha detectado, al nivel de este estudio, grandes diferencias de permeabilidades entre distintos sectores de la Isla, como tampoco diferencias apreciables en cuanto a la geología como para hacer un análisis por sectores. La única excepción a este hecho, tal vez lo constituyan los acantilados al lado del mar de los tres volcanes más importantes de la Isla a saber, el RANO-KAO, TERE-VAKA Y POIKE. La geología en ese sector no es tan precisa debido a las dificultades de su reconocimiento detallado, porque no se puede recorrer. La misma dificultad impide formarse una idea clara de la situación de las descargas. Hecha esta salvedad, se deja establecido, la existencia de una descarga continua al mar y más o menos uniformemente distribuida. En todo caso es probable que a

nivel de detalle existan áreas preferenciales de circulación como resultado de la formación de cavernas o áreas con mayor densidad de grietas. No obstante al nivel de estudio, eso no ha sido detectado y la densidad de información, tampoco lo permite.

11.2.2 La Descarga Artificial

Esta es la segunda forma en que tienen lugar las salidas de agua desde el acuífero. En la Isla hay sólo cuatro lugares o sectores en que se extrae agua subterránea a saber:

- En los alrededores del pueblo HANGA-ROA se extrae agua para el abastecimiento poblacional en un total de cuatro sondeos que alimentan a dos estanques de carga.
- En el fundo VAITEA se extrae agua para bebida de los animales.
- En el sector de POIKE también se extrae agua para bebida de los animales.
- En el Sanatorio hay un sondeo que alimenta a un estanque, el cual abastece las necesidades del leproario y de pequeños regadíos.

12. BALANCE CUANTITATIVO

En este capítulo se pretende cuantificar, mediante cifras, las entradas y salidas de agua en la Isla, a nivel anual. Con el objeto de enmarcar dentro de órdenes de magnitud los volúmenes que naturalmente, se encuentran en circulación en el acuífero.

La precisión del Balance, no va más allá que la de los antecedentes que se emplean en ella, en tal sentido la precisión final corresponde a la del término que sea más impreciso. Esto es un aspecto de la mayor importancia, por cuanto corresponde a un asunto de carácter conceptual. Cuando se mezclan cifras de diferente procedencia, para obtener un resultado final y más aún cuando se trabaja para mejorar la precisión de estas cifras se debe hacer en forma coherente y consistente, de lo contrario o se hace un trabajo inútil o bien se llega a conclusiones que pueden estar reñidos con la realidad.

12.1 ENTRADAS DE AGUA

En lo que sigue se expondrá en detalle los trabajos realizados para definir y cuantificar cada una de las entradas de agua, así como los resultados obtenidos.

12.1.1 Infiltración Directa desde la Lluvia

Para su análisis se dispuso del registro de precipitaciones entre los años 1969 y 1988 ambos incluidos. En el anexo correspondiente se entregan los valores de esta estadística.

Por otra parte, se estudió para cada mes los días o grupos de días consecutivos en que se produjo lluvia significativa, mayor de 7 mm como porcentaje del total de mes, y se calculó el total de la precipitación en tales días, y además la precipitación del día anterior. Todo ello se encuentra también en el anexo sobre precipitaciones.

Por otra parte, se estudió la evapotranspiración a nivel diario. Para ello se obtuvo de la Dirección Meteorológica de Chile de la Dirección General de Aeronáutica Civil, la estadística de temperaturas medias diarias para el mismo período considerado en las precipitaciones.

Los datos empleados se incluyen asimismo en el anexo correspondiente.

Con los antecedentes anteriores se calculó mediante la Fórmula de Blanney y Criddle la evapotranspiración diaria en milímetros.

Este cálculo se hizo para todos aquellos días en los cuales hubo una precipitación significativa, según el estudio a nivel diario de la precipitación.

Todo lo anterior permitió disponer de los datos de precipitación y de evapotranspiración a nivel diario y efectuar por consiguiente un análisis de los días en que se produce lluvia, que es el que interesa desde el punto de vista del proceso de infiltración.

El cuadro adjunto resume, para entregar una idea de la situación de la lluvia, los días de lluvia eficaz para cada uno de los 20 años de estadística registrada.

DIAS ANUALES DE PRECIPITACION EFICAZ

ANO	DIAS DE LLUVIA	ANO	DIAS DE LLUVIA
1969	27	1979	27
1970	28	1980	27
1971	30	1981	32
1972	27	1982	28
1973	30	1983	31
1974	34	1984	26
1975	33	1985	29
1976	34	1986	30
1977	35	1987	25
1978	37	1988	31

Como se puede apreciar del cuadro anterior, aunque los días de "lluvia registrada" en la Isla de Pascua, son muy abundantes, los de lluvia eficaz, son del orden del 10% de los días del año. En cuanto a su distribución mensual, hay lluvia eficaz en todos los meses del año. Esto implica que a efectos de infiltración no existiría estacionalidad.

En los puntos anteriores se ha entendido como precipitación eficaz, aquella que puede producir alguna infiltración.

Con todos estos antecedentes se construyó un modelo de infiltración, cuyo detalle se encuentra en el anexo correspondiente a Hidrología. Este modelo trabaja a nivel diario y entrega en forma resumida, los valores de infiltración a nivel mensual en mm. En el anexo figura este estudio para tres años diferentes a saber, año normal, seco y húmedo.

Del conjunto de datos de precipitación se ha escogido los siguientes años como representativos:

Año Normal	1969	Precipitación	917 mm
Año Seco	1971	Precipitación	833 mm
Año Húmedo	1984	Precipitación	1.617 mm

Se han seleccionado estos años como características de las situaciones media y extremas, con lo cual se obtiene un panorama adecuado y completo del fenómeno de la infiltración

en la Isla de Pascua. Se ha estimado innecesario producir las salidas de modelo para todos y cada uno de los años con registro de precipitación, por cuanto constituye un gran volumen de información que por el momento no requiere emplearse y que además en nada cambiaría los resultados del estudio que se efectúa.

Por otra parte el modelo ha tenido en cuenta los principales parámetros que rigen el proceso de infiltración a saber:

- La Capacidad de Campo en %
- El punto de Marchitez Permanente %
- El Espesor de la Capa Vegetal en cm.
- La Densidad Aparente del Suelo en gr/cm^3
- El Coeficiente de Escorrentía

El modelo ha permitido asignar diferentes valores a estos parámetros para conocer la variación de la infiltración, frente a la variación de los valores de estos parámetros. Por el momento, no se dispone de estudios de detalle en la Isla, que permitan trabajar con valores reales de estos parámetros, para diferentes sectores de la misma.

En todo caso, se ha preferido dejar el modelo preparado, en condiciones de operar para que en el futuro, en caso que se estime necesario, se pueda precisar la cifra de la infiltración.

Para cada año elegido se ha dibujado un gráfico, que se encuentra en el anexo, en el que se indica el valor de la infiltración en función del espesor del terreno vegetal, para tres valores diferentes del coeficiente de escorrentía. En él queda de manifiesto que la combinación de ambos parámetros, puede hacer variar el valor de la infiltración entre un 25 y un 70% de la precipitación considerando valores extremos.

En el cuadro a continuación se han seleccionado los valores de la infiltración media mínima y máxima calculada en el modelo a nivel mensual para los 3 años elegidos.

INFILTRACION A NIVEL MENSUAL, SEGUN

CALCULOS DEL MODELO DE INFILTRACION

(Valores en mm)

M E S	ANO 1 9 6 9 (NORMAL)			ANO 1 9 7 1 (SECO)			ANO 1 9 8 4 (HUMEDO)		
	MAX	MIN	MEDIO	MAX	MIN	MEDIO	MAX.	MIN.	MEDIO
ENERO	43	0	27	3	0	0	79	23	46
FEBRERO	34	6	22	31	0	17	59	15	35
MARZO	17	0	10	1	0	0	0	0	0
ABRIL	54	12	37	33	0	17	183	79	140
MAYO	35	0	23	66	9	37	389	243	354
JUNIO	49	5	31	21	0	10	37	12	0
JULIO	111	40	74	11	0	0	132	61	102
AGOSTO	29	0	14	52	0	29	100	0	28
SEPTIEMBRE	42	0	22	26	0	14	10	0	0
OCTUBRE	34	0	0	58	7	39	16	0	0
NOVIEMBRE	0	0	0	25	0	9	101	19	52
DICIEMBRE	21	0	7	27	0	15	5	0	0
TOTAL INF.	470	63	289	352	16	187	1111	426	754
TOTAL PRECIP.	917	917	917	833	833	833	1617	1617	1617
% INFILT.	51	7	31	42	2	22	69	26	47

El cuadro anterior, debe entenderse más bien como una situación teórica. Sobre todo en lo que se refiere a los valores extremos, puesto que los valores máximos se han obtenido con escorrentías de 5% y un espesor de capa vegetal de 10 cm; los valores mínimos de infiltración se obtuvieron con un coeficiente de escorrentía del 30% y un espesor de la cubierta del suelo de 1 metro.

Situaciones ambas teóricas, y que no se dan en la Isla, salvo situaciones muy puntuales. Los valores medios corresponden a una escorrentía del orden de 20% a 30% y a una capa de suelo comprendida entre 20 y 50 cms.

Si de acuerdo con la explicación anterior, nos atenemos a los valores medios de los tres años tipo elegidos, se tienen infiltraciones de 187 mm; 287 mm y 754 mm para los años seco, normal y húmedo respectivamente.

Esta amplitud tampoco parece corresponder a la realidad, porque una diferencia de 1 a 4 entre ambos valores, debería

haberse notado de alguna manera en la Isla y quedar reflejado en las variaciones de niveles y de conductividad, que se han analizado en los capítulos precedentes.

En todo caso, se debe dejar de manifiesto que en función del coeficiente de escorrentía que se emplea, a mayor infiltración menor escorrentía y viceversa, puesto que el valor de la evapotranspiración calculada en función de la temperatura permanece la misma para las diferentes hipótesis. Si como se verá más adelante la escorrentía en parte importante también se infiltra, podría suceder que esta fuese la razón por la cual no se refleja las variaciones indicadas.

En cuanto a la distribución mensual de las infiltraciones, valor que se debería introducir en el modelo se puede tomar como patrón la distribución obtenida en el año normal la cual arroja los siguientes porcentajes mensuales en relación con el total anual, lo que se encuentra en la tabla adjunta.

VARIACION MENSUAL DE LA INFILTRACION CON RESPECTO AL TOTAL ANUAL

MES	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
%	9,3	7,6	3,4	12,8	8,0	10,7	25,6	4,8	7,6	7,6	0	2,2

En esta distribución se aprecia una concentración en los meses de Junio y Julio en que estaría el máximo y un mínimo, en los meses de Noviembre y Diciembre. Del mismo modo no se aprecia claramente en las variaciones observadas de niveles y conductividad alguna influencia de esta estacionalidad.

Cabe en este punto comentar que toda la estadística de precipitaciones y temperatura que ha servido para efectuar este análisis proviene de un solo punto de la Isla, a saber el Aeropuerto de Mataveri, el cual tiene una situación hidrológica particular.

Con toda esta información, unida a la discusión precedente se puede establecer las órdenes de magnitud en que puede estar comprendida la recarga por infiltración directa desde la lluvia al acuífero.

Si se asume una infiltración del 30% de la precipitación, y

se considera uniforme para toda la superficie de la Isla, se obtiene que por la media de 1.100 mm de precipitación se infiltra 330 mm, los que, aplicados a los 166 Km² de la Isla arroja un total de 55 Mm³ al año y de 92 Mm³ al año si ésta es del 50% .

En resumen, se puede decir que la infiltración media estaría comprendida entre 50 y 100 Mm³/año. No obstante se debe hacer la salvedad que el valor de 1.100 mm como precipitación media corresponde a un lugar a baja cota. Lo más probable es que la precipitación media para toda la Isla en su conjunta sea muy superior.

12.1.2 Infiltración desde los Cursos de Agua

Este es un fenómeno real, observado y fácilmente constatable en la Isla, pero nunca ha sido cuantificado y es muy difícil hacerlo. Tal y como se ha dicho en capítulos anteriores, no existen cursos de agua definidos que lleguen al mar y tengan un caudal permanente o semipermanente. Existen algunos valles y quebradas más o menos definidos, pero son pocos y aún esos tienen lechos altamente permeables.

El proceso es tal que cuando las lluvias son muy intensas, se producen escorrentías en pequeños, esteros, arroyos y hendiduras, pero un alto porcentaje de ellas se infiltra en su trayectoria.

Su cuantificación solo puede efectuarse de una manera indirecta. Para ello se ha recurrido al mismo modelo de infiltración explicado extensamente en el apartado anterior y cuyos detalles se incluyen en el anexo correspondiente. De igual modo que en el caso anterior se incluye un cuadro con escorrentía a nivel mensual para los tres años característicos elegidos.

Los valores de coeficiente de escorrentía que se han elegido para hacer este modelo son de 5,20 y 30%, valores que se ha pretendido ajustar además al hecho de no existir escorrentías visibles.

M E S	AÑO 1969 C. ESCORRENTIA %			AÑO 1971 C. ESCORRENTIA %			AÑO 1984 C. ESCORRENTIA %		
	5	20	30	5	20	30	5	20	30
	ENERO	4	17	26	2	9	13	7	27
FEBRERO	3	13	20	4	17	25	5	20	30
MARZO	3	12	18	2	10	14	1	4	6
ABRIL	4	17	26	5	20	29	13	51	77
MAYO	3	13	20	6	24	36	23	92	138
JUNIO	4	17	26	2	8	12	3	13	19
JULIO	8	32	48	2	9	13	9	34	51
AGOSTO	4	16	24	5	19	28	7	29	43
SEPTIEMBRE	4	18	26	3	12	18	2	9	14
OCTUBRE	3	13	19	5	20	30	2	7	11
NOVIEMBRE	0	1	2	2	9	11	8	32	48
DICIEMBRE	4	14	20	3	12	17	1	5	8
TOTAL INF.	45	184	275	42	166	250	81	323	485
TOTAL PREC.	917	917	917	832	832	832	1616	1616	1616

Los valores extremos anuales para los distintos casos considerados varían entre 42 y 485 mm/año. Cifras que pueden ser correctas como casos poco probables.

Si se comparan los valores de escorrentía para un coeficiente de 20% en los tres casos, se puede colegir que el promedio podría alcanzar 250 mm/año.

Ahora bien, lo difícil es determinar qué porcentaje de ésta escorrentía vuelve a infiltrarse. Una primera estimación permite suponer que el porcentaje de escorrentía, que se infiltra estaría comprendido entre un 50 y un 100% .

De acuerdo con lo anterior, la probable infiltración por escorrentía estaría comprendida entre 125 y 250 mm/año. La que también en un primera aproximación se puede suponer como uniforme distribuida en toda la Isla. Por lo tanto, si se aplica esto a toda la superficie de la Isla se obtiene un volumen comprendido entre 14,5 Mm³ y 29 Mm³ al año respectivamente.

En lo que se refiere a la distribución mensual se puede tomar el siguiente patrón, basado en el año 1969 para una escorrentía de 20% como ejemplo. De acuerdo con ello se obtiene la tabla adjunta:

VARIACION MENSUAL DE LA ESCORRENTIA CON RESPECTO AL TOTAL ANUAL

MES	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
%	9,2	7,1	6,5	9,2	7,1	9,2	17,4	8,6	9,8	7,1	0	7,6

12.1.3 Infiltración desde la Red de Agua Potable en HANGA-ROA

En general todos los sistemas de distribución de Agua Potable tiene un cierto porcentaje de pérdida, el de la Isla de Pascua no es una excepción. El servicio de Asesoría a SASIPA, tiene un registro mensual de producción y pérdidas, para el año 1989 totalizó 84.000 m³, distribuidos en forma casi uniforme durante los distintos meses del año. Dado que la producción total fue de 356.000 m³ el porcentaje de pérdida alcanzó al 23,5% .

Esta cifra se entrega sólo con el ánimo de ser riguroso, porque en realidad la magnitud de esta es muy exigua y se encuentra dentro del orden de magnitud del error de las cifras anotadas anteriormente como entradas de agua al sistema.

12.2 SALIDAS DE AGUA

De acuerdo con lo indicado, éstas se producen por dos conceptos a saber, extracción mediante sondeos y salidas subterráneas al mar.

12.2.1 Extracción Mediante Sondeos

Los sondeos que se utilizan en la Isla son los que corresponden a los números 7, 21, 25 y 27 para abastecimiento al pueblo de HANGA-ROA; los números 23 y 24 en el predio de CORFO para bebida de animales y el número 26 del Sanatorio.

Sólo se lleva registro de bombeo de los cuatro primeros. En el año 1989, éste alcanzó a un total de 358.000 m³ es decir, 0,36 Mm³, distribuidos casi uniformemente en los diferentes meses del año.

En el Plano N° 8 de éste informe, aparece un gráfico con el detalle de la extracción mensual en cada sondeo, con el objeto de compararlo con el valor de la conductividad.

Por otra parte, desde el año 1978 se lleva un control mensual de caudales extraídos por cada sondeo de los de abastecimiento. Esto se deja consignado sólo a título informativo puesto que no se estima pertinente su inclusión en este informe, ya que no agrega nada relevante en relación con el objeto final de éste.

El resto de los sondeos en explotación, no tienen registro de extracción, pero se sabe, por el destino de su empleo, que no es significativo el volumen.

Resumiendo y redondeando cifras se puede decir que el volumen total extraído mediante sondeos no supera los 0,4 Mm³/año, estando la gran mayoría concentrada en el sector de HANGA ROA.

12.2.2 Salidas Subterráneas al Mar

De acuerdo con las características hidrogeológicas de la Isla, se tiene que existe descarga en prácticamente todo su perímetro, habiéndose constatado la existencia de:

- Un nivel de agua dulce superior al nivel del mar
- Un gradiente de escurrimiento en sentido continente-mar
- Una transmisibilidad alta y prácticamente homogénea en todo el contorno.

Su cuantificación, se ha basado en la fórmula básica de Theiss, aplicando la relación $T \times i \times L$, siendo:

T = Transmisibilidad en m³/día/m

i = Gradiente Hidráulico (adimensional)

L = Longitud de Costa en Metros

Para su cálculo se ha dividido la Isla en tres sectores a saber:

Rano Kao Terevaka, en el sector Oeste

Rano Kao-Poike, en el sector Sur

Terevaka-Poike, en el sector Norte

Sector Rano Kao Terevaka

$$L = 10.000 \text{ metros}$$

$$T = 10.000 \text{ a } 20.000 \text{ m}^3/\text{día/m}$$

$$i = 0,0003 \text{ a } 0,0005$$

Con ello se obtiene dos volúmenes, uno máximo y otro mínimo:

$$V_{\text{máx}} = 10.000 \times 20.000 \times 0,0005 = 100.000 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$V_{\text{mín}} = 10.000 \times 10.000 \times 0,0003 = 30.000 \text{ m}^3/\text{día}$$

Es decir se obtiene un caudal continuo comprendido entre 350 l/s y 1.160 l/s.

En volumen anual estaría comprendido entre 11 Mm³ y 36,5 Mm/año.

Sector Rano Kao-Poike

$$L = 10.000 \text{ m}$$

$$T = 15.000 - 30.000$$

$$i = 0,0003 - 0,0005$$

Con estos valores se obtiene asimismo dos volúmenes y caudales extremos a saber:

$$V_{\text{máx}} = 10.000 \times 30.000 \times 0,0005 = 150.000 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$V_{\text{mín}} = 10.000 \times 15.000 \times 0,0003 = 45.000 \text{ m}^3/\text{día}$$

Lo cual traducido a caudal continuo significa caudales comprendidos entre 520 l/s y 1.740 l/s.

En volumen anual se encuentra comprendido entre 16,5 Mm³ y 55 Mm³

Sector Terevaka-Poike

$$L = 7.000 \text{ m}$$

$$T = 10.000 - 20.000 \text{ m}^3/\text{día/m}$$

$$i = 0,0005 - 0,001$$

De acuerdo con ello los volúmenes máximos y mínimos alcanzarían a:

$$V_{\text{máx}} = 7 \times 10^3 \times 2 \times 10^4 \times 10^{-3} = 140.000 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$V_{\text{mín}} = 7 \times 10^3 \times 10^4 \times 5 \times 10^{-4} = 35.000 \text{ m}^3/\text{día}$$

Lo cual representa caudales comprendidos entre 405 l/s y 1.620 l/s.

A su vez representa volúmenes anuales comprendidos entre 12,8 Mm³ y 51,1 Mm³.

Los valores de Transmisibilidad empleados son consecuentes con la discusión realizada en este informe y corresponden a las cifras más precisas que se ha logrado obtener. Del mismo modo los valores del gradiente hidráulico corresponden al trazado de isopiezas que se encuentra en el Plano N° 5.

Debido a la poca densidad de datos, y a la falta de precisión de los mismos es que se ha debido recurrir a enmarcar las cifras del balance entre dos valores extremos, de acuerdo con el conocimiento hidrogeológico existente y el criterio de los consultores.

En resumen, las salidas totales laterales si se integran los tres sectores antes descritos se obtienen unos volúmenes comprendidos entre 40,3 Mm³ y 142,6 Mm³.

Sin embargo, debe hacerse presente que no se ha tenido en cuenta la descarga en un perímetro de 30 kilómetros, correspondientes a los acantilados de los volcanes, por carecer del valor del gradiente hidráulico. Por lo tanto, estos valores mínimos deben considerarse como conservadores.

12.3 RESUMEN DEL BALANCE

<u>Entradas</u>	(en Mm ³ /año)		
Infiltración directa por lluvia		55,0	- 92,0
Infiltración desde cursos de agua		14,5	- 29,0
		<hr/>	
TOTAL ENTRADAS		69,5	- 121,0

Salidas

Extracción por Sondeos		0,4	- 0,4
Salidas laterales al Mar		40,3	- 142,6
		<hr/>	
TOTAL SALIDAS		40,7	- 143,0

Dado que el acuífero se encuentra en equilibrio, las entradas deberían igualar a las salidas.

Por otra parte, el rango de entrada varía entre 1 y 2 aproximadamente y el de las salidas entre 1 y 3. En todo caso, los valores extremos, que se basan en supuestos poco probables, pueden no corresponder a la realidad. De donde se deduce que el volumen anual más probable se debería encontrar comprendido alrededor de 60 a 90 Mm³ lo cual representa un caudal continuo comprendido entre 2 y 3 m³/s.

Como una manera de comprobar la veracidad de estas cifras se puede traducir a rendimiento específico de la cuenca como un conjunto; para los 166 Km²; se obtiene un valor comprendido entre 12 l/s/Km² y 18 l/s/Km², cifras que corresponden a cuencas con similares valores de precipitación, tales como las cuencas costeras del Bío-Bío o la cuenca del río Ñuble.

Una manera de precisar los términos del balance, es mediante el empleo de los modelos hidrogeológicos. En el proceso de calibración del modelo, es posible ajustar los valores de T, como también las condiciones de borde, aspectos ambos que inciden en la precisión del balance. Sin embargo, para que ésto pueda llevarse a cabo, se requiere contar con elementos de contraste entre las salidas del modelo y las medidas efectuadas en terreno. Dado que durante todo el período de registro no se ha notado variaciones de importancia, se carece de elementos de contraste por lo tanto, la calibración no se puede llevar a cabo, al menos por ahora.

A pesar de lo expresado en el período anterior, se considera que el grado de conocimiento adquirido del acuífero es suficiente como para programar su explotación.

Sobre la base de este estudio, se puede completar la tercera etapa prevista, sobre Empleo de Agua Subterránea, y los criterios de explotación, aún sin recurrir al empleo del modelo hidrogeológico.

13. MODELO HIDROGEOLOGICO

Un modelo hidrogeológico, en general tiene dos objetivos que cumplir:

- Precisar los términos del balance, las condiciones de borde y las características hidráulicas, cuando no se dispone de datos suficientes.
- Construir una herramienta de cálculo, de fácil manejo, que permita predecir, con suficiente antelación, el comportamiento hidráulico del embalse subterráneo, frente a diferentes condiciones hidrológicas y a distintas modalidades de explotación.

La precisión de un modelo y por lo tanto su capacidad para simular su comportamiento futuro está en relación directa con la bondad de su proceso de calibración y validación.

El proceso de calibración, consiste en reproducir matemáticamente, los registros de niveles y/o caudales observados en un lapso dado, denominado período de calibración. Para ello por lo tanto, se requiere tener un cierto registro de observaciones y que estas presenten una variación significativa, como producto de la respuesta del acuífero frente a diferentes excitaciones externas. Esta variación para que sea significativa, debe manifestar una cierta sensibilidad ante las variaciones de los fenómenos naturales o artificiales. El proceso de calibración, consiste en ajustar las variaciones calculadas por el modelo con las variaciones "observadas" en la realidad. Esto se logra mediante sucesivos ajustes a los parámetros hidrogeológicos cuya definición no ha sido posible por medidas directas. La variación se encuadra dentro de los márgenes permitidos por el conocimiento hidrogeológico adquirido en el estudio de detalle.

Una vez que la respuesta del modelo, corresponde a la respuesta observada en la realidad, se puede decir que el modelo está "calibrado", es decir que corresponde a una adecuada representación de la realidad física.

La validación del modelo, es una etapa de comprobación adicional, en la cual se elige otro lapso diferente al que se empleó en la calibración, y en el cual se dispone de datos de variación de niveles y/o caudales. En este caso se pone en funcionamiento el modelo para dicho lapso y se comparan las salidas calculadas con las observadas.

13.1 CONDICIONES DE BORDE

Se denominan condiciones de borde a la existencia de condiciones físicas e hidrogeológicas que de alguna manera "fijan" el valor de una variable. Las condiciones de borde más habituales corresponden a:

- Corrientes de agua superficiales en contacto con el acuífero.
- Vertientes, que corresponden a descargas del acuífero.
- Bordes Impermeables.
- Singularidades hidrogeológicas dentro del embalse subterráneo.
- La relación acuífero - mar.

En el caso particular, de la Isla de Pascua, no existen ni cursos de agua superficiales ni vertientes localizadas e individualizadas, solamente se tiene el mar como elemento circundante a todo el acuífero.

En este caso el mar, impide el paso del agua subterránea desde el continente, produciéndose vertientes, las que se localizan bajo la rompiente, por cuya razón no se han podido individualizar ni medir. La simulación de esta condición de borde se obtiene imponiendo una cota fija igual a "0" a la malla correspondiente.

Fuera de esta situación no hay otra característica que pueda constituir una condición de borde del acuífero, digna de ser simulada, al menos en las actuales condiciones del conocimiento del embalse subterráneo.

13.2 MALLAJE DEL MODELO

Corresponde a la discretización espacial del embalse subterráneo, esto se hace con el objeto de reproducir las diferentes características tanto geométricas como hidráulicas y de la capa. Al mismo tiempo se procura que sirvan para introducir adecuadamente los términos del balance, conforme a la variación espacial que éstos presenten. Los términos del balance corresponden a los ingresos y egresos de agua tal y como han quedado definidos en el capítulo correspondiente a la hidrogeología.

Para el caso de la Isla de Pascua se ha elegido un mallaje de 1 Km. x 1 Km. , tanto en sentido Norte - Sur, como Este-Oeste, con el fin de representar adecuadamente las condiciones de borde con el mar, las características del acuífero y los términos del balance. En todo caso, como se podrá apreciar el mallado es más tupido que lo que sería estrictamente necesario de acuerdo con la densidad de información que existe actualmente, esto se hace con el objeto de que el modelo quede preparado para recibir nueva información en el futuro.

El mallaje se puede apreciar en el plano N° 11 de este informe y tiene 19 líneas y 25 columnas, lo que implica un mallaje de 475 celdas. De este total hay 307 mallas de borde que corresponden al mar, por lo que quedan un total de 168 mallas activas.

Este mallaje es el resultado de varios intentos. Se trató de ajustar otro que correspondiente más a la forma de la Isla de modo de disminuir el número de mallas, se logró sólo un 20% menos de mallas, por lo que se prefirió dejarlas coincidentes con las coordenadas geográficas debido a la facilidad que esto representa para el futuro empleo del modelo.

13.3 DATOS DE ENTRADA

Otro de los aspectos de la preparación del modelo lo constituyen los datos de entrada. Estos se dividen en cinco categorías a saber :

- Características Físicas del Embalse Subterráneo
- Datos del Balance
- Datos de Partida de la Piezometría
- Elementos de Contraste para Calibración
- Datos para Validación.

13.3.1 Datos sobre Características Físicas

Se refiere a los valores de Transmisividad y Coeficiente de Almacenamiento. Tal y como se ha visto en los capítulos anteriores estos valores se han obtenido por diferentes métodos, en forma directa o indirecta. Además solo se ha podido determinar en algunos puntos. De allí que éstos valores se deban considerar como aproximados y constituyen un elemento variable dentro del proceso de calibración o ajuste del modelo. Es decir, se deben variar de acuerdo con la respuesta del modelo, dentro de los límites que fija el estudio hidrogeológico, el cual ha establecido un rango.

El valor de T de entrada se ha supuesto de $20.000 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}$, y además uniforme para todas y cada una de las mallas, salvo algunas de borde. El gráfico adjunto indica el valor de T para cada malla en miles de $\text{m}^3/\text{día}/\text{m}$.

En cuanto al valor del coeficiente de almacenamiento, éste se ha supuesto también en un valor promedio de 0,03, uniforme para toda la Isla.

No hay por el momento ninguna razón hidrogeológica para asignar valores diferentes por malla o por sectores. Aunque necesariamente en la realidad deban ser distintos, sin embargo aún no se dispone de una densidad de datos que permita esas diferencias.

El tercer elemento de entrada lo constituyen las mallas de borde, en este caso, corresponde al mar, el cual a efectos prácticos actúa como una barrera impermeable, por lo que se le ha asignado el valor de T de cero y el del coeficiente de almacenamiento infinito.

Finalmente, el cuarto elemento físico como dato de entrada, lo constituye la cota de terreno, la cual se ha obtenido del mapa topográfico 1:10.000 y se le ha asignado a cada malla, el valor medio de ésta. Esta cota se coloca porque después se instruye al modelo indicándosele como cota máxima que puede alcanzar el nivel de saturación.

13.3.2 Datos de Balance

En el proceso de calibración se elige un lapso para ello, normalmente aquel en el que se dispone de mayor número de datos y mejor calidad de los mismos. Para dicho lapso se deben calcular previamente todas las entradas y salidas de agua desde y hacia el exterior. Esto se refiere en el caso de Isla de Pascua a:

- Las infiltraciones de lluvia
- Las infiltraciones en cursos de agua
- Las extracciones artificiales.

De acuerdo con el análisis efectuado en los capítulos anteriores se ha efectuado un estudio de los valores mensuales de la infiltración por lluvia en mm. para un año medio, la cual se ha aplicado uniformemente a toda la Isla. Del mismo modo que en el caso de la T y S, no hay antecedentes hoy en día como para hacer diferencias entre sectores de la Isla. La distribución mensual del total anual se obtuvo de la tabla deducida en el apartado 12.1.1, del informe hidrogeológico. Para el caso de la infiltración en cursos de agua se ha actuado en forma análoga. Como distribución mensual se adoptó la que se encuentra en el apartado 12.1.2.

CALCULO DE LA INFILTRACION MENSUAL

ENTRADA AL MODELO HIROGEOLOGICO

	INFILTRAC. DE LLUVIA		INFILTRAC. DESDE CURSOS DE AGUA	INFILTRACION TOTAL	INFILTRACION MENSUAL EN MILES DE M ³ POR MALLA			
	% I	I (mm)	% ICA	I TOTAL I (mm)	mm.	Malla 1 Km ²	Malla 0,5 Km ²	Malla 0,25 Km ²
E	9,3	31,6	9,2	25,30	56,9	57	28	14
F	7,6	25	7,1	19,53	44,53	4	22	11
M	3,4	11	6,5	17,88	28,88	29	15	8
A	12,8	42	9,2	25,30	67,30	67	33	16
M	8,0	26,4	7,1	19,53	45,93	46	23	11
J	10,7	35,31	9,2	25,30	60,61	61	30	15
J	25,6	84,48	17,4	47,85	132,33	132	66	33
A	4,8	15,84	8,6	23,65	39,49	40	20	10
S	7,6	25,08	9,8	26,95	52,03	52	26	13
O	7,6	25,08	7,1	19,53	44,61	44	22	11
N	0	0	0	0	0	0	0	0
D	2,2	7,26	7,6	20,90	28,16	28	14	7
TOTAL		328,45		271,72	600,77			

Como valores de entrada para el lapso de calibración se adoptó la cifra de 330 mm. /año, como infiltración desde la lluvia y de 275 mm/año como infiltración de los cursos de agua. Con estos datos y la distribución mensual antes mencionada, se confeccionó una tabla de nueve columnas con las infiltraciones mensuales tanto en % como en valor absoluto, para la lluvia y los cursos de agua, en la columna N° 5 se encuentra la infiltración total por mes. Las columnas 6, 7 y 8 indican el volumen mensual infiltrado en miles de m^3 para mallas de 1 Km^2 , $0,5 \text{ Km}^2$ y $0,25 \text{ Km}^2$, respectivamente.

Esta tabla contiene, por lo tanto, la totalidad de los datos de entrada al acuífero de acuerdo con su discretización espacial y temporal, es decir, malla por malla y mes por mes.

Las salidas se han calculado para los cuatro sondeos que tienen extracción, también se conoce su magnitud mes por mes y en cada malla en que se encuentra. No obstante la magnitud de ésta es tan pequeña en relación con la recarga, que se encuentra dentro del orden de magnitud del error de ésta última, razón por la cual no se ha introducido en el modelo.

Estos valores de infiltración anual y su distribución mensual no son valores precisos, por lo tanto, son también sujeto de cambio durante el proceso de calibración. Normalmente en un modelo se emplean diferentes hipótesis de distribución mensual de infiltración, puesto que no existen observaciones directas que permitan fijar estos valores en cifras absolutas.

En anexo de este tomo se puede apreciar el valor de esta para cada malla y mes.

13.3.3 Datos de Partida de la Cota Piezométrica

Corresponde al valor inicial de la Piezometría para el primer mes del período de calibración elegido, se denota H_0 , y corresponde a la superficie piezométrica del mes de partida. Su valor se ha obtenido del mapa de la superficie piezométrica, para las mallas en que hay curvas. Para el resto de las mallas, se ha obtenido por extrapolación, asumiendo que de alguna manera aumenta el gradiente hacia el centro de la isla. En todo caso los valores máximos que se obtienen corresponden a 2,5 y 3 metros, lo que implica que la profundidad máxima de la interfase se encuentra alrededor de los 100 metros. Situación aparentemente conservadora desde el punto de vista de la evaluación del recurso agua.

13.3.4 Datos de Observaciones de Contraste

El modelo para calibrarse requiere de elementos de comparación provenientes de mediciones directas del acuífero. Para ello debe introducirse como dato de entrada, los registros piezométricos. En el caso de la Isla de Pascua, estos serían los únicos elementos con que se podría comparar la salida teórica del modelo.

De acuerdo con ello se han identificado las mallas que poseen un piezómetro, en total 12 puntos con variación mensual durante casi un año. Como datos de entrada se coloca la piezometría correspondiente a cada uno de dichos puntos, es decir, el nivel referido al nivel del mar. La cota de referencia del punto medida, se ha obtenido de los datos del año 1965 - 1967, porque parecen ser las más fidedignas.

13.3.5 Datos por Validación

Por el momento no existen datos de registros piezométricos que puedan servir para la validación del modelo, por lo que no es posible realizar este proceso.

13.4 PROCESO DE CALIBRACION

Tal y como se ha explicado a lo largo de todo este estudio, la calibración de un modelo consiste en ajustar los parámetros físicos, mediante un proceso de aproximaciones sucesivas.

El modelo produce unas variaciones teóricas del parámetro que se elige como contraste, en este caso la piezometría. Estas variaciones se "comparan" con los valores reales medidos en el terreno y se estudian las causas de las diferencias detectadas. Después se procede a "ajustar" los valores de los parámetros físicos, procurando cambiar uno solo cada vez para reanalizar nuevamente las salidas teóricas. Esto obliga tener un acabado conocimiento del funcionamiento hidrogeológico del acuífero, como también del papel que juega cada una de las variables, para efectuar los cambios adecuadamente. Así pues el proceso de calibración no es un ejercicio matemático, sino que un trabajo hidrogeológico de análisis y síntesis valiéndose de una herramienta matemática e informática que permite efectuar largos, complejos y tediosos cálculos en poco tiempo. Lo que el computador calcula en algunos minutos correspondería al trabajo de meses de un ingeniero especialista. En todo caso se debe tener en cuenta que las "reglas del juego" y las "tolerancias" permitidas, son imposiciones al modelo, es decir, éste se encuentra de alguna manera dirigido. La única forma de limitar esta

dirigibilidad, es el análisis de las medidas observadas en terreno.

Por otra parte, es fácil darse cuenta que si el ajuste se logra mediante el cambio de una serie de variables "independientes" entre sí la solución no es única, se trata de alguna forma de un sistema de ecuaciones indeterminado, podría haber varios juegos de soluciones válidas.

Lo anterior apunta a la necesaria aquilatación hidrogeológica durante todo el trabajo de calibración, con el objeto de evitar cualquier desviación fuera de la realidad física. Por muy exacto y preciso que sea un modelo y un computador, no puede superar la visión física de quien lo está manejando.

Para el caso particular de la Isla de Pascua, esto es particularmente válido, por cuando existen muy pocos elementos de contraste, y los que existen no acusan variación. Esto está indicando que el acuífero "no se da cuenta" o no se "manifiesta" frente a las diferentes excitaciones externas a las que naturalmente se encuentra sometido. En estas circunstancias es muy difícil entablar un "diálogo" con el acuífero, que es lo que se hace en un modelo.

El otro elemento que podría haber ayudado a la calibración - y de hecho es muy importante en otros modelos - es la cota topográfica y la simulación de vertientes. El modelo es capaz de generar vertiente cuando el nivel del agua sube por encima de la cota topográfica. Después se compara con la realidad, en los sitios donde pueda haber vertientes y de ese modo se procede al ajuste. En este caso, se requeriría un ascenso de niveles del orden de 30 ó 40 metros para provocar esta situación; lo que no puede suceder debido al elevado valor de la Transmisividad. En cambio puede producir una rápida escorrentía al mar del "exceso" de agua infiltrada. Bajo las circunstancias antes descritas, es casi imposible obtener una adecuada calibración, por ello es que construir un modelo constituye un peligro porque se puede llegar a resultados del todo ajenos a la realidad, lo que además implicaría sacar conclusiones a futuro que pueden ser peligrosas. Dado que lo que se trata en el fondo es conocer las posibilidades de obtención de agua desde el acuífero, su evolución futura y los riesgos a medio y largo plazo, se debe tener especial cuidado en ser rigurosos. Una visión muy audaz podría llevar a sobreexplotar el acuífero con la consiguiente pérdida de inversiones para el aprovechamiento del agua; por otra parte una visión excesivamente conservadora puede conducir a la subexplotación del acuífero y en consecuencia limitar el desarrollo social y económico de la Isla.

Frente a todo lo anterior, se estima, que el conocimiento ad-

quirido del acuífero de la Isla de Pascua, es suficiente como para informar sobre las condiciones de existencia del agua subterránea en la Isla de Pascua y sus posibilidades de explotación, sin necesidad de recurrir al empleo de un modelo hidrogeológico, al menos por el momento.

13.5 ELEMENTOS FISICOS DE CONTRASTE

Este tema fue ampliamente expuesto en el apartado correspondiente a los datos de entrada.

Sólo cabe comentar las razones por las cuales se eligió la piezometría como elemento de contraste.

El modelo hidrogeológico, se basa en dos ecuaciones fundamentales a saber :

- La Ley de Esgurrimento en Medios Permeables basada en la Ley de D'arcy, que constituye la ecuación fundamental de la Hidrogeología.

- La Ley de Continuidad de Masas.

El nivel piezométrico es el resultado final "combinado" de todas y cada una de las entradas y salidas de agua en cada malla en que se ha dividido el acuífero. De allí que cuando la representación matemática de las características físicas del acuífero, no corresponde a la realidad, esto se acusa rápidamente en el análisis comparativo.

El ingreso de datos de entrada, se ha obtenido de la medición de niveles del año 1989, en el que se ha calculado la cota del nivel estático en cada pozo, por diferencia entre la cota del punto de medida y la profundidad del nivel estático. La cota del punto de medida de cada sondeo, corresponde a la indicada durante la construcción y se reproduce a continuación para facilitar la comprensión y revisión de este informe.

COTA DEL PUNTO DE MEDIDA DE CADA SONDEO
CON REGISTRO MENSUAL DE NIVELES

SONDEO	Nº	COTA m.s.n.m.
ANAKENA	13	21,03
OVAHE	14	14,91
LA PEROUSSE	15	24,07
RANO RARAKU	19	33,18
MATAVERI OTAI	7	30,70
POIKE	24	42,57
SANATORIO	26	64,55
TERA AI	21	60,01
MATAVERI	25	43,09
AKAHANGA	11	33,96
VAITEA	23	95,95

En todo caso, tal y como se ha indicado en los apartados anteriores, se deberá en el futuro efectuar una minuciosa y exhaustiva nivelación, con una base clara y cierta del nivel medio del mar, debido a que cobra mucha importancia la precisión de esta medida frente a los criterios de explotación y en particular frente a los sistemas de vigilancia y control. Una vez que esto se realice se deberá recalcular nuevamente las tablas de variación de niveles, como también las isopiezas.

13.6 PROGRAMA DE MEDICIONES FUTURAS

Este capítulo se refiere al conjunto de mediciones que es necesario realizar para disponer en el futuro de mayores y mejores antecedentes para el modelo. Desde este punto de vista, se debe continuar con la medición quincenal o mensual en cada uno de los sondeos que se midieron con ocasión de este informe. Sería particularmente importante elegir uno o dos sondeos que no se empleen para instalarles registradores continuos del nivel de saturación. De ese modo se podría estudiar con mayor precisión, la relación del nivel estático con las mareas y con las precipitaciones.

En otro capítulo se entregará un completo detalle del programa de mediciones tendiente a conocer mejor el comportamiento hidráulico del embalse subterráneo, lo que sin duda redundará asimismo en una mejoría del modelo.

14. EMPLEO DEL AGUA SUBTERRANEA

De acuerdo con el análisis que se ha hecho en todo el informe que se entrega, se pueden establecer con suficiente grado de detalle, las posibilidades de explotación del acuífero. En todo caso, hay que tener en cuenta que la precisión del estudio corresponde a la cantidad y densidad de datos de que se ha dispuesto y en consecuencia las conclusiones que se entregan no tienen una precisión mayor que ésta.

14.1 AREAS MAS PROMISORIAS PARA OBTENER AGUA

De acuerdo con el grado actual del conocimiento prácticamente toda la isla, constituye un acuífero susceptible de ser explotado, sin embargo es posible distinguir áreas de acuerdo con su accesibilidad, nivel estático y caudales a extraer.

El plano Nº 11, diferencia cuatro tipos de áreas a saber:

- Areas más favorables para captar
- Areas en que se debe captar con precaución
- Areas con riesgo de intrusión
- Areas con dificultades de acceso.

Las áreas más favorables para captar corresponden al sector comprendido entre las cotas 100 y 200, en ellas el nivel del agua se situaría entre 2 y 2,5 m.s.n.m., con lo cual se dispone de un mayor espesor de acuífero para bombear. Estas zonas a su vez se disponen en tres áreas correspondientes a las faldas de los volcanes Rano - Kao, Tere vaka y Poike, siendo la más amplia de las tres la que corresponde al Tere Vaka.

Las áreas en que se requiere tener precaución, se localizan entre la cota 50 y 100 aproximadamente, la cota del nivel estático se encuentra entre 0,5 y 1,5 metros y permite una extracción menor por cada pozo.

El sector comprendido entre el borde del mar y la cota 50, se ha catalogado como de riesgo de intrusión y la extracción de agua en dicho lugar debe hacerse con caudales bajo los 10 l/s y con un control riguroso de niveles, volúmenes bombeados y calidad química del agua.

Finalmente, se ha detallado una cuarta área como de difícil

acceso, sobre la cota 200. En realidad este sector es asimismo apto para la extracción de agua subterránea de buena calidad, pero no es fácil acceder con la máquina para perforar, además los sondeos deben ser de más de 200 metros de profundidad y corresponde aparentemente a un clima más ventoso y en principio menos apto para el desarrollo de una agricultura de riego.

14.2 POZO TIPO PARA CADA AREA

En el mismo plano N° 11, se ha dibujado las características generales de un pozo tipo para cada área.

En el área más favorable, la profundidad estaría comprendida entre 100 y 200 metros, se debe perforar en 12" para alojar comodamente un bomba capaz de extraer 20 a 30 l/s desde 200 metros. El nivel estático estaría comprendido entre 2,0 y 2,5 m.s.n.m. y el nivel dinámico entre 1,0 y 1,5 mm.s.n.m. aproximadamente.

En el área de explotación con precaución el sondeo tendría una profundidad comprendida entre 50 y 100 metros, se debe perforar en 10" para extraer un caudal comprendido entre 10 y 20 l/s. El nivel estático se situaría entre : 1,0 y 1,5 m.s.n.m. y el nivel dinámico para 20 l/s entre 0,5 y 1,0 m.sa.n.m..

En el área de riesgo de intrusión los sondeos serían de una profundidad comprendida entre 20 y 50 metros habilitados asimismo en 10" u 8", para extraer un caudal máximo de 10 l/s.

14.3 CARACTERISTICAS Y CONDICIONES CONSTRUCTIVAS

El sondeo debe perforarse en un solo diámetro desde el principio hasta el final, recto y sin desviaciones.

Se puede emplear cualquier tipo de máquina de perforar ya sea rotación o percusión (excepto la rotación inversa). En cada caso se debe disponer de un trépano martillo (Hammer - bit) accionado por un compresor de aire, para que sea capaz de perforar los niveles de basaltos duros y evitar así la desviación de los sondeos, problema muy común en los pozos de la isla y que ha significado que a veces un sondeo deba repetirse dos o tres veces.

En cuanto a la entubación, basta con colocar una guía en los tres primeros metros del sondeo. No es necesario entubar el sondeo hasta el nivel del agua debido a que las paredes al

ser de roca se sostienen adecuadamente. Además, no se aconseja el empleo de cribas o ranurados debido al elevado índice de incrustabilidad de las aguas subterráneas. Experiencias en ese sentido, llevaron a la necesidad de extraer la tubería en algunos sondeos, la que se encontró completamente incrustada en un lapso breve de tiempo, haciendo bajar considerablemente el rendimiento del sondeo.

Del mismo modo, estos sondeos no requieren empaque de grava, ni desarrollo.

14.4 PRESUPUESTO DE LAS OBRAS

Se entiende, que lo que se requiere en este caso, es conocer en un primera aproximación, cual es el orden de magnitud de los costos de obtención de agua subterránea para regadío.

En realidad, una correcta respuesta a esta pregunta, implica disponer de un anteproyecto de desarrollo agrícola, para determinar caudales, sectores, demanda máxima, etc. Sin embargo, se entiende que para estudiar la viabilidad de un desarrollo agrícola de riego se necesita disponer previamente de un orden de magnitud de los costos. En consecuencia, para romper el círculo vicioso, se hará una serie de hipótesis sobre las cuales se efectuaron los cálculos correspondientes.

- Se supondrá unidades mínimas de desarrollo agrícola de 50 hás. cada una, en el sector favorable a las captaciones y de 30 hás. en el que se debe extraer con precaución.
- La demanda punta, se establecerá en 50 y 30 l/s respectivamente, para cada sector.
- Se asume que la distancia media de línea eléctrica de Alta Tensión a cada sondeo es de 2,5 kilómetros.
- Se parte de la hipótesis que la actual línea que une Hanga Roa con el Sanatorio, por una parte y Hanga Roa con Vaitea por otra tiene capacidad suficiente como para soportar mayor carga.
- La campaña de sondaje requiere de una cantidad mínima de 1.000 metros perforados, como para hacer rentable el desplazamiento de maquinarias y personal a la Isla de Pascua.

Bajo estas suposiciones se ha calculado un costo aproximado del grupo de sondeos requerido para regar las unidades de superficie establecidas.

14.4.1 Obras en Sector más Favorable desde el punto de vista del Agua Subterránea

El riego de 50 hás., requiere la construcción de 3 sondeos de 200 metros cada uno, y una bomba capaz de extraer 30 l/s a 200 metros en cada sondeo, lo que implica 120 HP en cada caso.

El costo por cada sondeo se desglosa de la siguiente manera:

Perforación y habilitación 200 m x 15 UF c/m	3.000 UF
Bomba 30 l/s a 200 Mt. con 200 Mt. columna	2.000 UF
Transformador e Instalador Eléctrico	450 UF
Línea Eléctrica en A-T/(2 Km.)	600 UF

TOTAL	6.050 UF

Dado que en total se trata de 3 sondeos, se obtiene una inversión de 18.150 UF para cada unidad de 50 Hás., lo que representa un costo por hectárea de 363 UF

14.4.2 Obras en Sector en que se Requiere Precaución para Explotar

En este caso, los sectores son más reducidos de 30 hectáreas, y de 10 l/s cada uno con una profundidad de 100 metros. Tal como en el caso anterior, se ha supuesto el máximo de profundidad, por la eventualidad de tener que regar desde la cota máxima hacia abajo.

El costo por cada sondeo, con sus instalaciones de bomba y eléctricas se desglosa de la siguiente manera:

Perforación y habilitación 100 m. a 15 UF c/u	1.500 UF
Bomba 10 l/s a 100 Mt.	1.000 UF
Transformador e Instalación Eléctrica	300 UF
Línea Eléctrica A.T (2Km.)	600 UF

TOTAL	3.400 UF

Para los 3 sondeos, se obtiene un total de 10.200 UF como inversión, la cual, si se distribuye en las 30 há. arroja, un costo unitario de 306 UF/Há.

14.5 CALIDAD QUIMICA ESPERADA

En el estudio hidrogeológico, ha quedado de manifiesto, la calidad química de las aguas en los diferentes sondeos y sectores de la Isla. No hay razones para suponer que la calidad vaya a ser diferente.

En los sectores más favorables para perforar, a saber los de mayor altura, se espera una calidad similar a la del pozo 23 Vaitea, es decir, un total de sólidos disueltos del orden de 500 mgs./Lt., eventualmente podría alcanzar hasta 700 mgs./Lt. Los iones predominantes serían el cloruro y el sodio causantes del 50% del total de sales disueltas.

En el sector bajo la cota 100 y hasta la cota 50, indicada como explotable con precauciones, se espera un total de sólidos disueltos de 700 a 1.000 mgs./Lt. Del mismo modo los iones predominantes corresponden a los cloruros y sodio, los cuales pueden alcanzar al 70% del total de sales disueltas.

El resto de los compuestos químicos se encuentran dentro de los límites establecidos por las normas de potabilidad del agua y en consecuencia son aptos para cualquier uso.

La permanencia de estos valores en el tiempo, depende de la manera en que se explota el acuífero y del sistema de vigilancia y control que se adopte.

14.6 MODALIDAD DE EXPLOTACION PARA CADA AREA O POZO TIPO

Esto se refiere a las líneas generales de empleo de cada pozo en cada una de las tres áreas. En los capítulos posteriores se definirán los criterios de explotación del embalse subterráneo en su conjunto. Ahora se explicará la modalidad de operación de cada sondeo.

- * En primer lugar se debe disponer en cada pozo de una curva característica del caudal - altura de elevación, realizada una vez terminada la perforación. De acuerdo con esta curva se determinará el caudal de explotación más aconsejable de éste.

- * En segundo lugar se debe llevar un control estricto de los niveles estáticos y dinámicos en cada sondeo, así como del valor de la conductividad.
- * En tercer lugar, se requiere disponer de un registro de los volúmenes extraídos a nivel mensual.

Todos estos antecedentes, harán posible llevar adelante una explotación programada y controlada del embalse subterráneo.

En cuanto al ritmo de extracción en el tiempo, parece en principio no haber restricciones para un bombeo continuo, 24 horas días todo el año, en todo caso ese aspecto será analizado junto con los resultados de las pruebas de bombeo. Sin embargo si el agua se emplea para riego, lo más probable es que exista una variación diaria y mensual de los volúmenes requeridos por lo que no sería necesario bombear en forma continua.

Para el caso particular de los sondeos en el área con riesgo de intrusión sería conveniente, disponer de un sondeo de reconocimiento que penetre la interfase, para conocer y determinar su variación en el tiempo, mediante el empleo de una sonda de conductividad que permita su registro a diferentes profundidades.

15. CRITERIOS DE EXPLOTACION

Cualquier embalse subterráneo que se desee explotar requiere de una política de empleo o criterio de explotación que haga posible su mejor aprovechamiento, teniendo presente, tanto los aspectos económicos como la conservación del recurso en cantidad y calidad.

15.1 EXPLOTACION PROGRAMADA Y CONTROLADA

Un acuífero vulnerable y con poca densidad de información, como es el caso del de la Isla de Pascua, requiere particularmente de una programación de su explotación y de un control de la misma.

En cuanto al programa se establecen los siguientes criterios:

- De preferencia comenzar con la explotación de los sondeos del sector más favorable, para después continuar con el de precaución y finalmente con el de riesgo.

- Distanciar los sondeos al menos 150 metros entre ellos.
- Limitar los caudales extraídos por pozo a lo que se indica en cada sondeo tipo.
- Limitar la extracción total en la Isla a un volúmen anual de 15 Mm^3 , equivalente a un caudal continuo de 500 l/s.
- En función de la respuesta que se obtenga, se puede ir aumentando progresivamente el volúmen total anual extraído, en la Isla.
- El aumento de volúmenes extraídos, se hará por sectores de acuerdo con la respuesta que se obtenga, en la primera fase de explotación, la cual se estima en un mínimo de dos años.
- En cuanto al control se debe medir los niveles estáticos y dinámicos al menos quincenalmente, durante el primer año de bombeo. Después se pueden distanciar hasta una vez al mes, en caso de aparecer como conveniente.
- Se requiere además instalar en cada sector de bombeo un medidor continuo del nivel estático, dentro de un sondeo que tenga un diámetro del orden de 8" como mínimo.
- Se puede emplear el mismo sondeo para registrar la conductividad del agua a diferentes profundidades.
- Cada seis meses se debe efectuar un análisis de los registros de niveles, caudales y químicos y efectuar una evaluación del funcionamiento para reprogramar la explotación en caso necesario.
- Se recomienda estudiar una forma administrativa, dentro del esquema legal existente, que permita ejercer los controles indicados, para cumplir con el programa establecido.

15.2 AUMENTO PAULATINO DE LAS EXTRACCIONES

El objeto de una explotación programada, es el de ir aumentando paulatinamente las extracciones, de acuerdo con la respuesta que se vaya obteniendo del acuífero.

Dado que en principio, la finalidad del presente estudio es la de regar, se entiende que un proceso de desarrollo agrícola de esta naturaleza se efectúa en forma progresiva, por lo tanto las demandas irán creciendo en el tiempo. En consecuencia, se ajusta a un sistema de explotación programada en que cada etapa es consecuencia de la anterior.

De acuerdo con el conocimiento hidrogeológico que se posee actualmente se puede pensar en principio en tres etapas de 500 l/s ; 750 l/s y 1.000 l/s, separadas por lapsos de dos años entre sí.

Se estima que los caudales indicados son interesantes para un programa de riego en la Isla.

15.3 SISTEMAS DE VIGILANCIA Y CONTROL DEL ACUIFERO

Tres son los aspectos fundamentales que se deben controlar en el acuífero de la Isla de Pascua a saber:

- Variación de Niveles Estáticos.
- Caudales y Volúmenes Extraídos desde cada Sondeo.
- Calidad Química de las Aguas.

15.3.1 Variación de Niveles

Si se establece una explotación programada de 500 l/s y esto se hace mediante 10 zonas de 50 l/s cada una debería haber al menos un sondeo de observación de niveles en cada sector de 50 l/s, equipado con un registro inscriptor.

A ello se le deben sumar los 12 sondeos que actualmente se controlen y todos los sondeos de explotación que se construyan. Las medidas deben ser quincenales en todos y cada uno de los sondeos.

Esto da una cantidad de 50 pozos con observaciones aproximadamente, lo que representa una densidad de un dato de

variación de niveles por cada 3 Km². Es importante destacar que el dato de nivel debe registrarse aunque este no varíe. La no variación es un dato muy importante de consignar.

Todos estos datos deben ser registrados en planillas, archivados y guardados en computador. Cada seis meses se requiere analizarlos y producir un informe con sus resultados. Dentro de esto se encuentra la detección de posibles errores de medidas o de errores sistemáticos, los que deben ser detectados a tiempo y programar las correcciones pertinentes.

15.3.2 Caudales y Volúmenes Extraídos

En cada sondeo, deberá haber un medidor de flujo de los volúmenes bombeados, los cuales deben registrarse mensualmente en planillas y archivadores, también en un computador. Este registro, simple y sencillo, complementa al anterior y debe asimismo estar incluido en los informes semestrales antes indicados.

La comparación entre volúmenes extraídos y variación de niveles permitirá estudiar con mayor precisión el coeficiente de almacenamiento del acuífero de la Isla, en los diferentes sectores de explotación.

15.3.3 Calidad Química de las Aguas

Se requiere un análisis químico completo con periodicidad semestral en cada uno de los sondeos que se extraiga agua subterránea.

A parte de ello, se puede emplear como elementos traza, el contenido de cloruros y la conductividad. Dentro de este contexto se debe medir quincenalmente la conductividad en cada sondeo de explotación y mensualmente efectuar una determinación del contenido de cloruro.

Además, en los sondeos de observación se debe efectuar registro de conductividad a diferentes profundidades, cada 15 días.

Todos estos antecedentes, debidamente registrados formarán parte del informe semestral antes indicado.

16.

PROCESO DE AJUSTE

INTRODUCCION

El proceso de ajuste o calaje tiene como objetivo conseguir que el Modelo Hidrogeológico represente en la mejor forma posible el embalse subterráneo modelado. Esto se consigue por aproximaciones sucesivas, mediante modificaciones en los valores asignados a las características hidráulicas y de borde del acuífero. El contraste entre la simulación y la realidad, que señala el grado de aproximación entre el modelo y el acuífero en estudio, se realiza basándose en tres diferentes aspectos.

Estos son:

- Contraste Piezométrico

Los niveles simulados deben tener una razonable concordancia con los niveles medidos en los piezómetros existentes en el área de estudio. Esta concordancia sobre todo debe presentarse en las variaciones de los niveles en el tiempo, que son las que reflejan el funcionamiento del embalse subterráneo.

- Salidas por Vertientes

El acuífero de la Isla de Pascua descarga sus recursos por vertientes, que se han detectado cercanas a la cota, o directamente al Océano de modo submarino. La escasez de vertientes registradas señala que mayoritariamente las descargas son submarinas.

En el modelo estas descargas se han simulado como vertientes localizadas en la costa con una altura de vertimiento de 0,01 m.s.n.m.

- Balance Másico

Los diferentes elementos del balance másico que evalúa la simulación, deben guardar relación con los volúmenes estimados en el balance a nivel anual presentado en los informes anteriores. Este es un elemento de gran importancia, que complementa los otros dos en el contraste del modelo con la realidad.

El proceso de ajuste, como se ha dicho, consiste en conseguir el mejor parecido entre lo simulado y lo observado, similitud que se comprueba en los tres elementos de contraste antes señalados. Para ello se debe

modificar las características acuíferas en el parámetro que parezca poder corregir las deficiencias existentes. Por ejemplo si aparecieran vertientes en un sector donde en realidad no existen habría, seguramente, que aumentar la transmisividad en el sector para permitir que el agua siga escurriendo subterráneamente sin aflorar. Este tipo de cambios se van haciendo gradualmente, afectando sólo un parámetro por vez.

En el capítulo que sigue a continuación se describe el proceso de ajuste del Modelo Hidrogeológico de la Isla de Pascua. En él se presenta y analiza los resultados de cada pasada de ajuste, para luego discutir los cambios realizados para la siguiente pasada.

En cada caso se incluye anexo la siguiente información:

- Resumen del Balance Másico para cada pasada.
- Esquema de los volúmenes que entran y salen subterráneamente de cada sector por los bordes permeables para cada pasada.
- Gráfico de las variaciones piezométricas medidas y simuladas en los piezómetros de contraste para la primera y última pasada de ajuste.

Es necesario aclarar también que se ha resumido varias pasadas en una, de manera de lograr una presentación más sintética y comprensible. Para ello se ha agrupado en una las pasadas que hayan perseguido un mismo objetivo o bien aquellas donde los cambios realizados hayan sido similares.

RELACION DE PASADAS

- Pasada Nº 1

Se efectuó con los datos de entrada preparados de acuerdo a lo descrito anteriormente.

Los resultados se resumen en el esquema del Balance Másico adjunto. Allí se advierte que las recargas provienen exclusivamente de las infiltraciones por lluvias, que alcanzan casi los 100 Millones de m³ anuales. Las descargas

del acuífero se producen mayoritariamente a través de las vertientes y descargas submarinas y en forma secundaria por el bombeo de pozos.

En esta primera pasada los niveles piezométricos simulados suben notablemente, a diferencia de los niveles observados que se mantienen relativamente constantes.

Para la Pasada N° 2 se plantea como cambio subir globalmente la transmisividad a $60.000 \text{ m}^2/\text{día}$, con la intención de permitir que las aguas subterráneas se desplacen más rápidamente hacia los sectores costeros donde se encuentran las descargas submarinas y las vertientes.

- Pasada N°2

En la Pasada N° 2 no se observa una mejoría importante respecto del alza de niveles señalada para la pasada anterior. El Balance Másico se resume en el esquema adjunto y es básicamente igual al de la Pasada N° 1.

Para la Pasada N° 3 se revisará las cotas mínimas de descarga de las vertientes costeras, volviendo la transmisividad a $20.000 \text{ m}^2/\text{día}$.

- Pasada N° 3

La revisión de las cotas mínimas de vertientes permitió constatar que en el sector costero los valores asignados originalmente, iguales a la cota media de terreno de cada malla, resultaban altos como para modelar adecuadamente las descargas submarinas del acuífero al océano. Se bajó entonces en la mayor parte del contorno costero la cota de las vertientes a $0,01 \text{ m.s.n.m.}$ Se presenta un diagrama que ilustra las mallas donde se hizo este cambio.

Los resultados obtenidos mostraron que los cambios resultaron ser eficaces. En el esquema del Balance Másico que se adjunta, se advierte que las vertientes y descargas submarinas aumentaron casi al doble, prácticamente igualando las recargas al acuífero.

El contraste piezométrico mejoró también bastante, aunque todavía los niveles simulados no coinciden en forma aceptable con los medidos en los meses de Julio, Agosto, Septiembre y Octubre.

Como cambio para la Pasada N° 4 se sugiere subir la transmisividad a $60.000 \text{ (m}^2/\text{día)}$, para hacer más rápido el

tránsito de las aguas subterráneas hacia el sector costero, donde se ubican las vertientes.

- Pasada N° 4

Se hizo los cambios señalados anteriormente, sin descubrir una mejoría importante. El esquema del Balance Másico que se incluye, muestra que prácticamente no hay diferencias con la Pasada N° 3.

Para la Pasada N° 5 se modificará el coeficiente de almacenamiento, subiéndolo de 3% a 9% . La transmisividad se volverá a los 20.000 m²/día originales.

- Pasada N° 5

Se corrió con los cambios anunciados, resultando una importante mejoría en el contraste piezométrico. Allí los niveles simulados muestran variaciones bastante similares a las de los niveles observados, persistiendo aún, aunque muy atenuada respecto de lo anterior, una diferencia en los tres meses posteriores a Julio, cuando las infiltraciones modeladas son altas.

Respecto del Balance Másico, que se presenta en esquema adjunto, es muy similar al de la Pasada N° 4 aunque con un ligero aumento de las vertientes alimentando con una pequeña disminución del volumen de agua almacenada en el acuífero.

Para la Pasada N° 6 se cambiará la transmisividad por $T = 60.000 \text{ m}^2/\text{día}$.

- Pasada N° 6

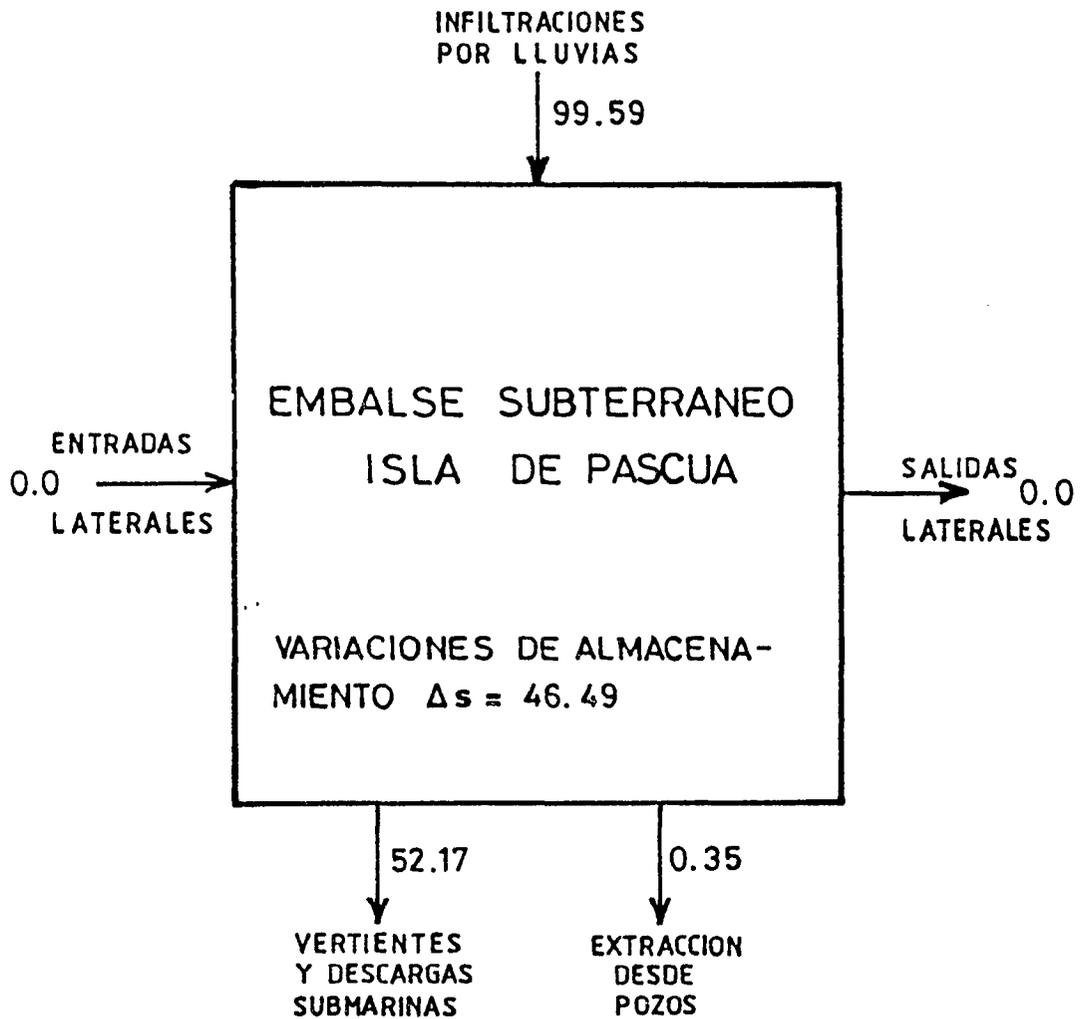
Los resultados muestran una mejoría en el contraste, que lleva a la mayor parte de los piezómetros a presentar una adecuada similitud entre los niveles simulados y los medidos.

En cuanto al Balance Másico, sus valores son similares a los de las últimas 2 pasadas y básicamente muestra a las vertientes descargando un volumen similar al de las infiltraciones por lluvias, que son las recargas del acuífero, y las variaciones de almacenamiento cercanas a cero.

Los resultados obtenidos en esta pasada dan un ajuste razonable entre las manifestaciones observadas del acuífero y la simulación del modelo hidrogeológico. En el futuro podrá seguir afirmándose esta calibración, en la medida que se siga recopilando antecedentes del embalse subterráneo.

PASADA N° 1

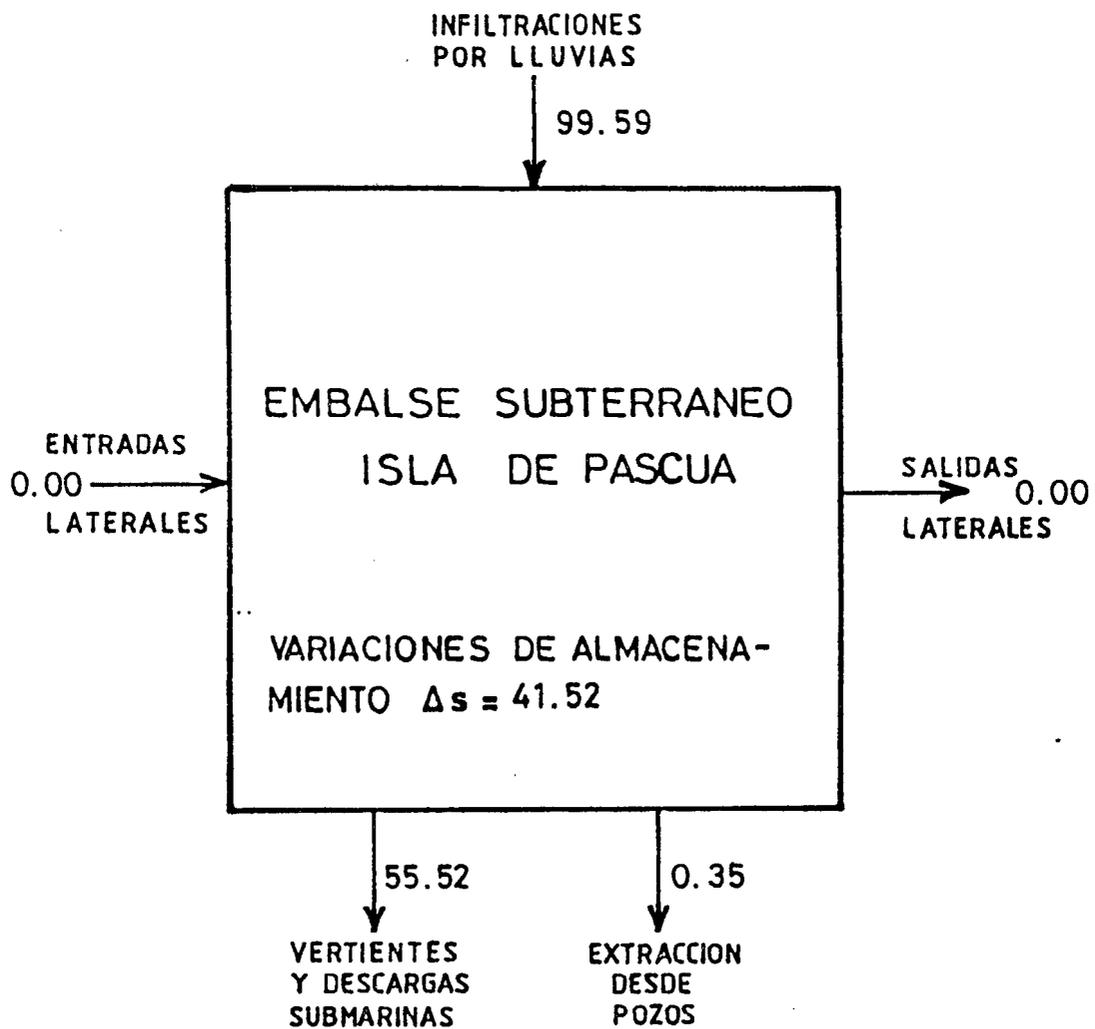
VALORES EN (Mm³/año)



ENTRADAS = 99.59 (Mm³/año)
SALIDAS = 52.52 (Mm³/año)
VAR. ALMACENAMIENTO = 46.49 (Mm³/año)

PASADA N° 2

VALORES EN (Mm³/año)



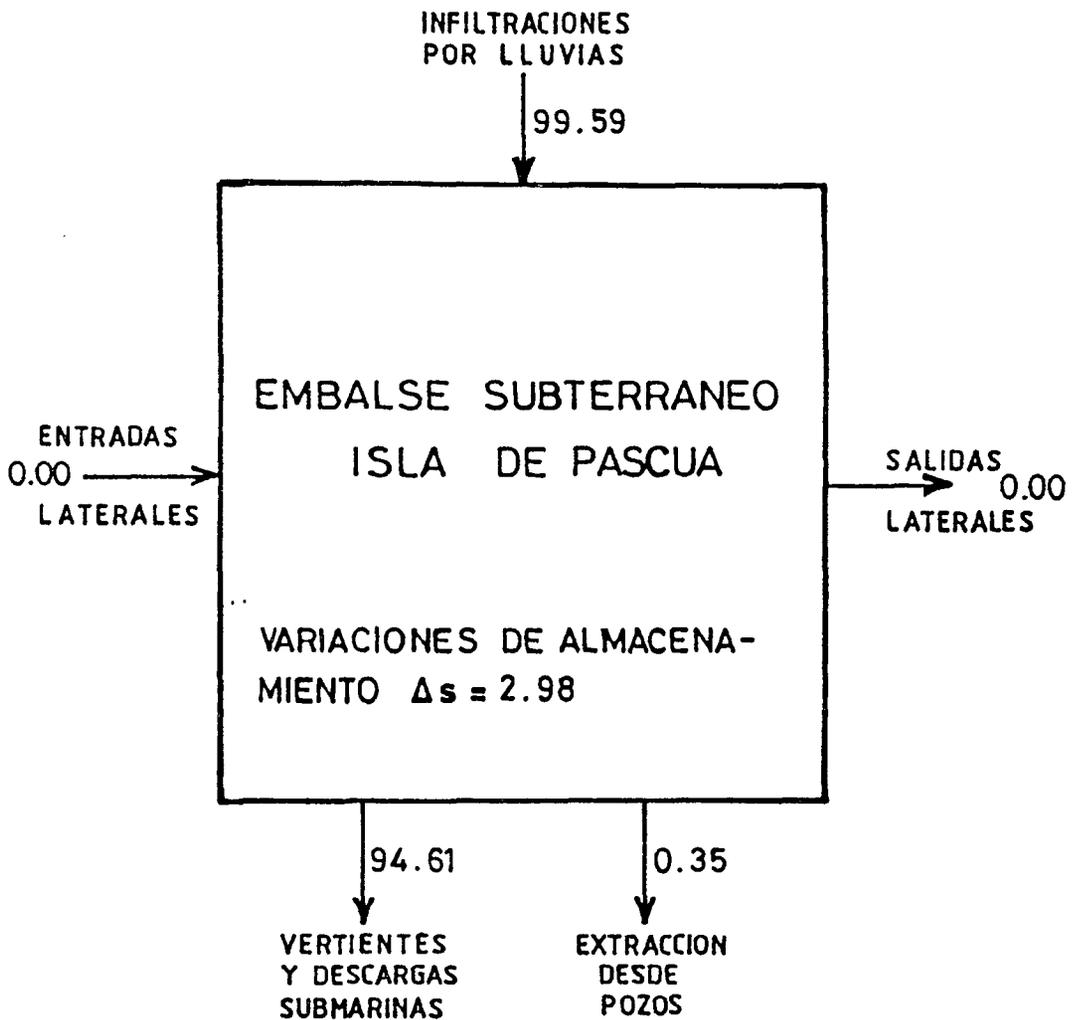
ENTRADAS = 99.59 (Mm³/año)

SALIDAS = 55.87 (Mm³/año)

VAR. ALMACENAMIENTO = 41.52 (Mm³/año)

PASADA N° 3

VALORES EN (Mm³/año)



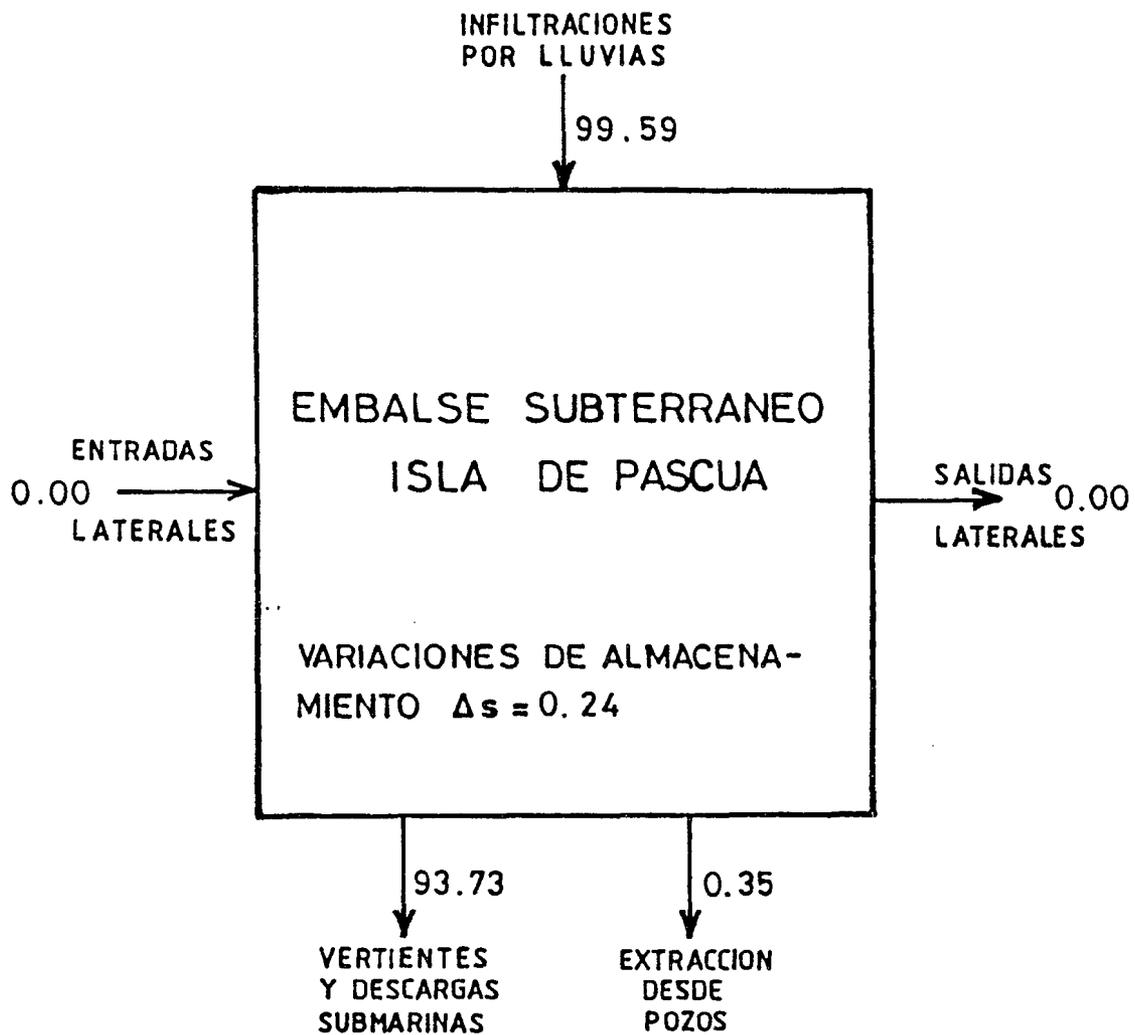
ENTRADAS = 99.59 (Mm³/año)

SALIDAS = 94.96 (Mm³/año)

VAR. ALMACENAMIENTO = 2.98 (Mm³/año)

PASADA N° 4

VALORES EN (Mm³/año)



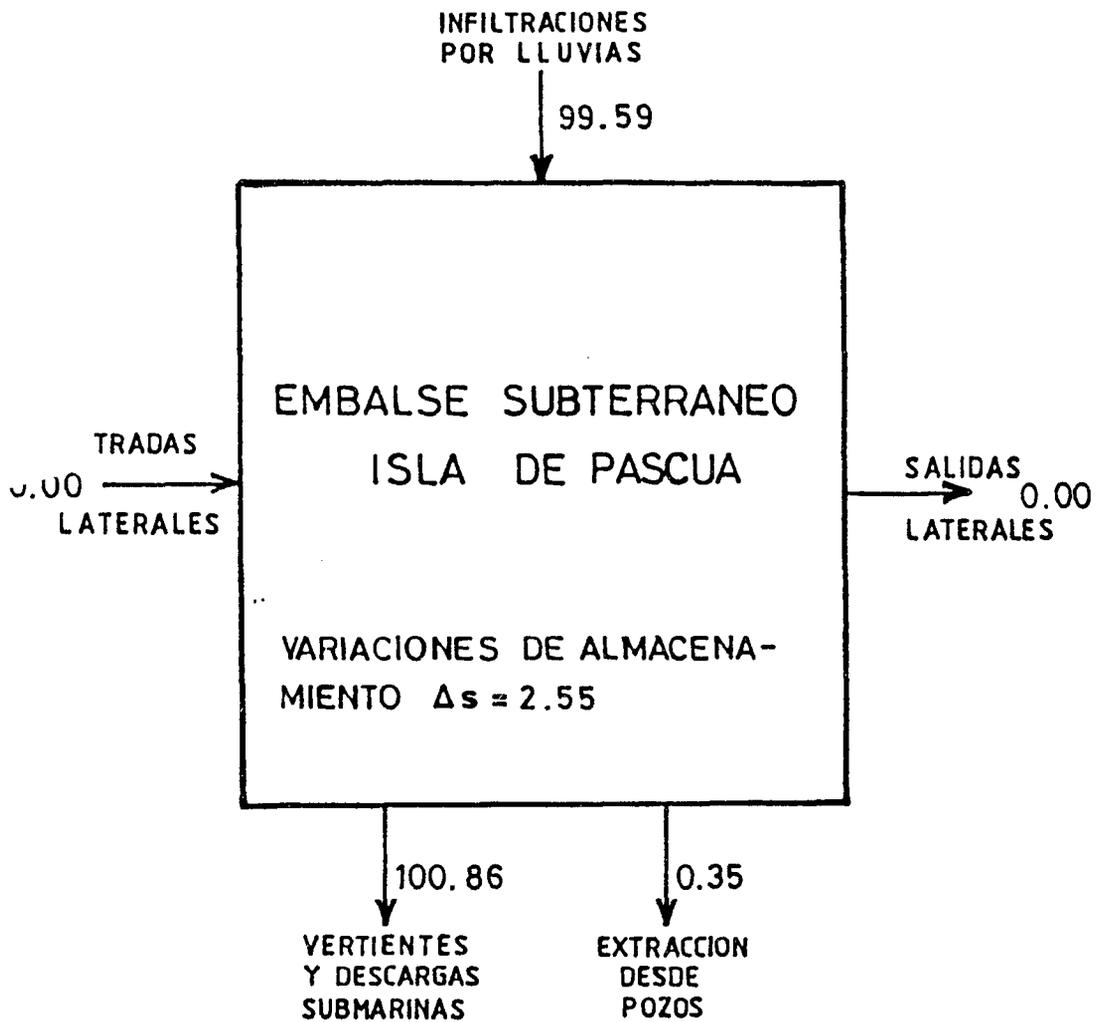
ENTRADAS = 99.59 (Mm³/año)

SALIDAS = 94.08 (Mm³/año)

VAR. ALMACENAMIENTO = -0.24 (Mm³/año)

PASADA Nº 5

VALORES EN (Mm³/año)



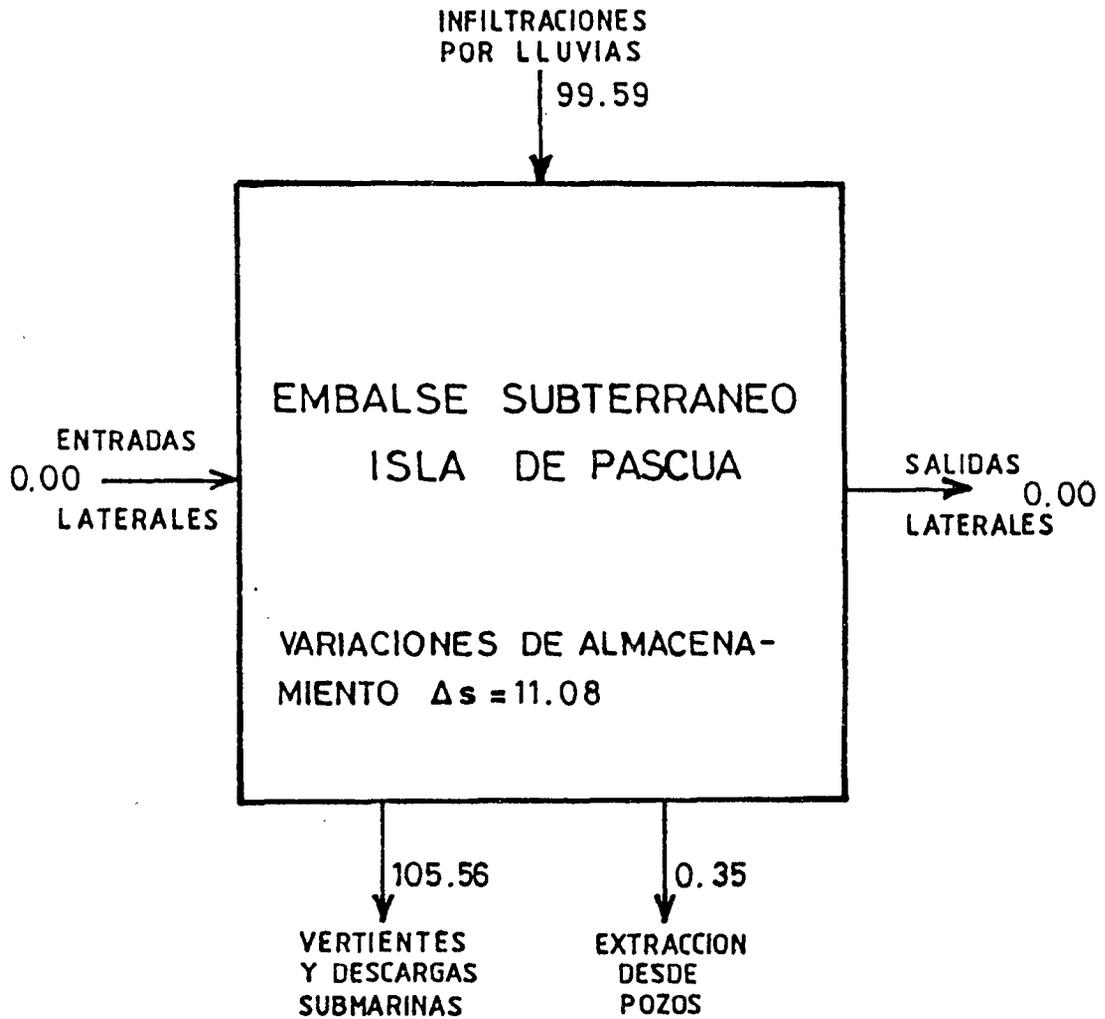
ENTRADAS = 99.59 (Mm³/año)

SALIDAS = 101.21 (Mm³/año)

VAR. ALMACENAMIENTO = -2.55 (Mm³/año)

PASADA N° 6

VALORES EN (Mm³/año)

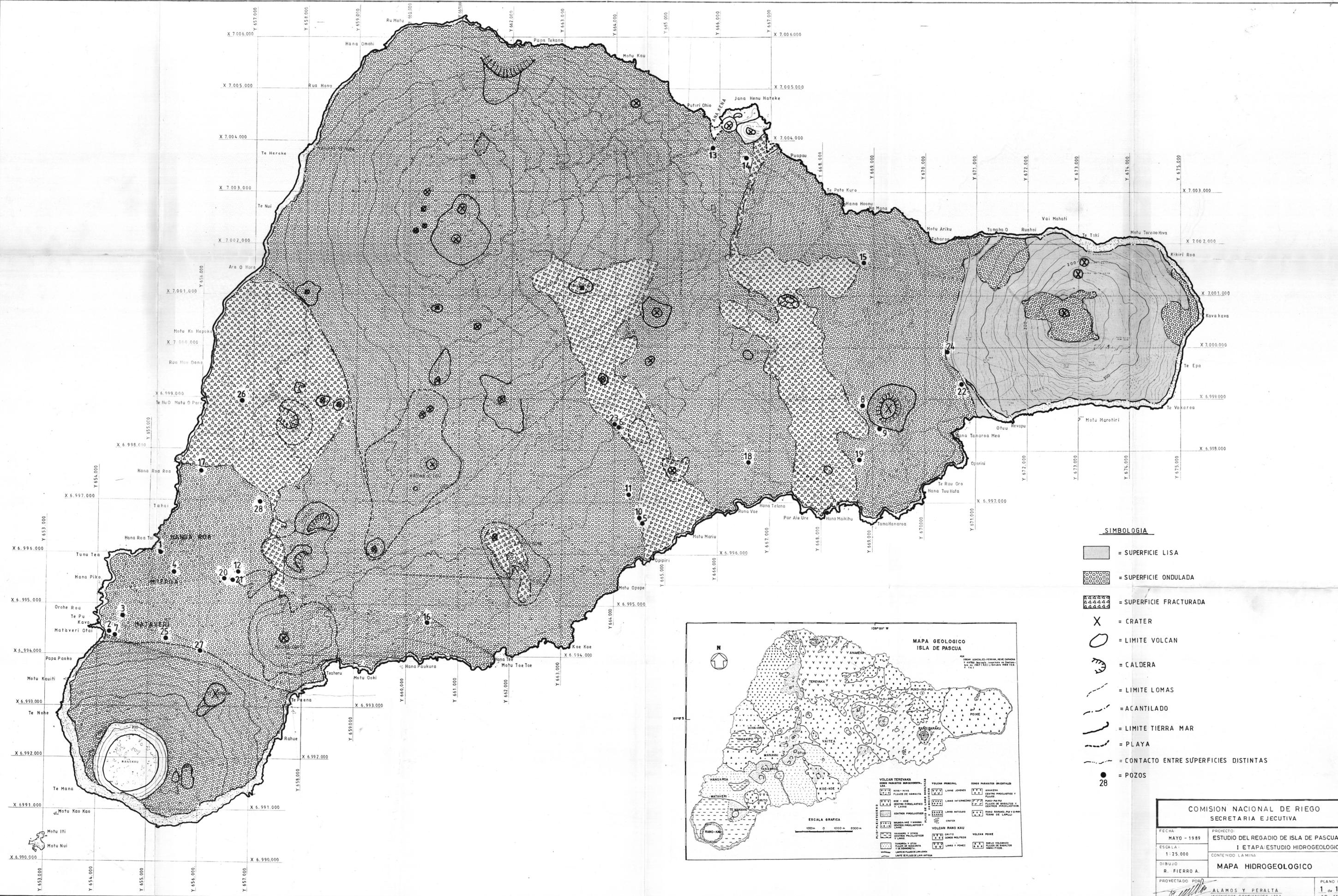


ENTRADAS = 99.59 (Mm³/año)

SALIDAS = 105.91 (Mm³/año)

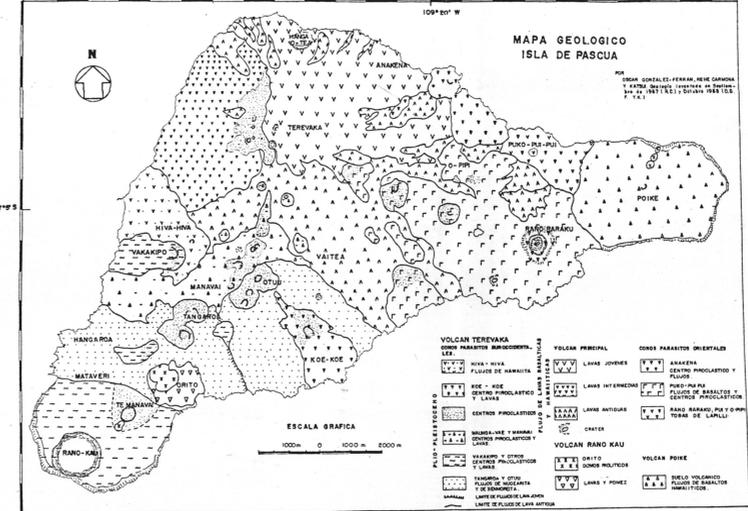
VAR. ALMACENAMIENTO = -11.08 (Mm³/año)

PLANOS

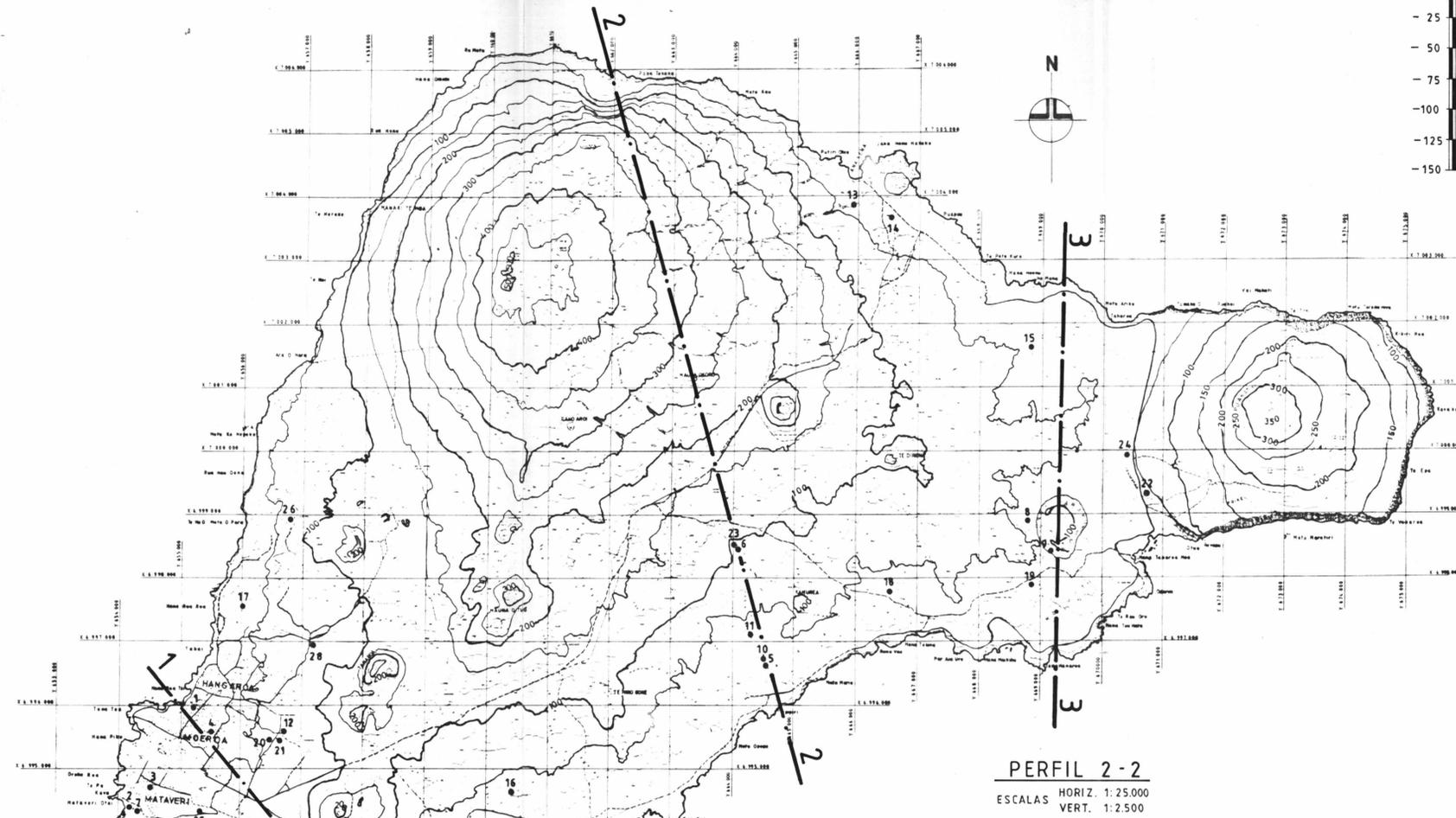


SIMBOLOGIA

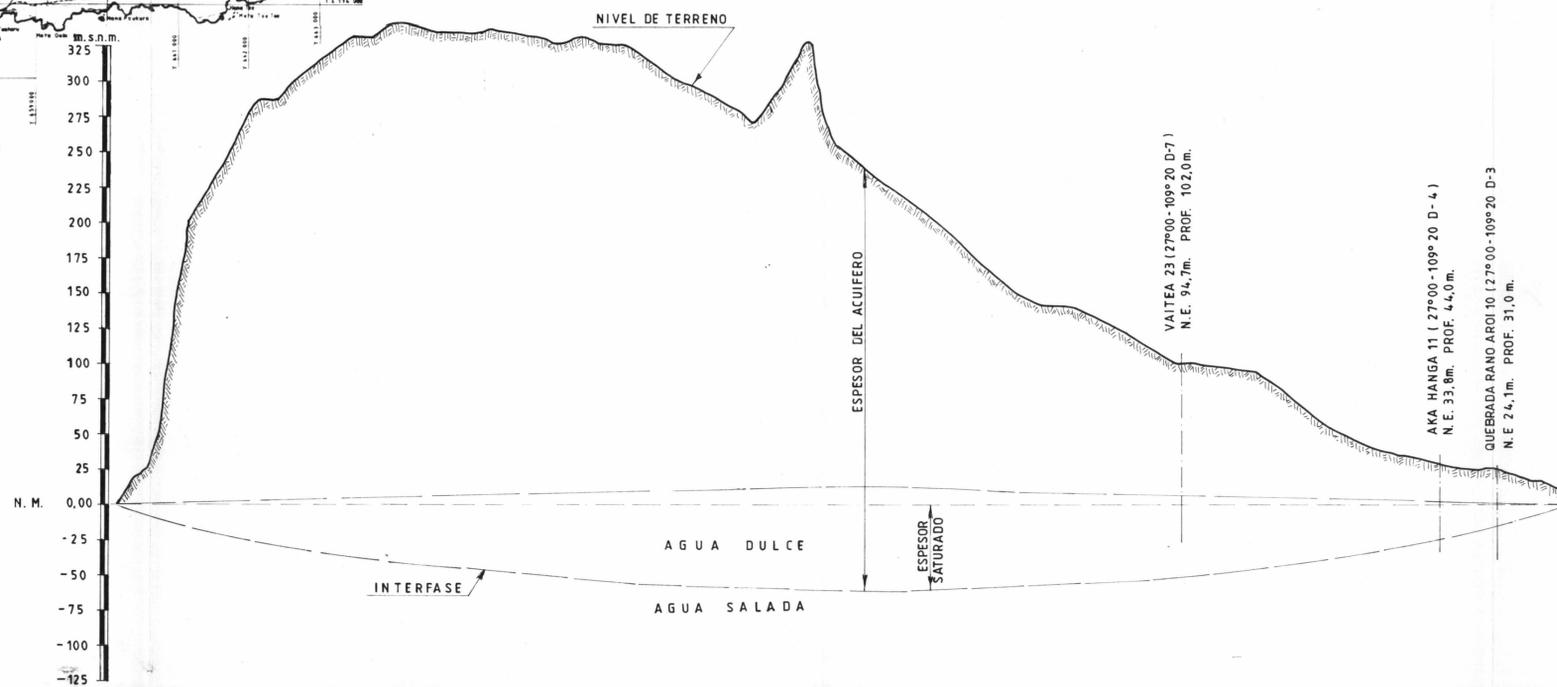
-  = SUPERFICIE LISA
-  = SUPERFICIE ONDULADA
-  = SUPERFICIE FRACTURADA
-  = CRATER
-  = LIMITE VOLCAN
-  = CALDERA
-  = LIMITE LOMAS
-  = ACANTILADO
-  = LIMITE TIERRA MAR
-  = PLAYA
-  = CONTACTO ENTRE SUPERFICIES DISTINTAS
-  = POZOS



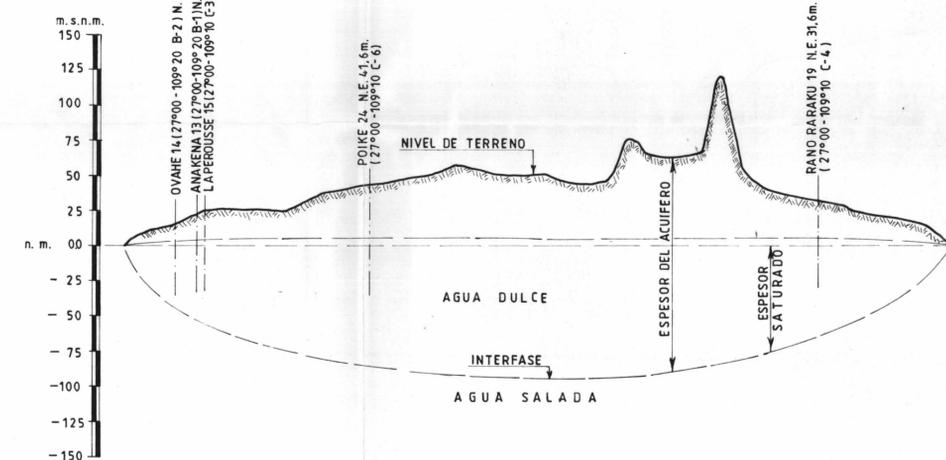
COMISION NACIONAL DE RIEGO SECRETARIA EJECUTIVA	
FECHA MAYO - 1989	PROYECTO ESTUDIO DEL REGADIO DE ISLA DE PASCUA
ESCALA 1:25.000	CONTENIDO LAMINA I ETAPA: ESTUDIO HIDROGEOLOGICO
DIBUJO R. FIERRO A.	MAPA HIDROGEOLOGICO
PROYECTADO POR <i>[Signature]</i>	ALAMOS Y PERALTA INGENIEROS CONSULTORES LTDA
	PLANO N° 1 de 11 AP-150



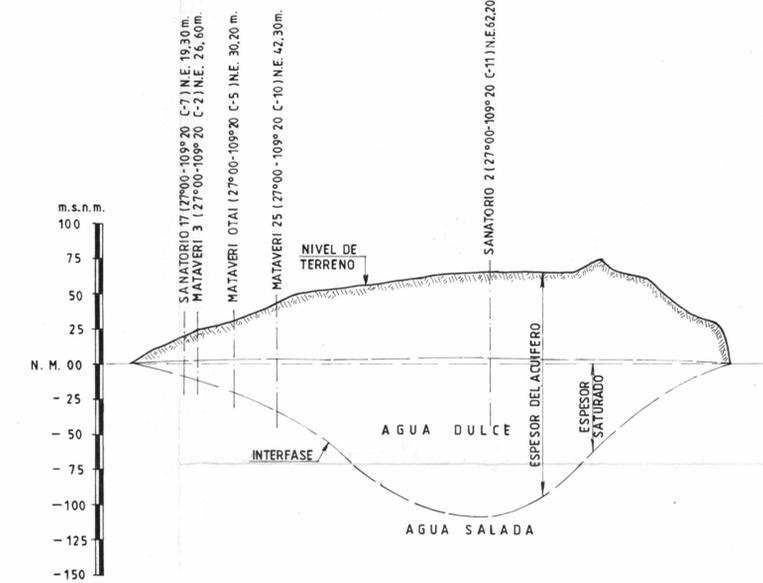
PERFIL 2-2
 ESCALAS HORIZ. 1:25.000
 VERT. 1:2.500



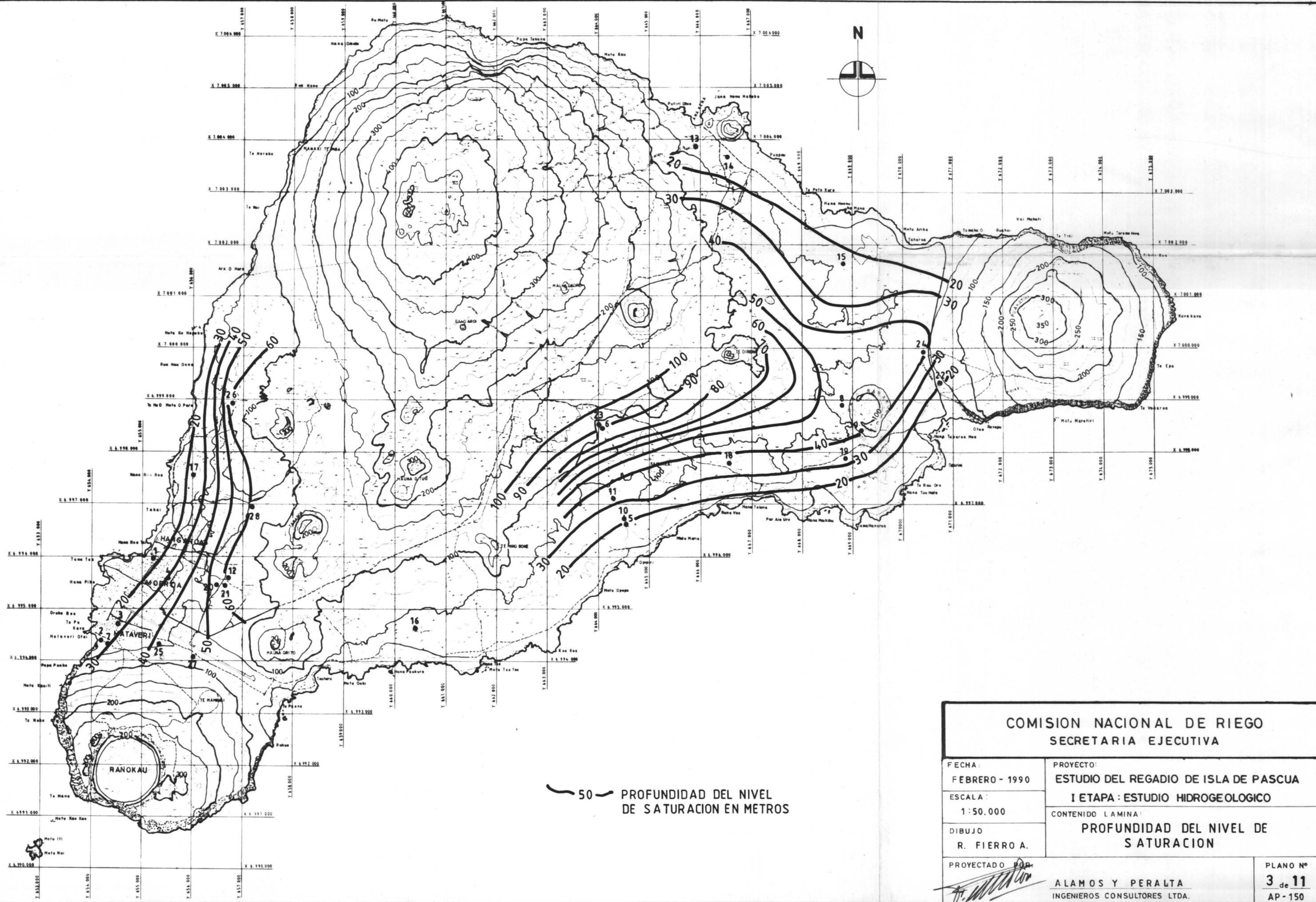
PERFIL 3-3
 ESCALAS HORIZ. 1:25.000
 VERT. 1:2.500



PERFIL 1-1
 ESCALAS HORIZ. 1:25.000
 VERT. 1:2.500



COMISION NACIONAL DE RIEGO SECRETARIA EJECUTIVA	
FECHA: FEBRERO - 1990	PROYECTO: ESTUDIO DEL REGADIO DE ISLA DE PASCUA
ESCALA: 1:50.000	I ETAPA: ESTUDIO HIDROGEOLOGICO
DIBUJO: R. FIERRO A.	CONTENIDO LA MINA: CORTES HIDROGEOLOGICOS
PROYECTADO POR: <i>[Signature]</i>	ALAMOS Y PERALTA INGENIEROS CONSULTORES LTDA.
	PLANO Nº 2 de 11 AP-150



— 50 — PROFUNDIDAD DEL NIVEL DE SATURACION EN METROS

COMISION NACIONAL DE RIEGO
SECRETARIA EJECUTIVA

FECHA:
FEBRERO - 1990

PROYECTO:
ESTUDIO DEL REGADIO DE ISLA DE PASCUA
I ETAPA: ESTUDIO HIDROGEOLOGICO

ESCALA:
1:50.000

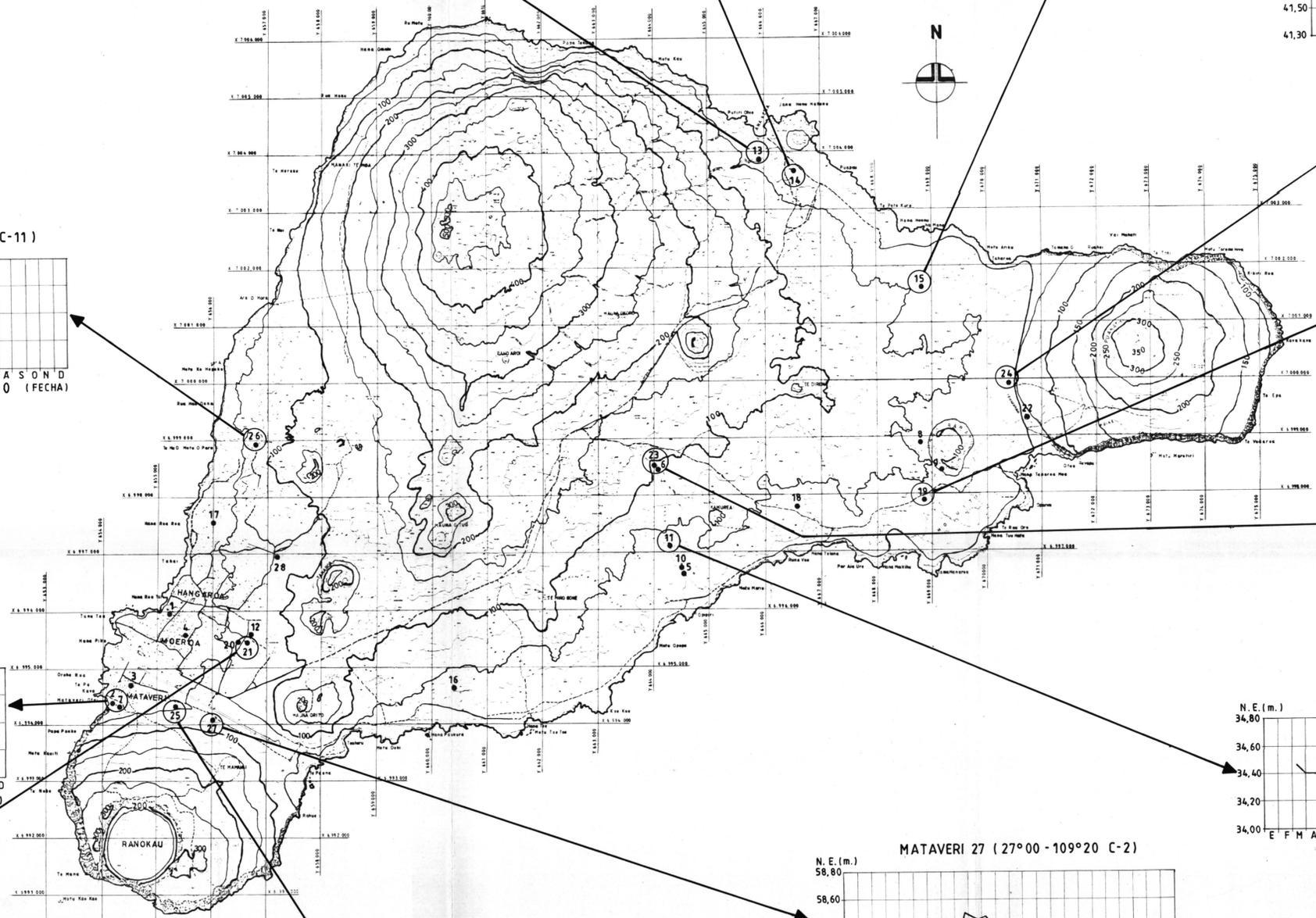
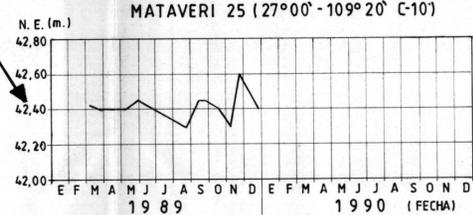
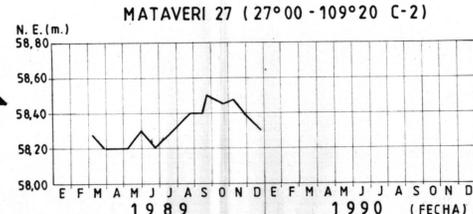
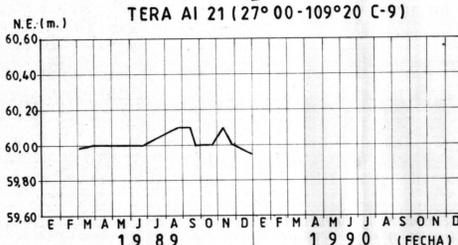
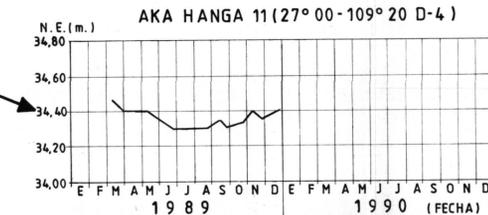
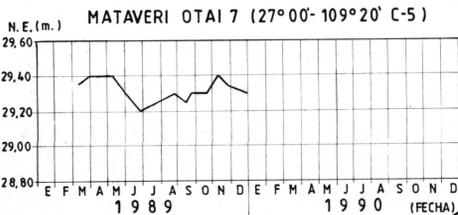
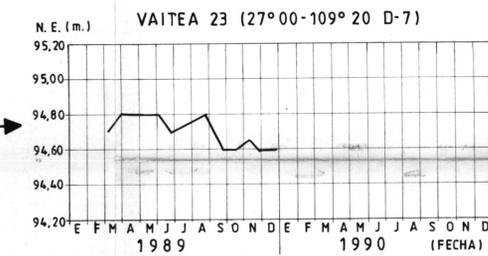
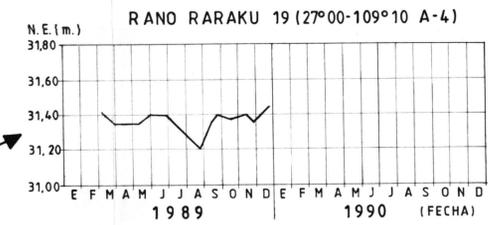
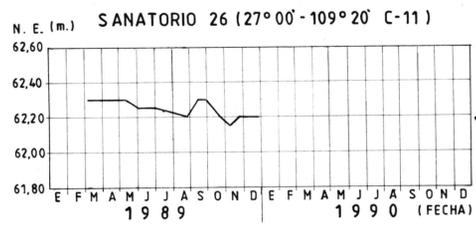
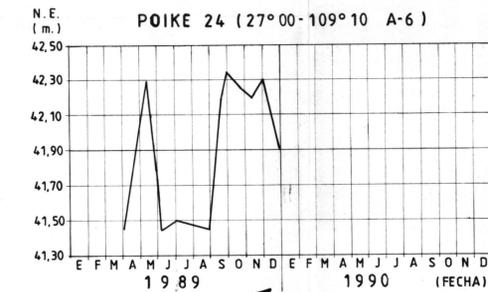
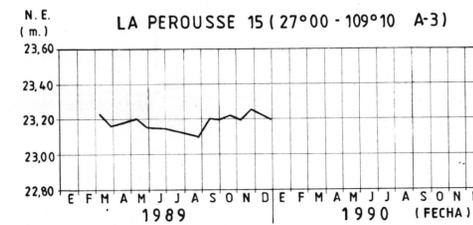
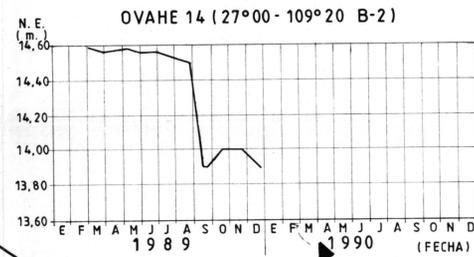
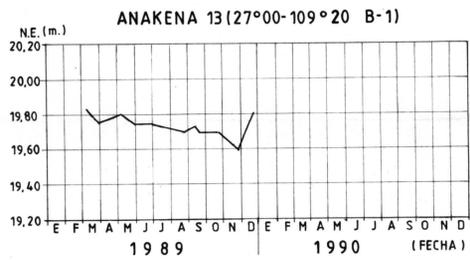
CONTENIDO LAMINA:
PROFUNDIDAD DEL NIVEL DE SATURACION

DIBUJO
R. FIERRO A.

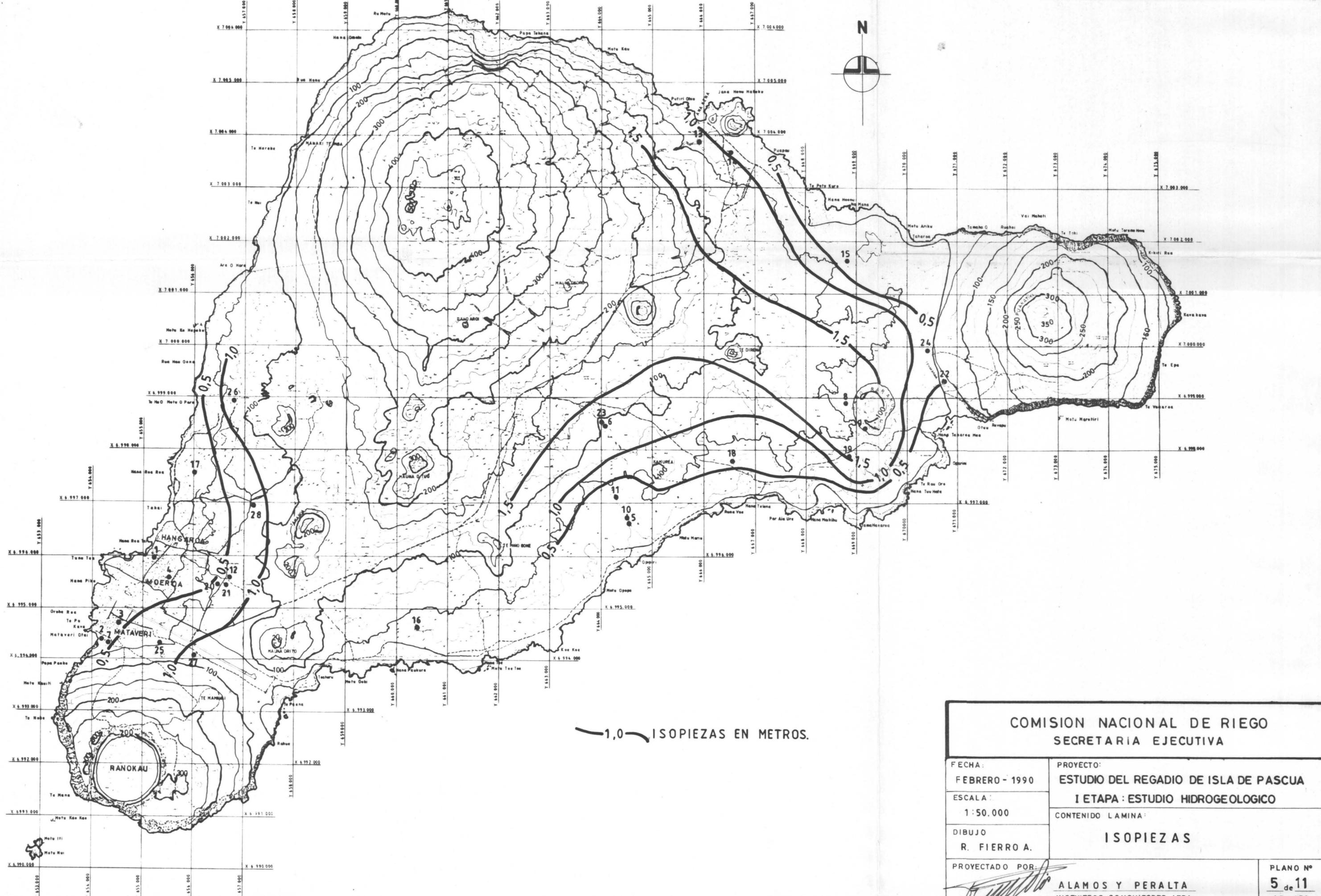
PROYECTADO
[Signature]

ALAMOS Y PERALTA
INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

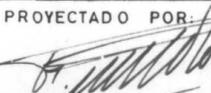
PLANO Nº
3 de 11
AP-150

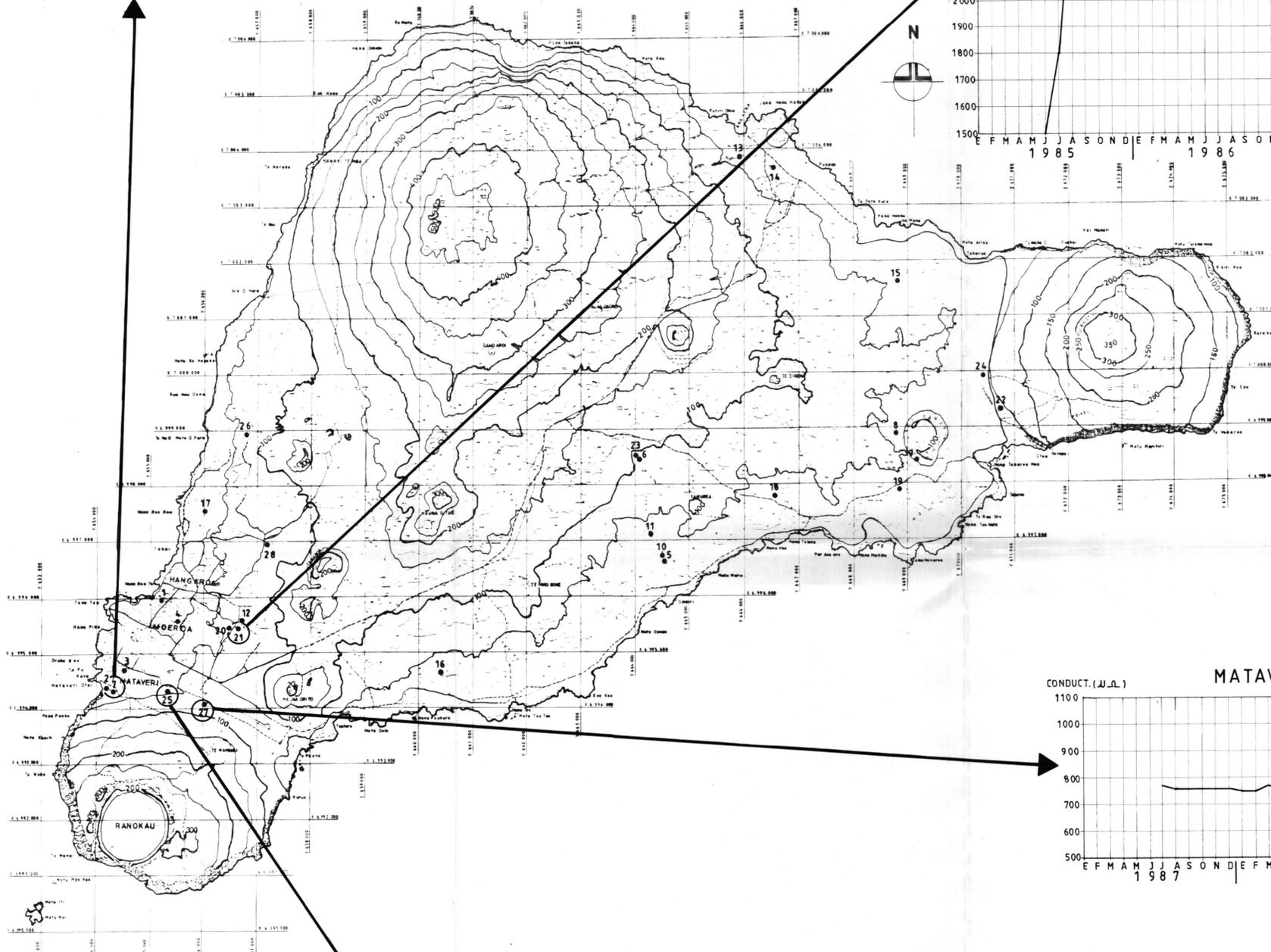
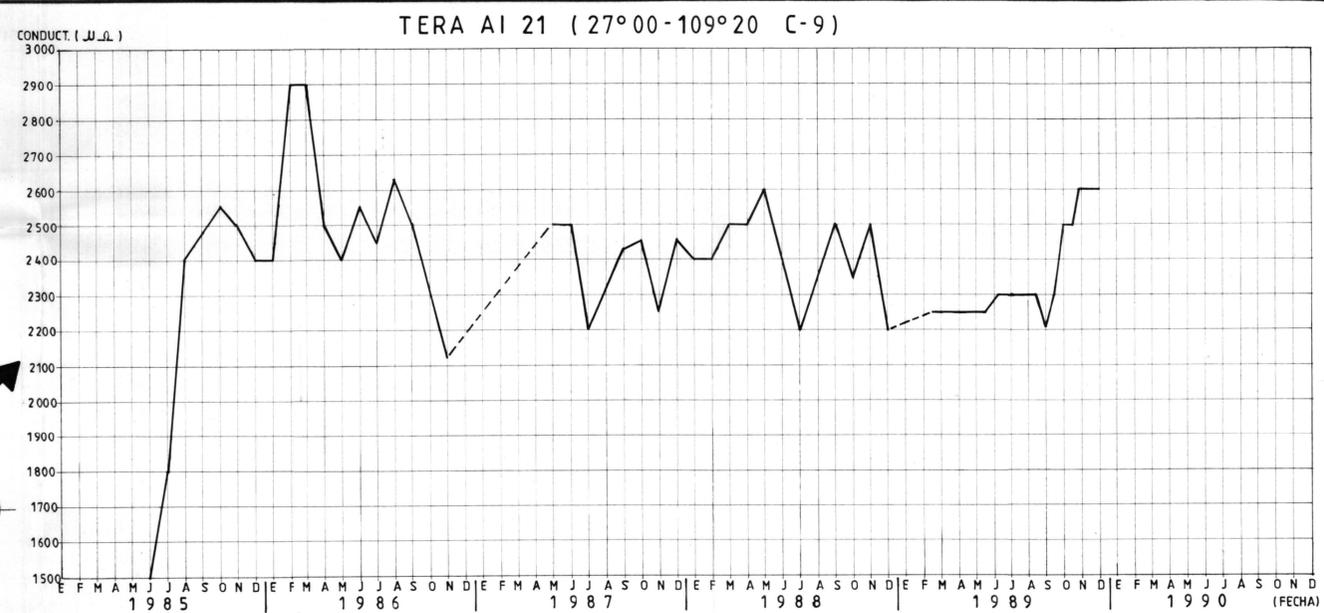
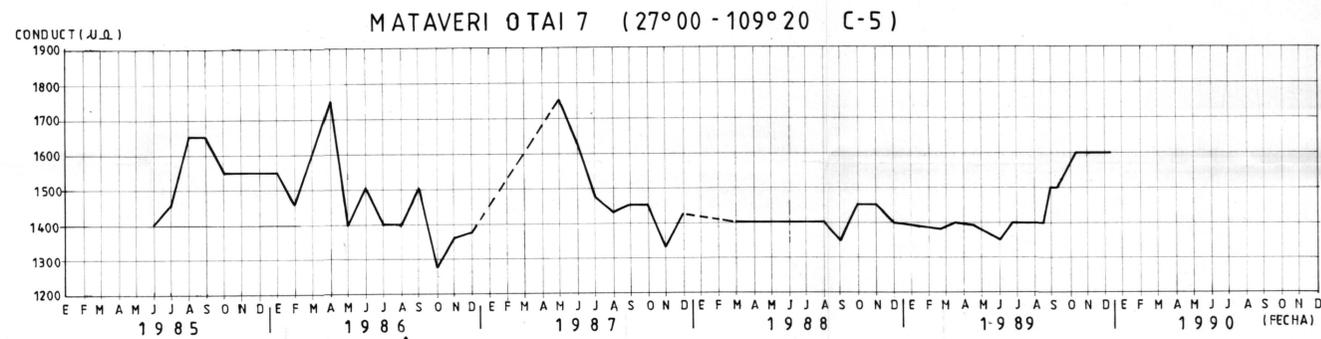


COMISION NACIONAL DE RIEGO SECRETARIA EJECUTIVA	
FECHA: FEBRERO - 1990	PROYECTO: ESTUDIO DEL REGADIO DE ISLA DE PASCUA
ESCALA: 1:50.000	I ETAPA: ESTUDIO HIDROGEOLOGICO
DIBUJO: R. FIERRO A.	CONTENIDO LAMINA: VARIACION MENSUAL DE NIVELES ESTATICOS
PROYECTADO POR: <i>[Signature]</i>	ALAMOS Y PERALTA INGENIEROS CONSULTORES LTDA.
	PLANO Nº 4 de 11 AP-150

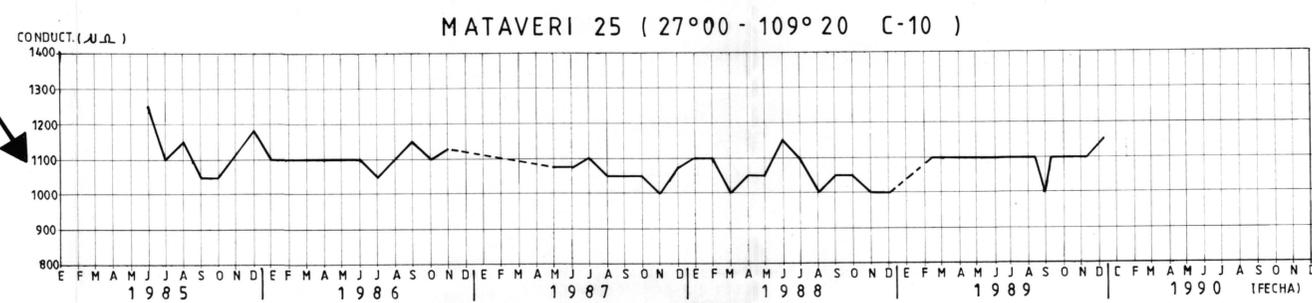
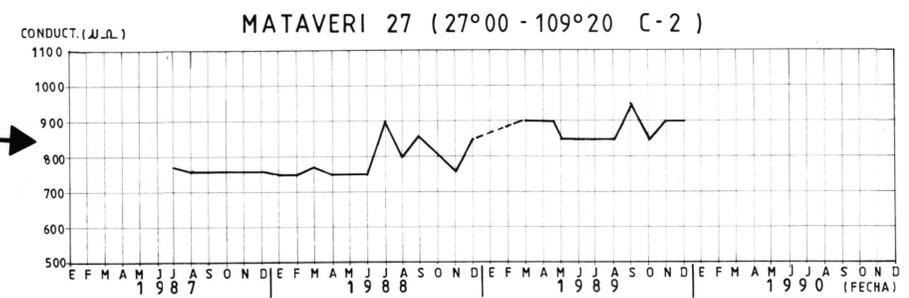


— 1.0 — ISOPIEZAS EN METROS.

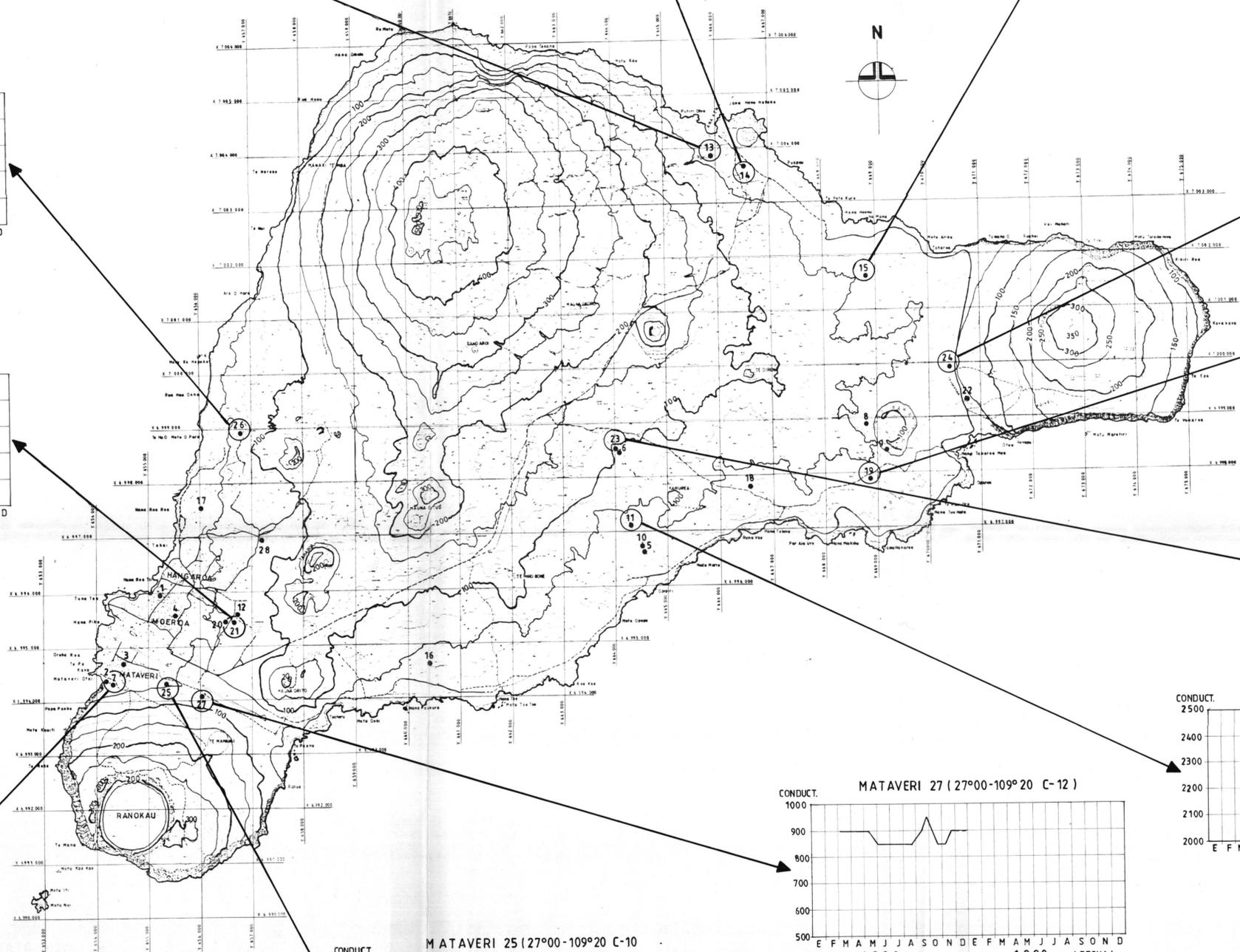
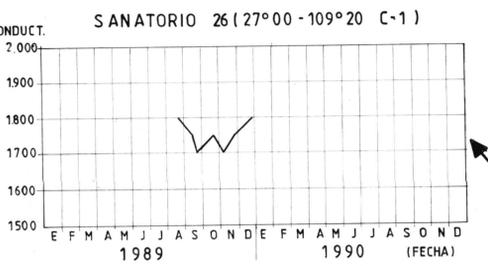
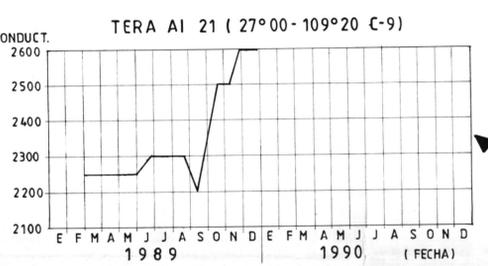
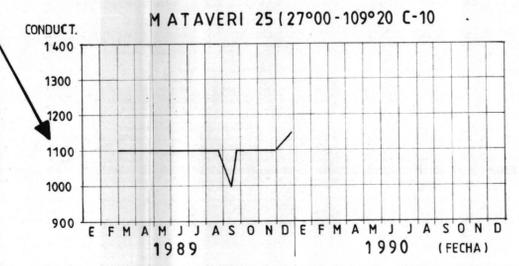
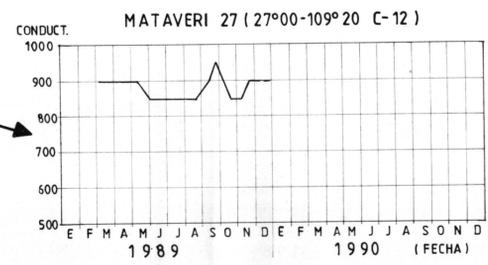
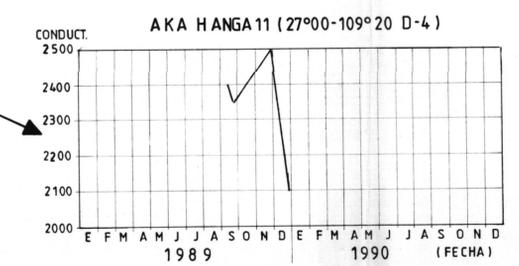
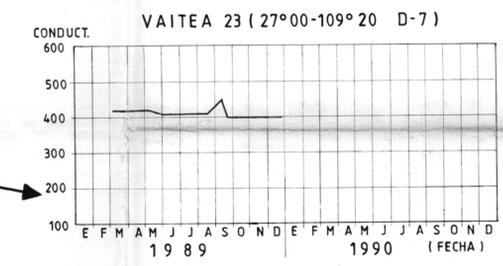
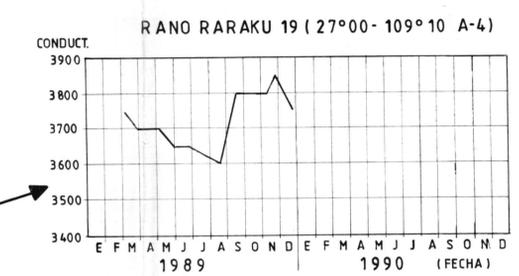
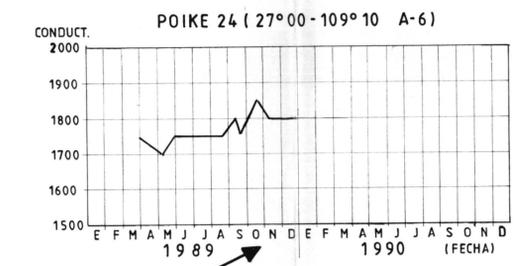
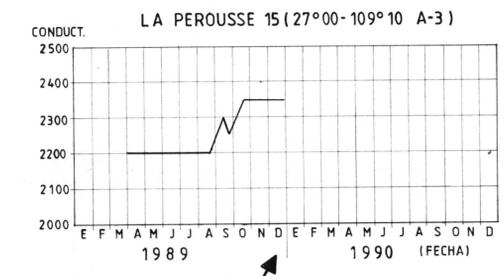
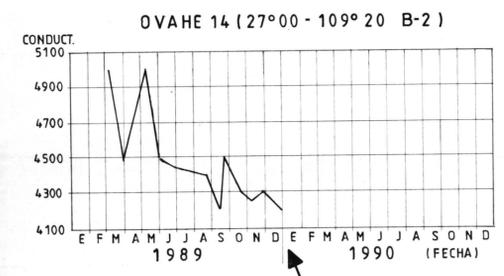
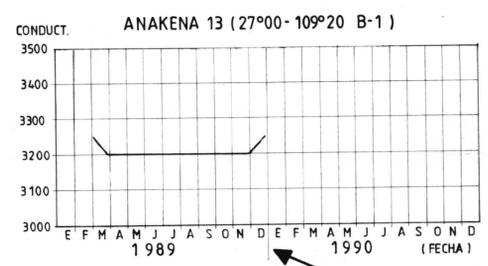
COMISION NACIONAL DE RIEGO SECRETARIA EJECUTIVA	
FECHA: FEBRERO - 1990	PROYECTO: ESTUDIO DEL REGADIO DE ISLA DE PASCUA I ETAPA : ESTUDIO HIDROGEOLOGICO
ESCALA: 1:50.000	CONTENIDO LAMINA: ISOPIEZAS
DIBUJO R. FIERRO A.	
PROYECTADO POR: 	ALAMOS Y PERALTA INGENIEROS CONSULTORES LTDA.
PLANO N° 5 de 11 AP-150	



NOTA:
CONDUCTIVIDAD MEDIDA EN MICROMOS/cm² (U.U.)

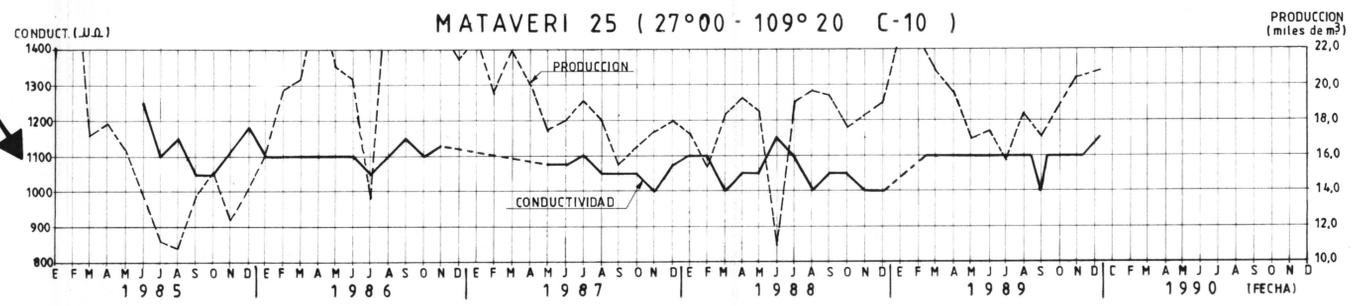
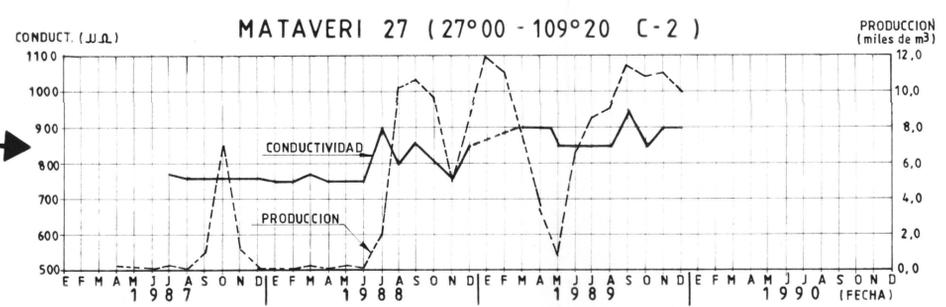
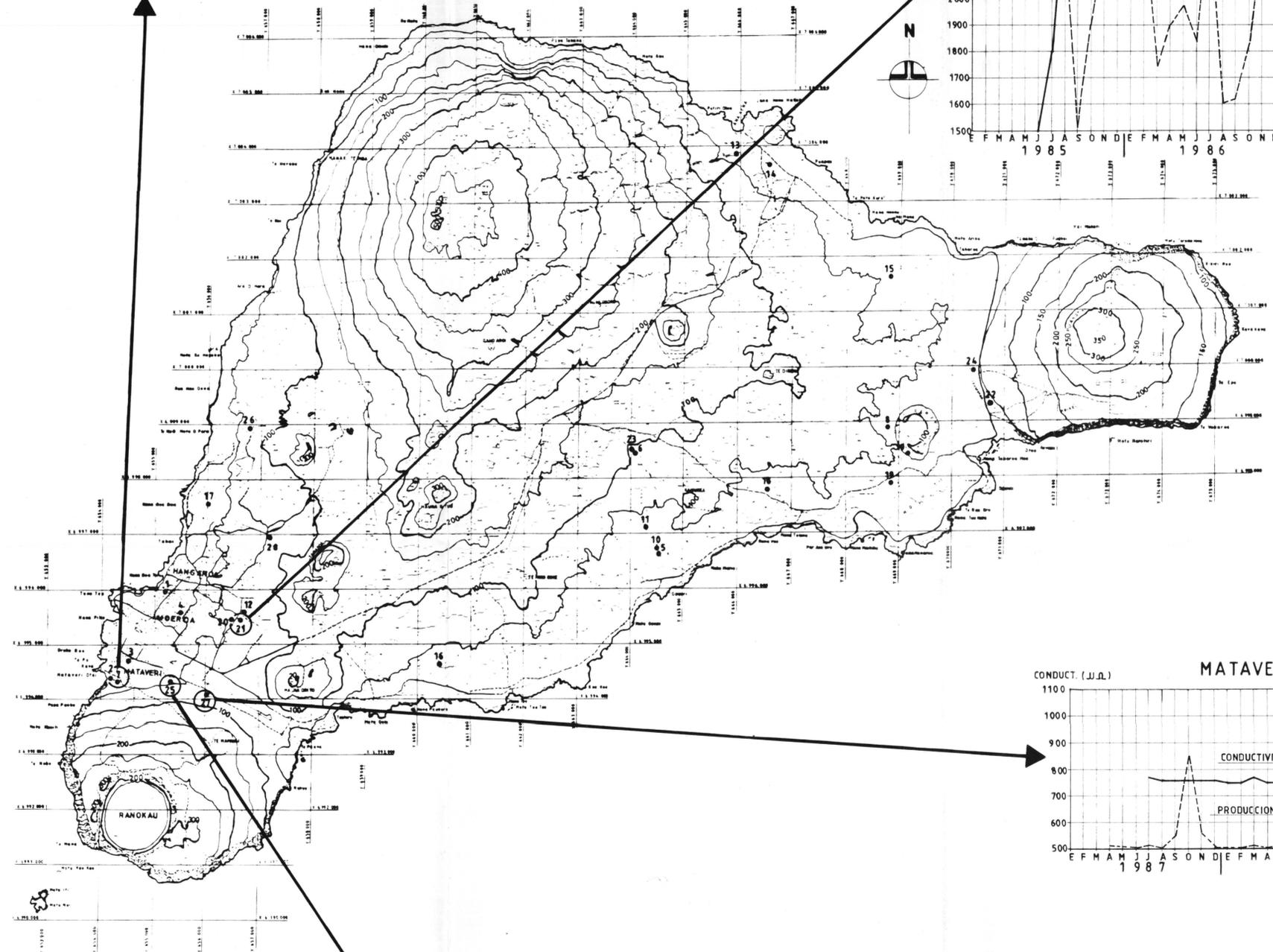
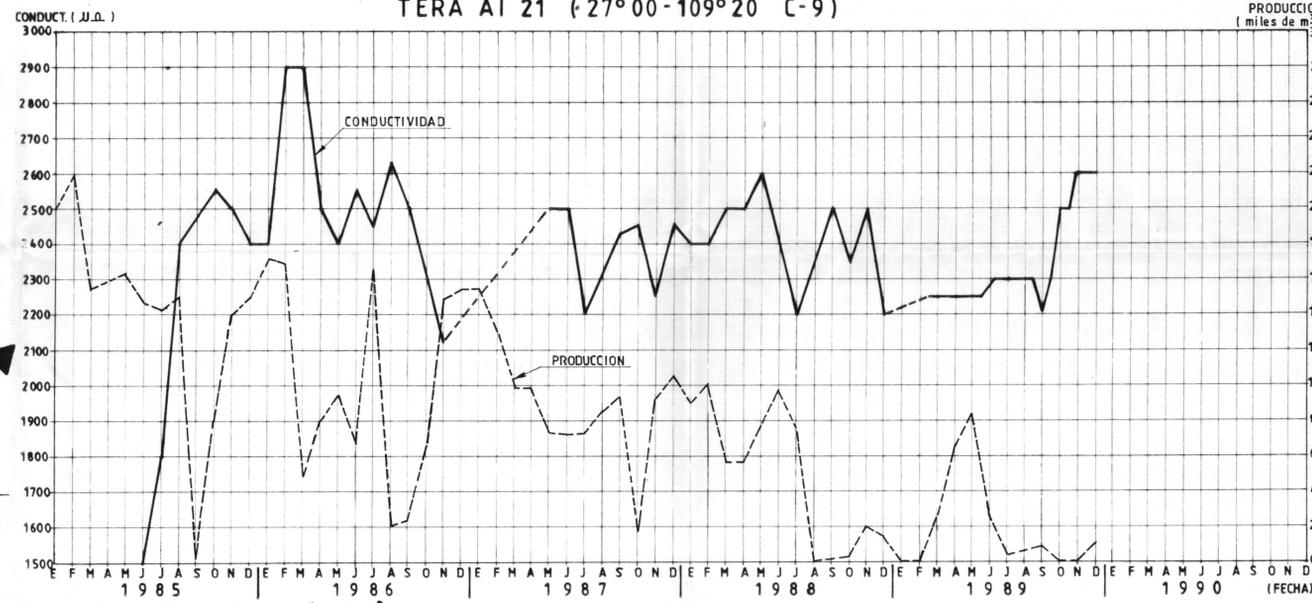
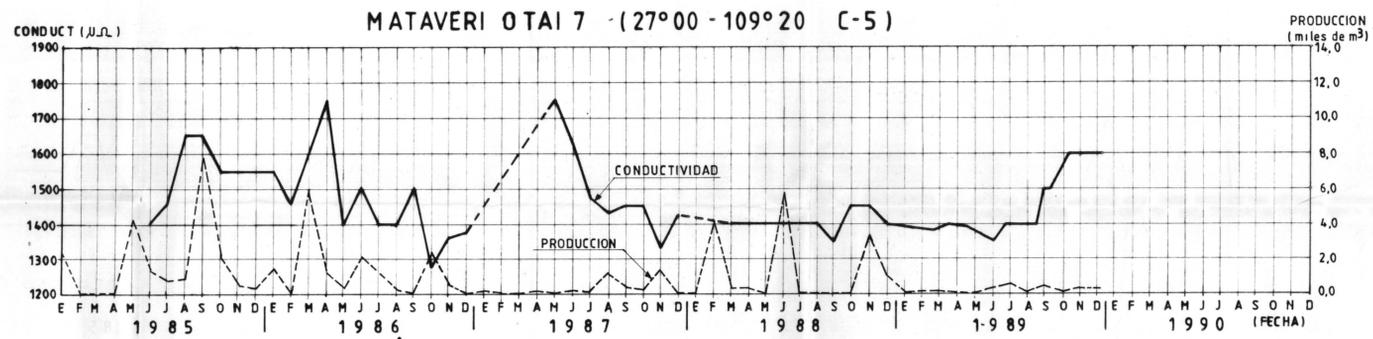


COMISION NACIONAL DE RIEGO SECRETARIA EJECUTIVA	
FECHA: FEBRERO - 1990	PROYECTO: ESTUDIO DEL REGADIO DE ISLA DE PASCUA I ETAPA: ESTUDIO HIDROGEOLOGICO
ESCALA: 1:50.000	CONTENIDO LA MINA: VARIACION HIPER ANUAL DE LA CONDUCTIVIDAD
DIBUJO: R. FIERRO A.	PROYECTADO POR:
PLANO Nº 6 de 11 AP-150	
ALAMOS Y PERALTA INGENIEROS CONSULTORES LTDA.	

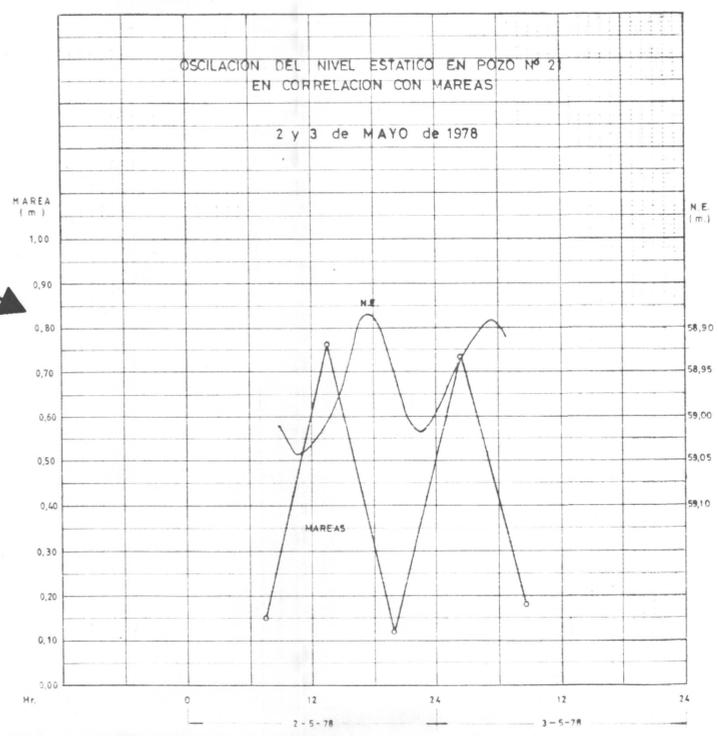
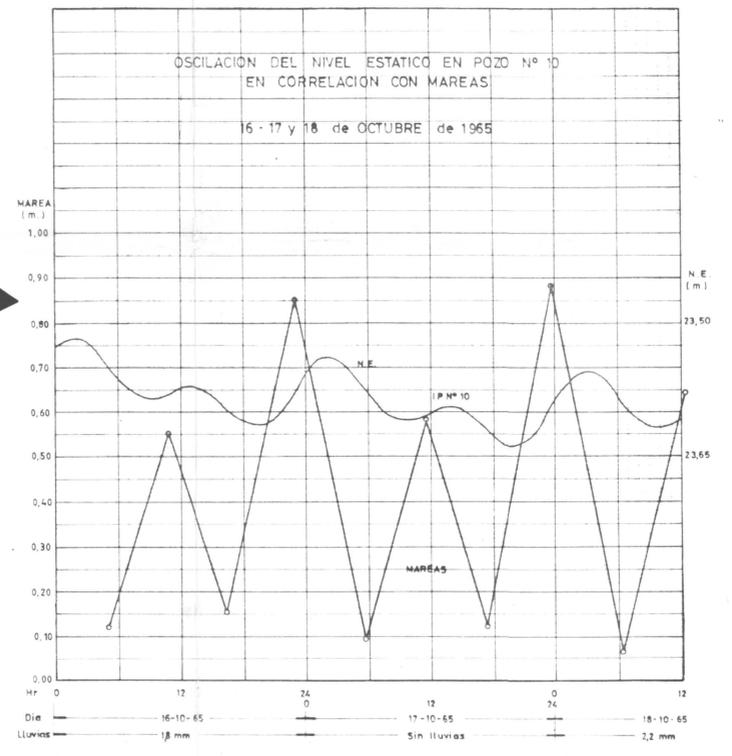
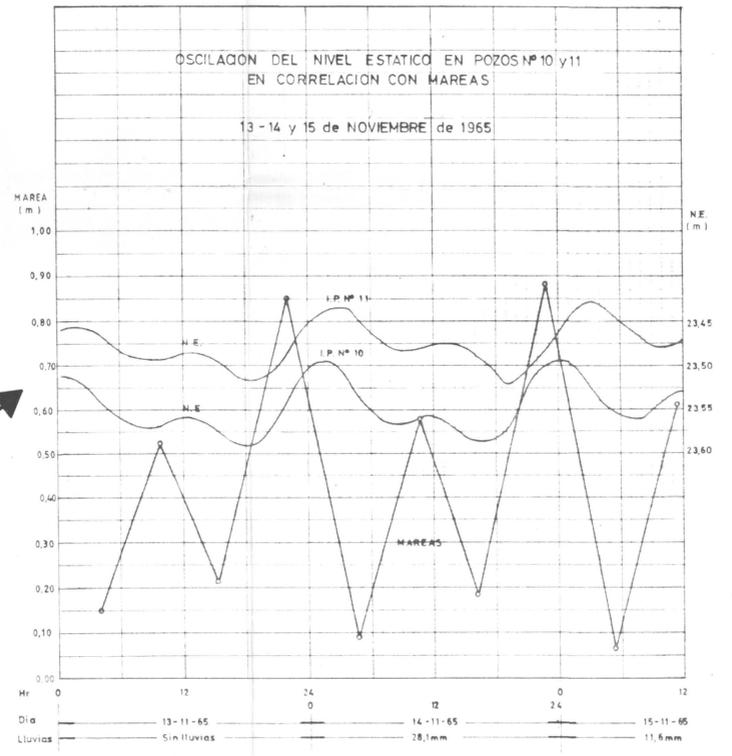
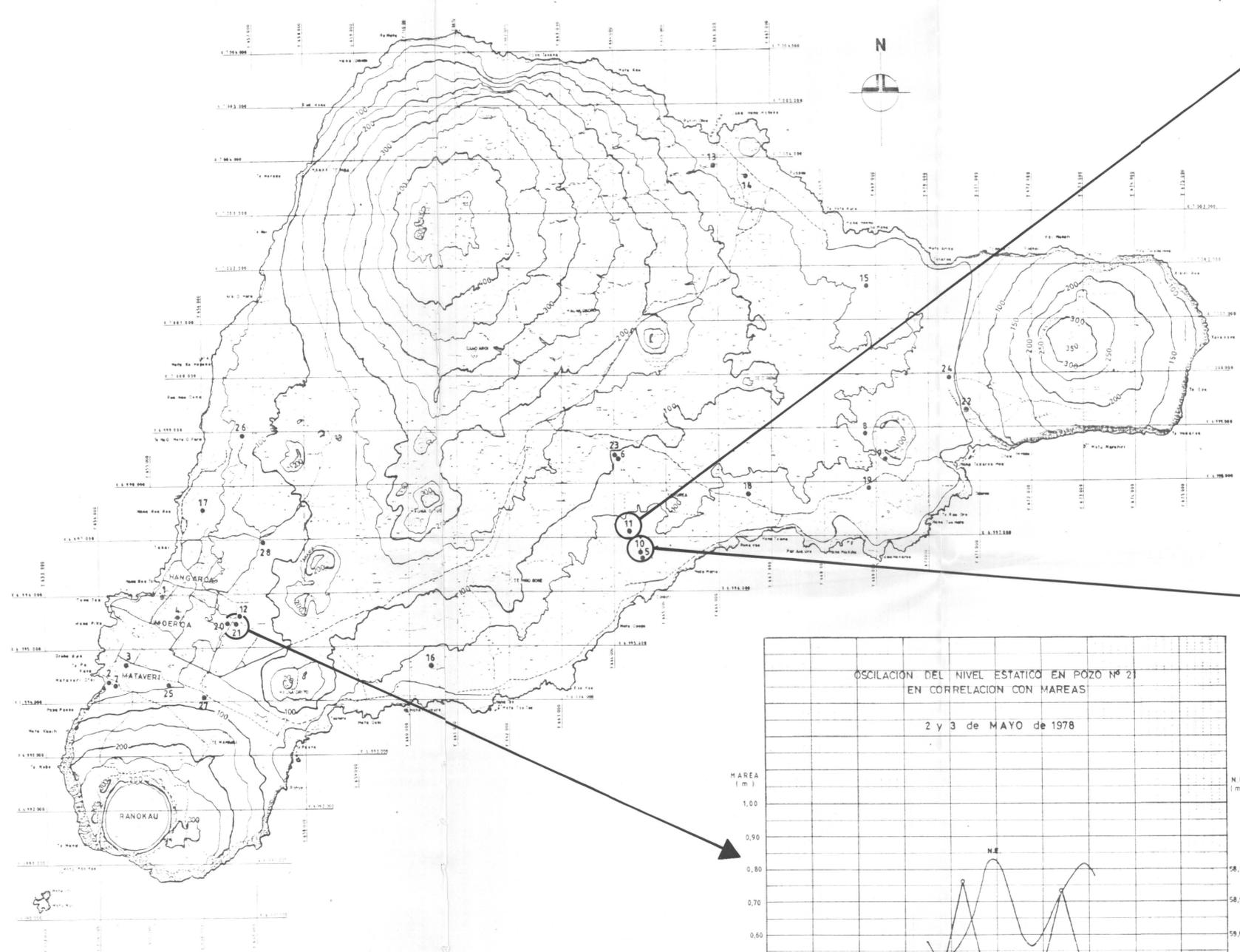


NOTA:
CONDUCTIVIDAD MEDIDA EN MICROMOS/cm² (J.U.)

COMISION NACIONAL DE RIEGO SECRETARIA EJECUTIVA	
FECHA: FEBRERO-1990	PROYECTO: ESTUDIO DEL REGADIO DE ISLA DE PASCUA I ETAPA: ESTUDIO HIDROGEOLOGICO
ESCALA: 1:50.000	CONTENIDO LAMINA: VARIACION MENSUAL DE CONDUCTIVIDAD
DIBUJO: R. FIERRO A.	PROYECTADO POR: <i>[Signature]</i>
	ALAMOS Y PERALTA INGENIEROS CONSULTORES LTDA.
	PLANO N° 7 de 11 AP-150



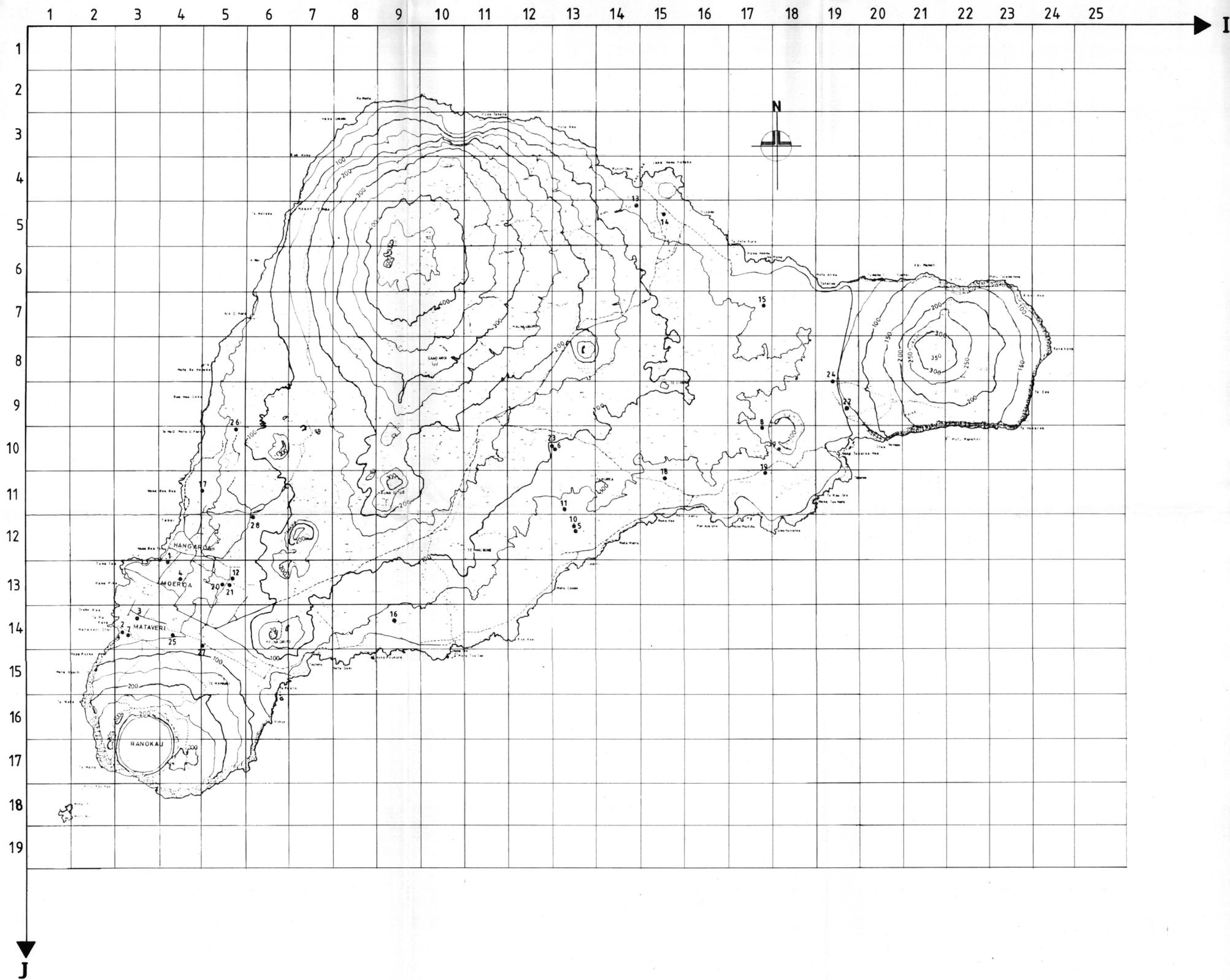
COMISION NACIONAL DE RIEGO SECRETARIA EJECUTIVA	
FECHA: FEBRERO - 1990	PROYECTO: ESTUDIO DEL REGADIO DE ISLA DE PASCUA
ESCALA: 1:50.000	I ETAPA: ESTUDIO HIDROGEOLOGICO
DIBUJO: R. FIERRO A.	CONTENIDO LA MINA: VARIACION MENSUAL DE LOS CAUDALES EXTRAIDOS Y LA CONDUCTIVIDAD
PROYECTADO POR: <i>[Signature]</i>	ALAMOS Y PERALTA INGENIEROS CONSULTORES LTDA.
	PLANO Nº 8 de 11 AP-150



COMISION NACIONAL DE RIEGO
SECRETARIA EJECUTIVA

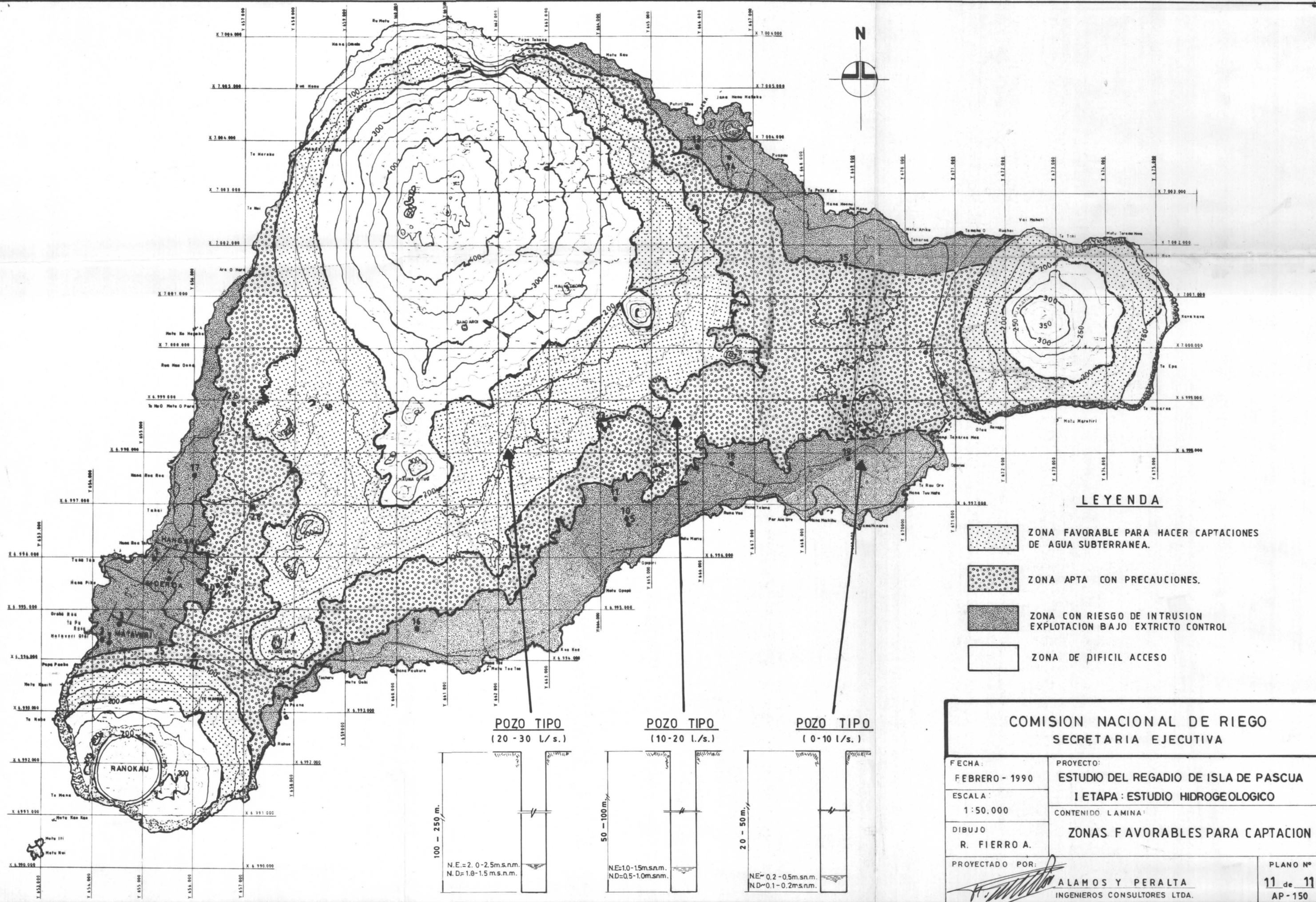
FECHA FEBRERO - 1990	PROYECTO ESTUDIO DEL REGADIO DE ISLA DE PASCUA I ETAPA: ESTUDIO HIDROGEOLOGICO
ESCALA 1:50.000	CONTENIDO LAMINA RELACION MAREAS, VARIACION DE NIVELES ESTATICOS
DIRUJO R. FIERRO A.	PROYECTADO POR ALAMOS Y PERALTA INGENIEROS CONSULTORES LTDA.
	PLANO Nº 9 de 11 AP-150

Y 653.000
 Y 654.000
 Y 655.000
 Y 656.000
 Y 657.000
 Y 658.000
 Y 659.000
 Y 660.000
 Y 661.000
 Y 662.000
 Y 663.000
 Y 664.000
 Y 665.000
 Y 666.000
 Y 667.000
 Y 668.000
 Y 669.000
 Y 670.000
 Y 671.000
 Y 672.000
 Y 673.000
 Y 674.000
 Y 675.000

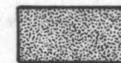
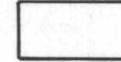


X 7.006.000
 X 7.005.000
 X 7.004.000
 X 7.003.000
 X 7.002.000
 X 7.001.000
 X 7.000.000
 X 6.999.000
 X 6.998.000
 X 6.997.000
 X 6.996.000
 X 6.995.000
 X 6.994.000
 X 6.993.000
 X 6.992.000
 X 6.991.000
 X 6.990.000

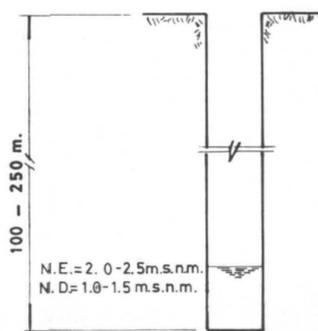
COMISION NACIONAL DE RIEGO SECRETARIA E JECUTIVA	
FECHA FEBRERO - 1990	PROYECTO ESTUDIO DEL REGADIO DE ISLA DE PASCUA
ESCALA 1:50.000	I ETAPA: ESTUDIO HIDROGEOLOGICO
DIBUJO R. FIERRO A.	CONTENIDO LAMINA MALLAJE DEL MODELO
PROYECTADO POR <i>[Signature]</i>	PLANO Nº 10 de 11 AP - 150
ALAMOS Y PERALTA INGENIEROS CONSULTORES LTDA.	



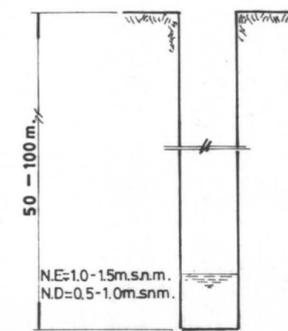
LEYENDA

-  ZONA FAVORABLE PARA HACER CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRANEA.
-  ZONA APTA CON PRECAUCIONES.
-  ZONA CON RIESGO DE INTRUSION EXPLOTACION BAJO EXTRICTO CONTROL
-  ZONA DE DIFICIL ACCESO

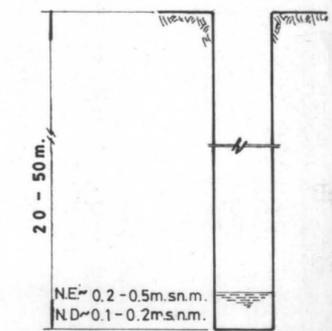
POZO TIPO
(20 - 30 l/s.)



POZO TIPO
(10-20 l/s.)



POZO TIPO
(0-10 l/s.)



COMISION NACIONAL DE RIEGO
SECRETARIA EJECUTIVA

FECHA: FEBRERO - 1990	PROYECTO: ESTUDIO DEL REGADIO DE ISLA DE PASCUA
ESCALA: 1:50.000	I ETAPA: ESTUDIO HIDROGEOLOGICO
DIBUJO R. FIERRO A.	CONTENIDO LAMINA: ZONAS FAVORABLES PARA CAPTACION
PROYECTADO POR: 	ALAMOS Y PERALTA INGENIEROS CONSULTORES LTDA.
	PLANO N° 11 de 11 AP-150