



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS
SUBTERRÁNEOS DE ISLA DE PASCUA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

CAROLINA ADRIANA MILAD GARRIDO

PROFESOR GUÍA:

Sr. CARLOS ESPINOZA CONTRERAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

Sra. ANA MARÍA SANCHA FERNANDEZ

Sra. MESENIA ATENAS VIVANCO

**SANTIAGO DE CHILE
ABRIL 2010**

“DIAGNÓSTICO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS DE ISLA DE PASCUA”

El objetivo del presente trabajo de título es evaluar el uso y disponibilidad de aguas subterráneas en Isla de Pascua, identificar las potenciales fuentes de contaminación del acuífero y proponer un sistema de gestión de los recursos hídricos subterráneos.

La situación ambiental de Isla de Pascua es bastante delicada. Es de origen volcánico con una superficie total de 166 Km². Por tener suelos altamente permeables no existen ríos en su superficie de manera que la única fuente para ser utilizada como fuente de agua potable son las aguas subterráneas.

Los peligros de contaminación son altos puesto que las condiciones sanitarias del lugar son bastante precarias. La distancia al continente genera que los controles y fiscalizaciones sean escasos, y el alto atractivo turístico aumenta la demanda de recursos hídricos y con ello las cargas contaminantes.

Basado en una metodología propuesta por el Banco Mundial, para el desarrollo de un plan gestión de las aguas subterráneas, se evaluó el peligro a la contaminación del acuífero.

Es importante mencionar la dificultad para obtener información técnica sobre las características hidrológicas e hidrogeológicas de la Isla de Pascua, principalmente debido a que los estudios realizados hasta la fecha no cuentan con una organización global ni existe una institución a cargo de ello. Los resultados expuestos en este trabajo están sujetos a dicha limitación.

Con base en esta información se analizó la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero por medio de la creación de mapas de vulnerabilidad, utilizando las metodologías GOD y BGR. Con ambos métodos se obtuvieron resultados satisfactorios, pero se decidió trabajar con el mapa obtenido por la metodología BGR por ser la metodología sobre la cual está basada el Manual para la Aplicación del Concepto de Vulnerabilidad de Acuíferos establecido en la Norma Chilena de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas (D.S. N° 46/ 2002).

Posterior a ello, se detectaron las potenciales fuentes contaminantes de la isla, entre las que destacan aguas servidas, vertederos, centros de acumulación de combustibles y actividades agrícolas. Junto con ello se detectaron los principales contaminantes asociados a cada una de estas actividades.

Superponiendo la información del mapa de vulnerabilidad con la información de las potenciales fuentes contaminantes se pudo analizar el peligro a la contaminación de las aguas subterráneas. Como resultado final se propone un plan de gestión para el agua subterránea de la isla, el que incluye un plan de monitoreo donde se detallan los puntos y parámetros a analizar.

Se concluye la necesidad de generar mayor información a la actual para poder llevar a cabo un estudio más detallado que incluya aspectos de gestión a nivel local, lo que incorpore elementos como los perímetros de protección de pozos. La necesidad de un plan de gestión para la protección del recurso hídrico, tanto a nivel regional como local, es evidente. Lo primero sería la generación de un grupo de trabajo que esté a cargo únicamente de este propósito para así poder actualizar constantemente las necesidades de la isla, en términos de información, y tener un control sobre ellas.

TABLA DE CONTENIDOS

1. PRESENTACIÓN.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES INTERNACIONALES EN ISLAS.....	3
1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO.....	6
2. ANTECEDENTES GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	7
2.1 GEOGRAFÍA DE RAPA NUI	7
2.2 DATOS DE POBLACIÓN	9
2.3 ACTIVIDADES ECONÓMICAS	11
2.4 INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS DE SANEAMIENTO BÁSICO	12
2.4.1 Aspectos Generales.....	12
2.4.2 Servicio de Agua Potable.....	13
2.4.3 Manejo de Aguas Servidas.....	14
2.4.4 Manejo de Residuos Sólidos	14
2.4.5 Energía	15
2.5 MEDIO AMBIENTE.....	15
2.5.1 Clima y Meteorología.....	15
2.5.2 Geología	18
2.5.3 Hidrología e Hidrogeología	20
3. GESTIÓN DE CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	23
3.1 ANTECEDENTES GENERALES	23
3.2 GESTIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS A ESCALA REGIONAL.....	25
3.2.1 Introducción.....	25
3.2.2 Vulnerabilidad a la Contaminación.....	26
3.2.3 Fuentes Contaminantes.....	30
3.2.4 Peligro a la Contaminación de Aguas Subterráneas.....	31
3.3 GESTIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS A ESCALA LOCAL	32
3.3.1 Introducción.....	32

3.3.2	<i>Perímetros de Protección de Pozos</i>	33
4.	APLICACIÓN A LA ZONA DE ESTUDIO	36
4.1	ANTECEDENTES GENERALES	36
4.2	VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO	36
4.2.1	<i>Método GOD</i>	36
4.2.2	<i>Método BGR</i>	44
4.2.3	<i>Discusión de Resultados</i>	51
4.3	POTENCIALES FUENTES CONTAMINANTES DE ISLA DE PASCUA	52
4.4	PELIGRO A LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA ISLA.....	61
4.5	PERÍMETRO DE PROTECCIÓN DE POZOS.....	63
5.	RECOMENDACIONES PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE GESTIÓN	64
5.1	GENERALIDADES.....	64
5.2	MARCO TEÓRICO UTILIZADO.....	65
5.3	PLAN DE GESTIÓN PARA ISLA DE PASCUA	67
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
7.	REFERENCIAS	73
	ANEXOS	76
	ANEXO 1.REGISTRO DE PRECIPITACIONES ESTACIONES MATAVERI Y VAITEA.	77
	ANEXO 2.MAPA GEOLÓGICO: GONZALEZ-FERRÁN, 2004.....	82
	ANEXO 3.CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS: MEMORIA TAHIRA EDMUNDS (2007).....	85
	ANEXO 4.CORTES TRANSVERSALES DE LA ISLA. PROFUNDIDAD NIVELES DE AGUA.	89
	ANEXO 5.UBICACIÓN DE LOS POZOS.....	91

1. PRESENTACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

Las condiciones naturales de una isla, como Isla de Pascua, hacen de ella un sistema bastante particular, principalmente al hablar de los recursos hídricos disponibles.

La mayoría de las islas del Pacífico que se encuentran alejadas de los continentes son de origen volcánico y, naturalmente, están rodeadas de mar. Esta condición genera que el clima de la isla sea determinado principalmente por el mar y que por ende sea extraña la existencia de ríos y lagos, de manera que la única fuente de agua dulce para ser utilizada por sus pobladores son las aguas lluvias que infiltran rápidamente hacia las napas subterráneas.

Por lo general el atractivo turístico de estas islas es bastante alto, produciéndose una inmensa población flotante. Esto genera un aumento en las demandas de consumo de agua y, lamentablemente, un incremento en la producción de residuos, tanto sólidos como líquidos, que aumentan la posibilidad de contaminación del acuífero, con lo que se reduce potencialmente la disponibilidad del agua para usos humanos.

Es por ello que el tema de la disponibilidad de agua en las islas siempre ha sido un tema bastante importante llegando incluso a casos donde es necesario importar este recurso debido a su baja disponibilidad como se describe en el siguiente punto de antecedentes internacionales en islas.

Isla de Pascua es territorio chileno desde 1888, destaca por su historia y rica arqueología caracterizada principalmente por sus enormes esculturas denominadas moais. Estos motivos han creado que la UNESCO, en 1995, haya declarado este territorio como patrimonio de la humanidad. Título que exige buenas políticas medio ambientales.

Actualmente, el agua para consumo de los habitantes de Isla de Pascua es extraída por medio de pozos de bombeo, los cuales presentan un buen funcionamiento y a pesar del sabor salobre del agua, propio de la condición natural de la isla, la calidad del agua subterránea es buena para consumo humano por lo que sólo es sometida a un proceso de cloración y fluoración para ser distribuida a la comunidad.

El control y fiscalización por parte del estado para la distribución de ella es nula, por lo que esta misión está a cargo únicamente de la empresa sanitaria del lugar, SASIPA.

Aunque no se presentan problemas con el agua potable el peligro de contaminación de este acuífero es inminente.

En la isla Rapa-Nui no existe un sistema de alcantarillado, y según el plan regulador actual (capítulo de Factibilidad Sanitaria), la inmensa mayoría de las viviendas, un 86,5%, posee sólo un pozo negro, que consiste en un hoyo revestido por piedras, para la disposición de sus aguas residuales.

Dado que la isla es de origen volcánico sus suelos se caracterizan por poseer una alta permeabilidad con presencia de grietas, por lo que es muy posible que estos pozos no retengan casi nada de las excretas, con lo que las aguas estrían siendo drenadas prácticamente directamente hacia las capas inferiores del suelo.

Por otro lado existe un escaso manejo de los residuos sólidos. Según información entregada en la Subsecretaría de Desarrollo Regional, en la isla existen dos vertederos ilegales (que no cuentan con la aprobación de la SEREMI de Salud) donde se disponen los residuos sólidos domiciliarios.

Estos vertederos son, en la práctica, un área donde se disponen los residuos que no cuenta con ningún tipo de protección para evitar que los lixiviados, propios de la descomposición de ellos, sean infiltrados hacia la napa de agua. Este fenómeno se ve potenciado por las precipitaciones.

Como se puede ver el tema del recurso agua de Isla de Pascua es bastante delicado, y aunque actualmente no existen problemas con la disponibilidad de agua para consumo y riego, todo apunta a que se debe tener un mayor control y supervisión del tema.

La propuesta para el presente trabajo es realizar un diagnóstico de la situación actual del acuífero intentando cuantificar tanto cantidad como calidad de éste de manera de idear en base a los estudios hidrogeológicos existentes un sistema de control y monitoreo, para que de esta forma sea posible idear un sistema de gestión sustentable para el acuífero.

1.2 ANTECEDENTES INTERNACIONALES EN ISLAS

Como se describía en la introducción, las condiciones generales de una isla hacen que sea un ambiente muy delicado en cuanto a sus recursos naturales y, principalmente, en cuanto a sus recursos hídricos disponibles.

A modo de que pueda servir como experiencia sobre la importancia de este recurso, se describen los problemas presentados en 2 casos internacionales de islas y los métodos adoptados para solucionarlos según los recursos locales.

- Islas Baleares: Son una comunidad autónoma y una provincia española compuestas por las islas del archipiélago balear, entre las que se pueden nombrar Mallorca, Menorca, Cabrera, Ibiza, Formentera y algunos islotes cercanos. Está situado en el mar Mediterráneo, junto a la costa oriental de la Península Ibérica. En su conjunto tienen una superficie total de 4.992 km². y una población de 1.071.221 habitantes con una densidad de 214,6 hab/km². (http://es.wikipedia.org/wiki/Islas_Baleares, Abril 2010).

La cuenca del Mediterráneo se caracteriza por tener un clima árido con presencia de sequías periódicas. Si a esto se le añade una alta masificación turística, la cual tiene mayor incidencia justamente en las épocas de no lluvia (verano) se dan todos los ingredientes necesarios para que este recurso escasee.

Se debe considerar que la cultura de los usuarios extranjeros, en cuanto a uso de agua, es muy distinta a la de la población indígena, pues éstos provienen de lugares donde el recurso es abundante y no tienen conciencia de ahorro al respecto, llegando a consumir casi tres veces más agua que los residentes del lugar.

Junto a ello se debe incluir la urbanización de extensas zonas para el uso turístico, lo que conlleva un aumento de escorrentía superficial de aguas y por ende una disminución de las recargas naturales al subsuelo.

La mayor fuente de agua dulce en las Islas Baleares viene de aguas subterráneas y su sobreexplotación derivada de actividades del turismo ha producido salinización por intrusión marina, desecación de humedales, contaminación producto de aguas residuales, entre otros.

Todas estas características han provocado que el territorio esté al límite de su capacidad de carga, donde la disponibilidad de agua potable es el mejor indicador, lo que presenta un problema para el crecimiento económico de la localidad. En 1999 el déficit se situó en 23 millones de metros cúbicos, según la Junta de Aguas Baleares.

El caso más emblemático lo presentó la isla de Mallorca. Esta isla tiene una superficie de 3.625 km²., una población de 846.210 (INE 2008) habitantes y una densidad de 233,4 hab/km². Sus principales actividades económicas son el turismo y la construcción. Anualmente recibe cerca de 6 millones de turistas que generan un gran aumento en la demanda de recursos.

En la isla de Mallorca, durante los años 1995, 1996 y 1997, se sufrió una crisis de escasez de agua y fue necesario importar 16,6 hectómetros cúbicos agua desde el Ebro en barcos-cisternas para poder abastecer las necesidades de consumo. Esto tuvo un altísimo costo económico y se tradujo en un alto endeudamiento de la localidad, pues cada metro cúbico importado de esta forma costó casi 5 veces lo que cuesta un metro cúbico proveniente de plantas desalinizadoras, la que ya es muy cara de por sí pues cuesta como 9 veces más que un metro cúbico de agua proveniente de un embalse.

La “operación barco”, como fue denominada, fue suspendida con la construcción y puesta en marcha de plantas desalinizadoras de agua marina, las cuales pudieron sustituir el agua transportada.

Esta solución generó nuevos problemas, un elevadísimo consumo energético que se tradujo en una insuficiencia de la red de generación de electricidad, con lo que fue necesario construir nuevas centrales y con ello se provocó un aumento de la contaminación atmosférica generada, entre otros problemas derivados.

Todos estos problemas han generado que se tome importancia al tema.

Hoy las islas cuentan con una de las redes depuradora de aguas residuales más avanzada de Europa, se re-utilizan las aguas tratadas en riego y algunas de usos domésticos, se cuenta con plantas desalinizadoras que ayudan a suplir la demanda en las épocas de alto impacto turístico y sequías, y se han desarrollado trabajos de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en Islas Baleares (Rodríguez, Gelabert, 2006).

- Isla de Barbados: Situada entre el mar Caribe y el océano Atlántico, entre Venezuela y Puerto Rico. Es una de las Antillas Menores. Se destaca por ser el tercer país más desarrollado del continente americano. Tiene una superficie de 431 km². y una población de 279.912 habitantes (2007) con una densidad de 642 hab/km². Sus principales actividades económicas se basan en la producción de azúcar y en el turismo. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Barbados>, Abril 2010).

El caso de esta isla muestra los beneficios de contar con un sistema de gestión de aguas subterráneas, incluyendo áreas de protección de fuentes de abastecimiento de agua potable, en una situación similar a lo que ocurre en Isla de Pascua, donde no se conoce completamente el régimen del flujo del acuífero o los peligros de contaminación.

El abastecimiento de agua potable de la Isla de Barbados es de origen subterráneo, proveniente de un acuífero kárstico, altamente permeable y con una vulnerabilidad extrema a la contaminación.

Frente al peligro de contaminación del acuífero se tomaron medidas preventivas y se comenzó a estudiar las posibles fuentes contaminantes.

El principal peligro de contaminación de las aguas subterráneas detectado fue la urbanización en la periferia de Bridgetown (capital) con saneamiento *in-situ*, las fugas de almacenamiento de combustibles, de establecimientos comerciales y residuos domésticos.

La importancia estratégica de las fuentes de abastecimiento llevó al gobierno de Barbados a implementar áreas de protección especiales alrededor de los pozos de abastecimiento público basado en el tiempo de viaje promedio del agua hacia los pozos.

Las medidas adoptadas consisten en delimitar zonas donde no se permite la construcción de nuevas viviendas ni industrias, zonas donde se les exige cierto tipo de disposición de residuos (tanques sépticos con fosas separadas, tanques de almacenamientos de hidrocarburos, diseños herméticos) y zonas sin restricción de disposición de aguas residuales pero si de almacenamiento de hidrocarburos.

Constantemente se hacen re-evaluaciones de los peligros de contaminación y medidas a adoptar. Así se han detectado otros problemas como la disposición ilegal de desechos sólidos industriales o el reemplazo del tradicional cultivo extensivo de caña de azúcar por cultivos intensivos de hortalizas que requieren mayor cantidad de fertilizantes y pesticidas. Para todos estos peligros se han implementados medidas de control y monitoreo.

Gracias a estas medidas y preocupaciones por parte del gobierno, aunque el tipo de formación geológica de la isla hace que el agua subterránea sea muy propensa a la contaminación, no se ha tenido problema en las fuentes de abastecimiento y de esta forma no se ha tenido que optar por otras fuentes que aumentarían el costo de producción. (Foster et.al "*Groundwater quality protection*", 2002).

1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO

✓ **Objetivos Generales**

- Evaluar uso y disponibilidad de aguas subterráneas en Isla de Pascua para diferentes propósitos entre los que se considerará: agua potable, riego, ambientales.
- Evaluar el peligro a la contaminación del acuífero
- Proponer un sistema de gestión de los recursos hídricos subterráneos de la isla, incluyendo una red de monitoreo. Identificar cantidad de puntos de monitoreo, evaluar posibles ubicaciones de pozos de observación, identificar parámetros a controlar, entre otros aspectos.

✓ **Objetivos Específicos**

- Estudiar la recarga del acuífero utilizando información secundaria y estudios específicos.
- Evaluar vulnerabilidad del acuífero por medio del método GOD y BGR.
- Identificar posibles fuentes de contaminación al acuífero y formas de detectarlas y controlarlas.

2. ANTECEDENTES GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Isla de Pascua o Rapa Nui, está en el Océano Pacífico a 3760 km de nuestro territorio continental, es conocido como el lugar habitado más aislado de la tierra.

Su historia, que ha sido tratado en numerosos textos, junto con su rica arqueología caracterizada principalmente por sus enormes esculturas denominadas moais, ha hecho que la UNESCO, el año 1995, haya declarado el territorio insular como patrimonio de la humanidad, título que ha aumentado el atractivo turístico natural de la isla.

Hoy en día la Isla de Pascua constituye un territorio político estratégico para la soberanía nacional. La globalización y los tratados de libre comercio (TLC) establecidos entre Chile y países del mundo asiático, entre otros, dejan a la Isla de Pascua como puerta de acceso al país debido a su localización.

Las características medio ambientales de la zona son típicas de zonas subtropicales, el clima está fuertemente condicionado por la influencia oceánica con precipitaciones durante todo el año y temperaturas estables alrededor de los 20 grados. Sus cielos rara vez se encuentran totalmente despejados y son frecuentes los cambios atmosféricos bruscos acompañados de fuertes chubascos.

2.1 GEOGRAFÍA DE RAPA NUI

Geográficamente la Isla de Pascua se ubica en medio del Océano Pacífico, entre América y Polinesia, específicamente 27°09' Latitud Sur, 109° 27' Longitud Oeste.

Es territorio chileno desde 1888, antiguamente pertenecía administrativamente a la V Región de Valparaíso, pero recientemente obtuvo la autonomía administrativa a través de la ley de reforma constitucional que decreta esta isla (en conjunto con el archipiélago Juan Fernández) como territorio especial.

Se encuentra a 3.760 km. de la costa de Chile frente al Puerto de Caldera (III Región de Atacama), a 2.250 km. de las islas de Pitcairn el centro poblado más cercano y a 4200 km. de Tahiti. En la Figura 2.1 se esquematiza la ubicación de la isla.

FIGURA 2.1
LOCALIZACIÓN DE ISLA DE PASCUA

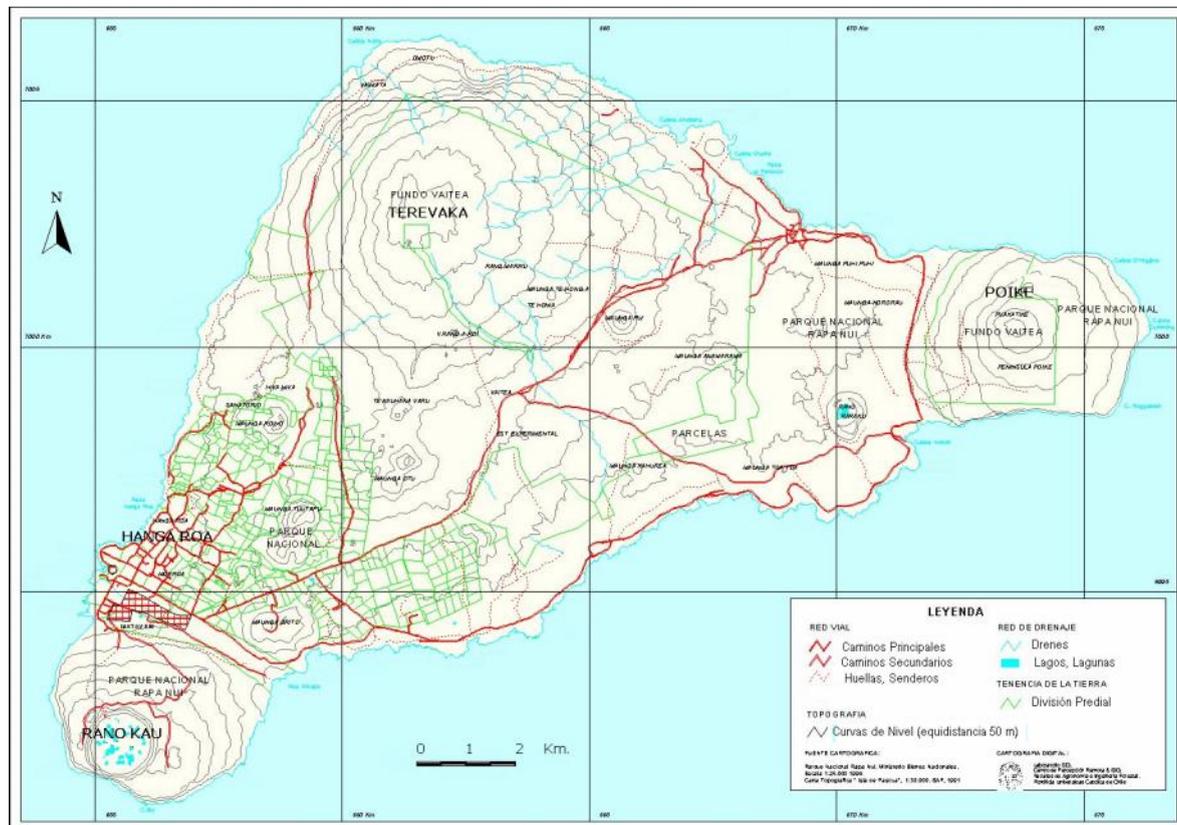


Su forma, como se puede ver en la Figura 2.2, es la de un triángulo isósceles, con 24 km. de hipotenusa y catetos de 16 y 18 km cada uno aproximadamente. Su ancho máximo es de 12 km. En cada vértice se ubican tres volcanes inactivos. Al norte se encuentra el Maunga Terevaka que con 539 m. de altitud es el punto más alto de la isla; por el suroriente se ubica el Poike con 377 m. y al sur poniente se encuentra el cráter del Rano Kau con 324 m.

La superficie de la isla manejada por el Ministerio de Bienes Nacionales es de 16.600 há. de las cuales cerca de 540 há corresponden área urbana, es decir cerca del 96,7% de la superficie de la isla es considerada área rural.

La isla es de origen volcánico y está conformada por una plataforma que no supera los 600 m de altura. Hacia el interior muestra suaves pendientes en el sentido del derrame de lava y emergen numerosos volcanes secundarios y numerosas colinas de aspecto redondeado sobre planicies onduladas.

FIGURA 2.2.
ISLA DE PASCUA



Fuente: Modificado de: Ingeniería Agrícola Ltda.-"Diagnóstico Integral Isla de Pascua", 1998.

2.2 DATOS DE POBLACIÓN

Según la información presentada en la Tabla 2.1, que corresponde a la evolución de la población total encuestada en los censos levantados durante el siglo XX en Chile, la población de la Isla de Pascua desde el año 1920 hasta 2002 ha venido creciendo conforme a una ley exponencial. Así de poco más de 250 habitantes en 1920, se pasa a aproximadamente por 3.791 personas en el 2002. Esta ley se muestra en la Figura 2.3.. y permite estimar que al 2010 la población sería de 4.618 habitantes.

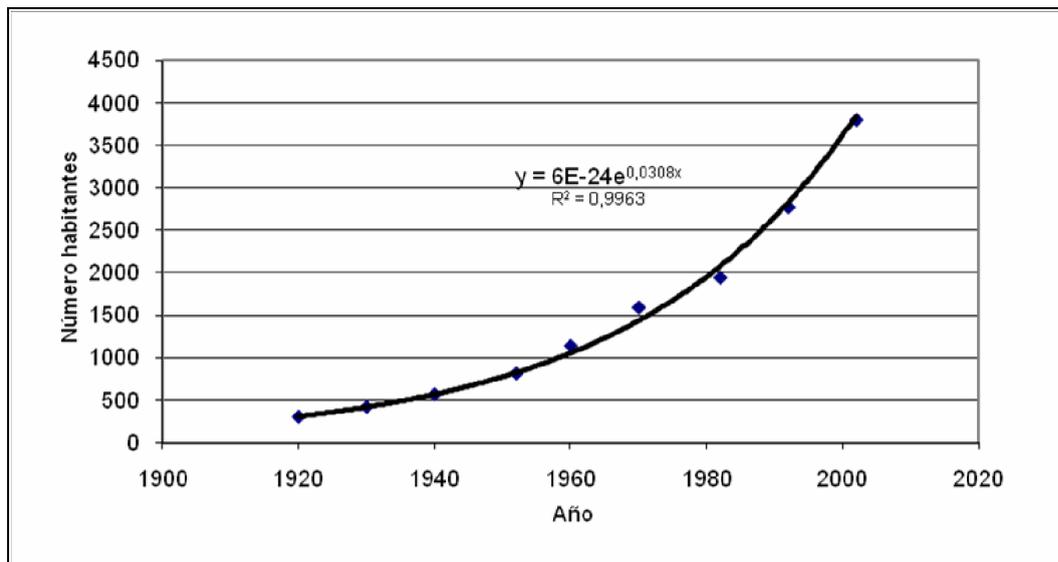
Como se puede ver en esta misma tabla, la mayoría de la población se encuentra en la única zona urbana de la isla, Hanga-Roa. Según el "Diagnóstico del Plan Regulador" elaborado por la consultora AMBAR S.A. (2005), cerca de un 98% de la población de la isla corresponde a población urbana. Esto cobra vital importancia al momento de analizar la carga de contaminante por descargas domésticas o la demanda de agua y energía para los mismos efectos.

TABLA 2.1.
POBLACIÓN EN ISLA DE PASCUA

Año	Población Total	Tasa de Crecimiento	Densidad (Hab/km ²)	
			Isla de Pascua	Hanga-Roa
1920	299	-	2	6
1930	414	3,3	3	8
1940	563	3,1	3	11
1952	809	3,0	5	16
1960	1134	4,2	7	23
1970	1585	3,3	10	32
1982	1936	1,7	12	39
1992	2764	3,6	17	55
2002	3791	3,2	23	76

Fuente: INE, Censos de Población y Vivienda

FIGURA 2.3.
CRECIMIENTO EXPONENCIAL DE LA POBLACIÓN DE ISLA DE PASCUA



Es importante considerar que además de la población local existe una alta carga turística que se estima en una llegada anual de 25.000 personas. Esto incrementa las necesidades locales en los meses de temporada alta (entre enero-febrero y agosto-noviembre) en más de un 30% considerando una estadía promedio es de 4 días.

2.3 ACTIVIDADES ECONÓMICAS

La economía de la isla depende fuertemente de los ingresos fiscales y de los servicios prestados por el Estado. Dentro de éstos es importante destacar que las actividades económicas de la Isla están exentas de impuesto.

La mayor parte de los ingresos son provenientes del turismo, considerando dentro de este rubro los hoteles, restaurantes y venta de artesanías.

El resto de las actividades tales como la agricultura, la pesca, la construcción, etc. no generan ingresos de fondo, sino que producen bienes y servicios para satisfacer parte de la demanda interna.

La agricultura se caracteriza por ser escasa y de tipo familiar, ésta satisface una pequeña parte de la demanda de alimentos para la población, el resto es abastecida con productos importados desde el continente.

La mano de obra es poca y por periodos de tiempo dejan de trabajar para dedicarse a labores relacionadas con el turismo, pues estas labores presentan mayor ingreso para ellos.

La pesca es practicada en forma artesanal y, en algunos casos, resulta muy rentable. Además, como los resultados de esta actividad son muy variables, quienes la practican, combinan este oficio con otros

En el informe “Diagnóstico del Plan de Desarrollo, 2005” elaborado por AMBAR S.A. se desglosan las actividades económicas que ocupan mayor población, basados en los informes entregados por el INE, las cuales se muestran en la Tabla 2.2.

Se pueden resumir las actividades más importantes como:

- Actividades de Comercio, Hoteles y Restaurantes suman un 22,6% con 5,4 puntos más que en 1992
- Administración Pública ocupa a un 15,03% de la población.
- Actividad agrícola concentra sólo a un 5,87% y la pesca un modesto 2,08%.

TABLA 2.2.
SÍNTESIS POBLACIÓN OCUPADA POR RAMA DE ACTIVIDAD ECONÓMICA

Categorías	Casos	%
Administración Pública y Defensa, Planes de Seguridad Social de Afiliación Obligatoria	274	15,03 %
Comercio Al Por Menor, Excepto el Comercio de Vehículos Automotores y Motocicletas; Reparación de Efectos Personales y Enseres Domésticos	245	13,44 %
Hoteles y Restaurantes	167	9,16 %
Enseñanza	111	6,09 %
Otras Actividades Empresariales	109	5,98 %
Agricultura, Ganadería, Caza y Actividades de Tipo Servicio Conexas	107	5,87 %
Construcción	107	5,87 %
Actividades de Transporte Complementarias y Auxiliares, Actividades De Agencias De Viajes	92	5,05 %
Fabricación de Muebles, Industrias Manufactureras N.C.P.	89	4,88 %
Transporte por Vía Terrestre, Transporte por Tuberías	60	3,29 %
Otras actividades	462	31,21%
TOTAL	1823	100%

Fuente: AMBAR –“Diagnóstico del Plan de Regulador de Isla de Pascua”, 2005

2.4 INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS DE SANEAMIENTO BÁSICO

2.4.1 ASPECTOS GENERALES

Toda la infraestructura sanitaria de Isla de Pascua es mantenida y operada por la Sociedad Agrícola de Servicios Isla de Pascua Ltda. (SASIPA).

SASIPA es una empresa CORFO creada en 1966 originalmente para reemplazar las tareas que hasta ese momento realizaba la Armada de Chile en cuanto a servicio de cabotaje.

Hoy en día SASIPA tiene a su cargo las siguientes tareas:

- Generación y distribución de energía eléctrica
- Producción y distribución de agua potable
- Servicios de carga y descarga marítima
- Crianza, reproducción, faenamiento y venta de vacunos
- Plantaciones de bosques y plantaciones frutales

Como se puede ver esta empresa no es una empresa de rubro único, por lo que no califica como empresa sanitaria (DFL N°70 1988) y aunque está regulada por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), no se le exigen los mismos criterios que al resto de las empresas sanitarias del país por considerarse como empresa especial.

El control y fiscalización se hacen prácticamente imposibles debido al alto costo, producto de la distancia. Esto mismo genera que aunque se han presentado planes de desarrollo para el agua potable estos no han sido aprobados por la Superintendencia.

El único parámetro donde la SISS tiene influencia real sobre el manejo de las aguas de la Isla, es por medio del estudio tarifario donde se acuerda en conjunto con SASIPA según una empresa modelo presentada por ellos, las tarifas que se cobrarán a futuro por el suministro de este servicio. Por las condiciones particulares existentes en Isla de Pascua SASIPA recibe subsidios que tienen por finalidad aminorar la carga tarifaria de sus clientes e implementar los planes de inversión que permitan la ampliación y mantención de su infraestructura. Pese a esto la tarifa media es similar a la observada en Chile continental.

2.4.2 SERVICIO DE AGUA POTABLE

El agua utilizada para el abastecimiento de agua potable de Hanga Roa es proveniente de las napas subterráneas, la cual se extrae por medio de pozos con bombas sumergibles y son sometidas, únicamente, a un proceso de cloración y fluoración. Los pozos utilizados en este proceso son cinco en total de los cuales uno (Pozo 28) está recientemente en operación y dos (Pozos 25 y 27) se ocupan en forma permanente. Existe un pozo que se utiliza de apoyo (Pozo 7) y el quinto y último no se utiliza debido a su alta concentración salina (Pozo 21). La ubicación de estos pozos se muestra en el ANEXO 5. Desde el punto de vista de riesgo de falla no existen sistemas de bombeo de soporte ni sistemas electrógenos de emergencia.

Las características básicas de los pozos de captación se muestran en la Tabla 2.3, extraída del informe “Diagnóstico del Plan Regulador” elaborado por Ambar S.A (2005).

TABLA 2.3.
POZOS DE CAPTACIÓN SASIPA

Nombre	Profundidad pozo [m]	Capacidad Media-[l/s]	Estanque destino [m]
Pozo 7	38	7,0	Rano Kau
Pozo 21	60	16,0	Arapiki
Pozo 25	48	16,0	Rano Kau
Pozo 27	60	16,0	Rano KauArapiki-Puna Pau
Pozo 28	50	18,0	Rano KauArapiki-Puna Pau

Fuente: SASIPA

Según este mismo informe, hasta ese año SASIPA contaba con 1640 clientes cubriendo un área de 803,9 há con una red 40 Km. de extensión con aproximadamente un 40% en PVC y el resto en asbesto-cemento el cual se estaría reemplazando por PVC.

2.4.3 MANEJO DE AGUAS SERVIDAS

No existe por el momento ninguna red de disposición de aguas servidas en Hanga Roa. La gran mayoría de las viviendas cuenta sólo con un pozo negro para la disposición de las aguas servidas. Debido a la composición geológica de la isla (detallada más adelante), los suelos son altamente permeables, con presencia de cavernas y grietas, por lo que es muy probable que estas aguas estén drenando directamente hacia las napas subterráneas.

En algunos lugares en Hanga Roa se construyeron fosas sépticas, sin embargo este tipo de solución sanitaria no ha prosperado pues en la actualidad el municipio no cuenta con un servicio de limpieza de estas fosas.

Mayores detalles se describen en un capítulo posterior de este documento, en la sección **4.3 Potenciales Fuentes Contaminantes de Isla de Pascua**.

En la actualidad ya se aprobó la implementación de sistemas de saneamiento mejorados de tipo individual a cargo de la Subsecretaría de Desarrollo de Regiones. Los estudios previos a su implementación estarían siendo realizados.

2.4.4 MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS

Hasta hace poco se contaba con dos lugares de disposición de los residuos sólidos. El botadero de Hanga Hemu y Orito. Ambos considerados como vertederos ilegales pues no cuentan con autorización de SEREMI SALUD.

Hanga Hemu empezó a operar a principios de los 90. Actualmente se encuentra saturado, sin embargo todavía algunos particulares depositan sus residuos en este sitio. La situación del botadero es bastante precaria pues no cuenta con ningún sistema de disposición ni recubrimiento de los residuos. Tampoco cuenta con un sistema de protección para el suelo.

El vertedero que se utiliza actualmente corresponde a la ex-cantera de Orito. Éste antiguamente era utilizado para botar ramas y otros tipos de materiales orgánicos. En la actualidad se están realizando estudios para generar en este lugar un buen sistema de disposición de residuos sólidos del tipo balas.

Mayores detalles e imágenes de la situación de estos botaderos se muestran en un capítulo posterior de este documento, en la sección **4.3 Potenciales Fuentes Contaminantes de Isla de Pascua** .

2.4.5 ENERGÍA

En la actualidad la mayor parte de la energía de la Isla se produce a partir de combustible Diesel traído desde el continente.

La Central Eléctrica se encuentra ubicada en el sector de Mataverí, está a cargo de SASIPA y tiene una potencia de 1800 Kw con lo que se abastece satisfactoriamente las necesidades energéticas de la Isla aunque en ocasiones ocurren cortes debido a la antigüedad de los generadores. Normalmente se consumen cerca de 110.000 litros de combustible al mes aunque en verano este valor asciende a los 150.000 litros.

El principal desecho de esta planta es el aceite quemado. Cada 20 días se les realiza cambio de aceite a los motores, por lo que mensualmente se producen entre 400 y 600 litros de aceite quemado que son almacenados en tambores en las instalaciones de la planta y posteriormente enviados al continente. En ocasiones se regala estos aceites a la comunidad para impregnar postes y estacas para cercos.

Antiguamente se utilizaba este aceite para aplicarlo en las calles sin pavimento para evitar el levantamiento de polvo, pero esta práctica se encuentra ya suspendida, sin embargo todavía podrían existir restos de hidrocarburos en el suelo que se presenten como amenaza de contaminación para las aguas subterráneas.

2.5 MEDIO AMBIENTE

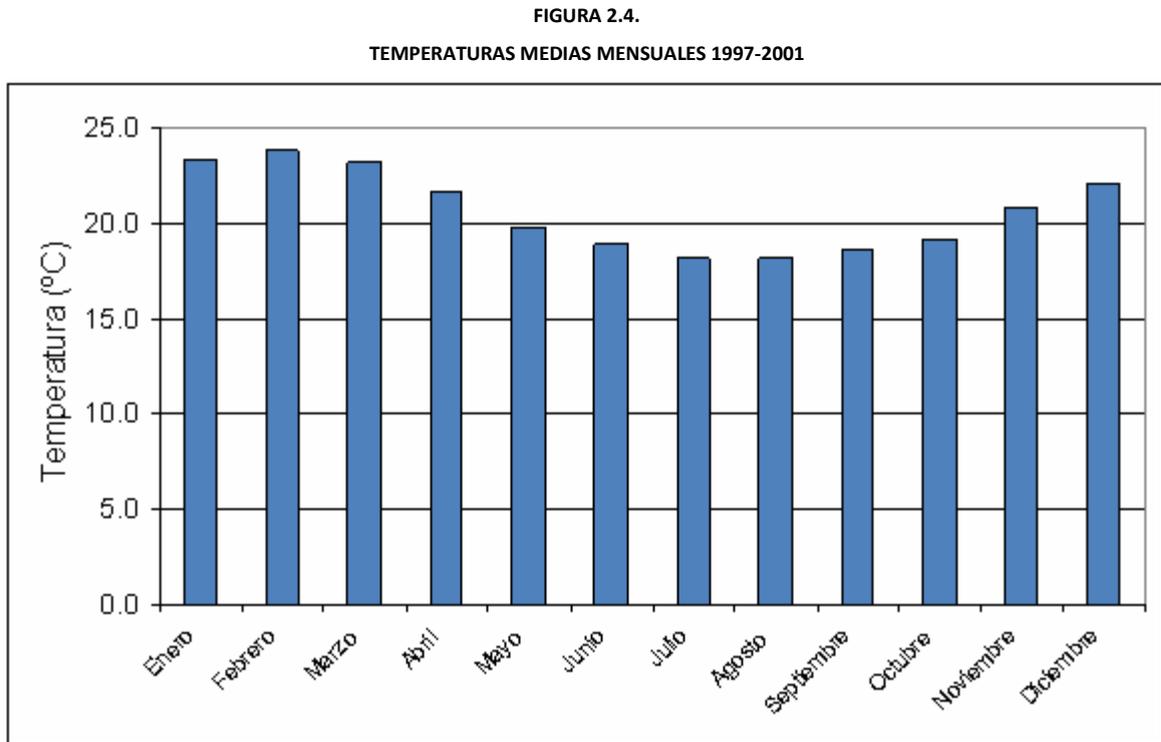
Se puede decir que el ecosistema isleño es un ambiente único y frágil, el que se puede identificar a través de sus características climáticas, geológicas, hidrológicas, geomorfológicas, recursos naturales y riesgos naturales. A continuación se describen características del medio ambiente que pueden ser de utilidad al momento de elaborar un plan de gestión sustentable para el acuífero de la isla.

2.5.1 CLIMA Y METEOROLOGÍA

Según los informes entregados por Ambar S.A.(2005), en el estudio *“Actualización Plan Regulador de Isla de Pascua”* e Ingeniería Agrícola Ltda.(1998), en el estudio *“Diagnóstico para el Desarrollo Integral de Isla de Pascua”* se pueden definir las características climáticas de la isla de la siguiente manera.

En general puede describirse como un clima subtropical con una alternancia de suaves características primaverales y otoñales sin estación invernal, en donde todos los meses la temperatura media es superior a 18 y las precipitaciones son abundantes.

En la Figura 2.4 se muestran las temperaturas medias mensuales según datos de 1997 al 2001.

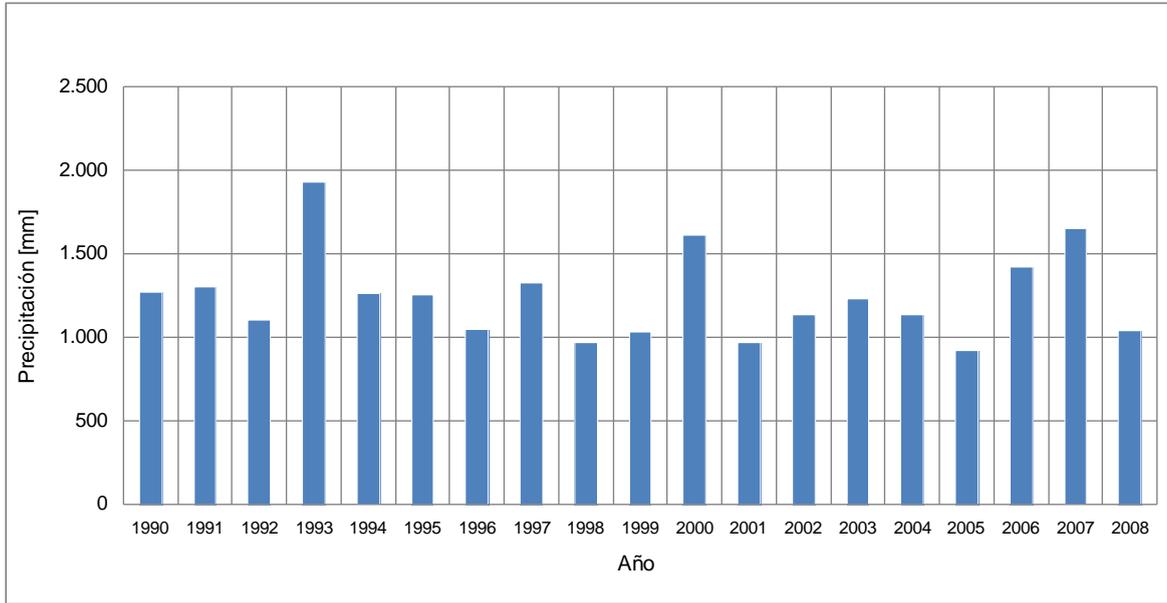


Fuente: Ambar – “Estudio Actualización Plan Regulador de Isla De Pascua”, 2005

Según el registro de precipitaciones en la estación Mataveri ubicada a una elevación de 46 m. (mostradas en el ANEXO1. se calculó, para el periodo 1970-2007, un promedio anual de precipitaciones de 1.204 mm. con una desviación estándar de 271 mm.

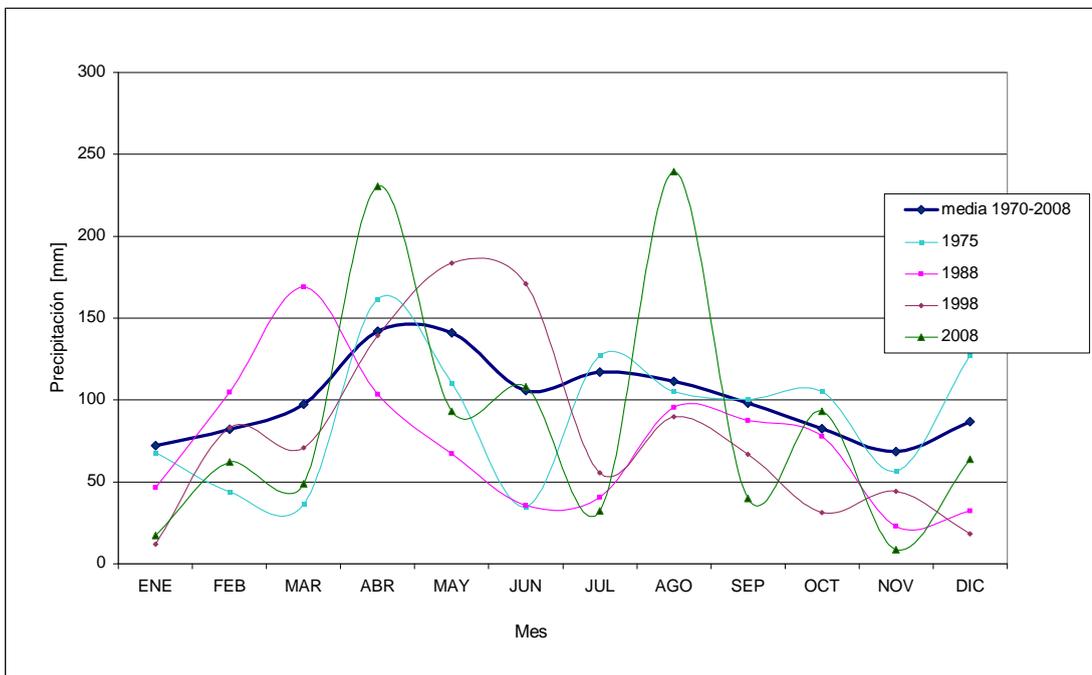
Algunos de estos valores se muestran en la Figura 2.5.

FIGURA 2.5.
PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES



En general las precipitaciones se producen durante todo el año pero muestran dos máximas y mínimas anuales como se muestra en la Figura 2.6.

FIGURA 2.6.
PRECIPITACIONES MENSUALES DISTINTOS AÑOS PERÍODO 1970-2008



En el informe elaborado por Ambar S.A. (2005) describen:

Las lluvias de verano son habitualmente cortas y violentas, mientras que en invierno son menos intensas pero continuas y prolongadas, llegando en ocasiones a llover durante períodos que sobrepasan una semana.

Los vientos dominantes fluctúan en sentido SEE-NWN, pues la Isla se encuentra bajo la influencia directa del sector noroccidental del anticiclón del Pacífico.

En invierno la Isla recibe vientos del oeste que son los de mayor fuerza.

La insolación en la isla tiene un promedio anual de 2370,2 horas de sol, lo cual equivale a 6,8 horas diarias, en donde, para el período diciembre – enero, la insolación es máxima, con un promedio de 8,7 horas de sol; mientras que en invierno (junio – agosto) solo se cuenta con un promedio de 5,3 horas diarias de sol.

El promedio de nubosidad mensual fluctúa entre 4,2 (enero) y 5,5 (julio) octas. También se observa una suave tendencia a disminuir la nubosidad en los meses de verano y un incremento durante el invierno, en donde el promedio anual, alcanza 5 octas.

2.5.2 GEOLOGÍA

La Isla presenta un origen volcánico de tipo oceánico compuesto principalmente por flujos basálticos. Está constituida sobre tres centros eruptivos fisurales importantes: los volcanes Poike, Rano Kau y Terevaka. Según Ingeniería Agrícola Ltda.(1998), las dataciones radiométricas sobre las rocas volcánicas señalan que los eventos eruptivos más antiguos de la Isla ocurrieron tan sólo hace 3 millones de años. A su vez, consideraciones arqueológicas asignan la última actividad eruptiva como anterior al primer asentamiento humano, esto es, hace aproximadamente 1600 años.

Según Alamos y Peralta (1992), la mayoría de las lavas que forman la Isla de Pascua pertenecen a la serie de la toleitas a toleitas olivínicas. Pasando por tipos diferenciados de hawaiitas, mugearitas, benmoeritas, tranquilas y riolitas.

La geología utilizada para este trabajo está basada principalmente en el mapa geológico elaborado por Gonzalez-Ferrán (2004) el que se presenta en el ANEXO 2.

La información que se presenta a continuación corresponde a las descripciones del informe de este mapa.

La Isla de Pascua está edificada enteramente sobre la Placa Oceánica de Nazca y presenta una secuencia evolutiva submarina y otra subaérea.

Dentro de la fase submarina se destaca que la isla fue generada por los procesos geodinámicos de la interacción del Ridge de la Dorsal Mesoceánica del Pacífico con los puntos calientes (Hot spots) de

Pascua. En ese proceso se dió origen, entre otras, a la Microplaca de Pascua, entrampada entre las Placas de Nazca y Pacífica, que junto con el proceso expansivo-acrecionario del Rift de la dorsal, la microplaca de Pascua presenta a su vez una rotación en sentido horario.

La superficie sobre el agua representa sólo 4,7 % de la superficie basal oceánica; y su volumen el 0,48 % del volumen total de las lavas eyectadas, que estructuraron el edificio volcánico submarino de la isla. Dicho edificio es el resultado de la coalescencia y amalgamiento de al menos diez centros eruptivos controlados por fracturas semi paralelas de rumbo N52ºE, con una longitud aproximada de 75 km.

De los centros eruptivos, como se había mencionado anteriormente, los principales son el Poike, Rano Kau y Terevaka. Éstos estructuran el escudo volcánico que aflora como una isla de morfología triangular, de fuerte pendiente y escarpes causados por deslizamientos de laderas, característico de la actividad eruptiva submarina, acompañada de numerosas efusiones parásitas y desarrollo de pequeños rift, lavas tubo, pillow, avalanchas de detritos, etc.

De la fase subárea se puede nombrar que los depósitos volcánicos han permitido cartografiar 29 unidades volcánicas, que se han agrupado en 7 grandes ciclos eruptivos definidos por el control tectónico, características petrográficas, relaciones estratigráficas, estructurales, morfológicas y edades radiométricas que se detallan brevemente a continuación.

- **Grupo Poike:** Es el conjunto eruptivo más oriental y antiguo de la isla. Se caracteriza por flujos de lavas de basaltos olivínicos y hawaitas que alternan con niveles piroclásticos. El conjunto es afectado por una fase intrusiva traquítica, con la eyección de tres lavas domos (M. Parehe; M. Tea Tea; M. Vai a Heva
- **Grupo Rano Kau:** Surgen en unos 500 mil años más tarde que el grupo Poike. Se reconocen al menos 50 niveles de flujos de lavas con diversas estructuras y efímeras intercalaciones de piroclastos, cuya composición es toleítica olivínica, basaltos alcalinos, hawaitas, mugaritas y en su parte superior culmina con lavas en domos benmoritas. En su fase tardía se produce una actividad eruptiva riolítica, rica en lentes de obsidias esferulíticas, controlada por una fractura de rumbo N50ºE, que intruye la lava domo del M. Orito, los Motus y el domo Te Manavai.
- **Grupo Terevaka:** La estructura central de este complejo está constituida por efusivos que se traslapan coalescentemente con el Poike y el Rano Kau, hasta alcanzar una altura cercana a los 500 m, creando un cono muy simétrico de unos 10 km de radio basal. Las lavas son toleítas olivínicas, basaltos y hawaitas.
- **Actividad eruptiva fisural tipo Rift:** Grupo producido por la reactivación de la actividad eruptiva del Terevaka debido a un fracturamiento de rumbo E-O y N70ºO. Se formaron flujos de lavas túmulus tanto al oriente como al poniente dejando más de una veintena de conos de piroclastos y spatter a lo largo del rift, con una composición principalmente de basaltos olivínicos y hawaitas.
- **Grupo Tanga Roa:** Se extiende por casi 10 km el rift con rumbo N16ºE a N30ºE. Flujos de lavas túmulus, túneles, cordadas pahoehoe, "aa", y 66 depresiones cratéricas, spatters, conos cinericios,

piroclastos, aglomerados de lapillis, bombas, escorias aglutinadas parcialmente soldadas y fuertemente hematizadas. Principalmente de composición hawaitas y en menor proporción basaltos olivínicos y mugaritas.

- **Grupo Rano Aroi:** Ciclo eruptivo post subsidencia Terevaka, controlado por fracturas asociadas a dicha subsidencia. Flujos de lavas tómulus, túneles, flujos con fuerte diaclasamiento columnar, lavas cordadas, pahoehoe, “aa”, etc. y 57 cráteres y conos cinericios, piroclastos, spatters y aglutinados de lapilli. Todos ellos con rasgos morfológicos que indican una edad muy reciente. Tienen una composición principalmente toleítica de olivino muy porfírico, basaltos olivínicos, hawaitas y mugaritas tanto afíricas como porfíricas.
- **Grupo Hiva- Hiva:** Representan las erupciones más recientes. El conjunto Anakena – Ovahe en la costa norte y el de Hiva-Hiva en la costa occidental, con desarrollo de tómulus y lavas túneles.

Aunque estos suelos están divididos en distintos grupos es importante recalcar que las características hidrogeológicas de dichos grupos no difieren mucho entre sí.

2.5.3 HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

Por su característica de isla volcánica el acuífero de Isla de Pascua se caracteriza por su elevada permeabilidad. La permeabilidad se vincula tanto a fisuración o fracturamiento primario como a la presencia de cavidades e intraformaciones asociados al mecanismo de enfriamiento de rocas. Esto genera que las precipitaciones que caen sobre la isla, se infiltran con facilidad, siendo escasos los escurrimientos superficiales.

Al ocurrir precipitaciones intensas, se observan escurrimientos superficiales en algunos sectores de la Isla, especialmente en el poblado de Hanga Roa, durante cortos períodos que cesan al cesar la lluvia. Dichos escurrimientos están relacionados en muchos casos con suelos que han sufrido procesos de degradación (erosión). Puede decirse que no existen en la isla cauces con escurrimiento superficial permanente.

Alamos y Peralta (1992), estima que la Isla de Pascua en su conjunto conforma un embalse subterráneo, cuyo límite es el Océano Pacífico que lo rodea, con un volumen embalsado que se encuentra entre 33-166 millones de metros cúbicos (Mm^3), según sea el valor del coeficiente de almacenamiento considerado: igual al 1% ó 5%.

Según revisión bibliográfica la infiltración media producto de las lluvias estaría comprendida entre 55-92 Mm^3 al año y los volúmenes de extracción registrados de acuerdo a datos de sondeo de 1989 serían de 0,36 Mm^3 al año. Se puede ver que la cantidad de agua dulce en la isla no es un problema ni está cerca de la sobreexplotación, por este motivo se pondrá mayor énfasis en el presente trabajo en cuanto al tema de proteger la calidad del recurso.

Ingeniería Agrícola (1998) describe que en general, las aguas subterráneas de Isla de Pascua, demuestran buenas calidades físico-químicas. Monitoreos de niveles estáticos y calidades físico-químicas, han permitido establecer la ausencia de oscilaciones significativas en respuesta tanto a extracciones, como a descargas naturales de flujos subterráneos hacia el borde y/o modificaciones interanuales en el régimen de precipitaciones pluviales.

En la Tabla 2.4. se presentan análisis de agua de la Isla de Pascua orientados a establecer el carácter físico-químico de las aguas subterráneas. En la Tabla 2.5. las características de los pozos muestreados.

Estos análisis fueron realizados por el Laboratorio de Análisis de Suelos y Foliar de la Facultad de Agronomía de la Universidad Católica de Chile en Mayo de 1998.

TABLA 2.4.
PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

	Pozo 16	Pozo 23	Pozo 13	
Parámetro	Valor	Valor	Valor	Unidades
pH	7,62	7,58	7,68	
Conductividad eléctrica	1,22	0,23	5,14	mmhos/cm
Calcio soluble	1,06	0,40	1,16	meq/l
Sodio soluble	6,29	0,90	3,08	meq/l
Magnesio soluble	2,22	0,49	3,04	meq/l
Potasio soluble	0,22	0,06	0,36	meq/l
Cloruro soluble	0,82	1,08	15,51	meq/l
Sulfato soluble	0,31	0,08	0,58	meq/l
Bicarbonato soluble	1,13	0,89	1,21	meq/l
Carbonato soluble	No detectable	No detectable	No detectable	meq/l
Fierro soluble	1,01	No detectable	No detectable	ppm
Maganeso soluble	No detectable	No detectable	No detectable	meq/l

Fuente: Ingeniería Agrícola Ltda.-"Diagnóstico para el Desarrollo Integral de Isla de Pascua", 1998, CNR

TABLA 2.5.
CARACTERÍSTICAS POZOS MUESTREADOS

Nº Pozo	Denominación	Profundidad Pozo [m]	Nivel estático [m]
13	Anakena	26	19,7
16	Vaihú	28	26,4
23	Vaitea	102	94,7

Fuente: Ingeniería Agrícola Ltda.-"Diagnóstico para el Desarrollo Integral de Isla de Pascua", 1998, CNR

En resumen, este embalse subterráneo es similar al caso clásico de los acuíferos isleños. Se trata de un gran acuífero rocoso permeable por fisuración y por cavernas, que recibe su alimentación casi exclusivamente por infiltración directa de aguas lluvias y que presenta descargas relativamente uniformes repartidas a lo largo del perímetro costero.

Si bien es cierto que la isla se encuentra sobre un gran acuífero subterráneo, este se presenta a mucha profundidad bajo la superficie terrestre (hasta cerca de 400 m) lo que hace muy difícil la captación de agua. Una situación distinta se observa en sectores cercanos a la costa, aunque la calidad del agua de los pozos es menor y está limitada debido a la intrusión salina.

En el estudio "*Recursos Hídricos de Isla de Pascua*" (1992) se detallan características de la permeabilidad del suelo, en función de la capacidad de éstos para permitir la infiltración de las precipitaciones, y el subsuelo, basado en la geología de subsuperficie en lo que tiene relación con la capacidad de almacenar y transmitir agua.

Se logra clasificar distintos sectores en zonas clasificadas como zona de permeabilidad alta, media y baja. Este tema será abordado más a fondo en el **Capítulo 4. Aplicación a la Zona de Estudio.**

3. GESTIÓN DE CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS¹

3.1 ANTECEDENTES GENERALES

Se puede decir que la gestión de los recursos subterráneos consiste en equilibrar la explotación del recurso, en términos de protección de la cantidad y calidad de éste, con las crecientes exigencias presentadas por los usuarios del agua y la tierra, quienes normalmente se presentan como una amenaza de contaminación y agotamiento hacia dicho recurso.

Las necesidades de gestión del agua subterránea, por lo general, no aparecen hasta que se perjudica a algún grupo interesado producto de un descenso en el nivel de rendimiento de los pozos o un empeoramiento de la calidad extraída desde ellos. Sin embargo en numerosos trabajos se habla que lo mejor es contar con un sistema de gestión de agua subterránea antes de que ocurra algún problema, pues las soluciones son bastante complicadas y de elevado costo, además del tiempo de estabilización necesario para disponer del recurso nuevamente.

Para generar el sistema de gestión lo primero es mirar el territorio a analizar a escala global o regional, abarcar grandes zonas y mirar el territorio como un conjunto de interacciones donde lo que ocurra en un determinado sitio puede influenciar directamente a otro. De esta forma se debe analizar el conjunto completo y detectar las zonas dentro de la región o del territorio analizado que tienen mayor riesgo de contaminación o de explotación del recurso; para luego poder acercarse a dichas zonas y realizar un enfoque a nivel local.

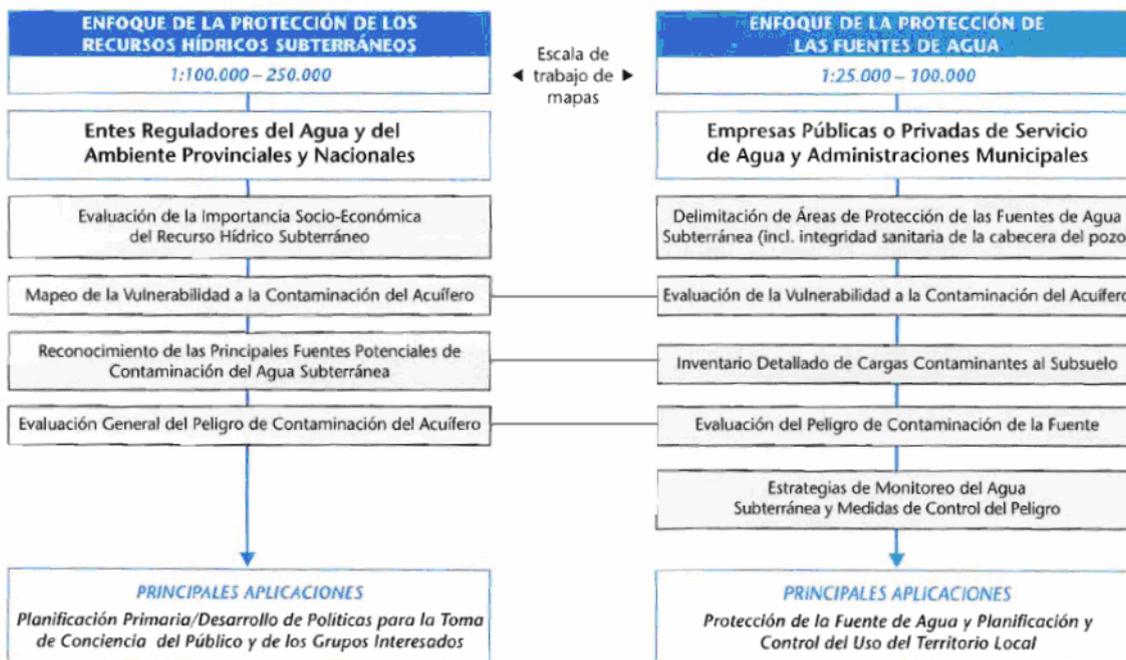
La gestión a nivel local se enfoca principalmente en la determinación de los perímetros de protección para los pozos existentes de manera de poder asegurar un caudal demandado y la calidad del agua extraída.

En la Figura 3.1 se muestra el trabajo que se debe llevar a cabo para realizar la gestión tanto a escala regional como local, y las principales aplicaciones de éstas. Como se puede ver existe un trabajo similar en algunos puntos pero a una escala de trabajo diferente.

¹ La mayor parte de este capítulo está basada en los informes publicados por el Banco Mundial en su Serie de Notas Informativas acerca de la Gestión Sustentable del Agua Subterránea.

FIGURA 3.1.

ENFOQUE Y APLICACIÓN DE LOS DIFERENTES NIVELES DE EVALUACIÓN DEL PELIGRO DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA



Fuente: Foster et. al-"Protección de Calidad del agua subterránea", 2002, Banco Mundial

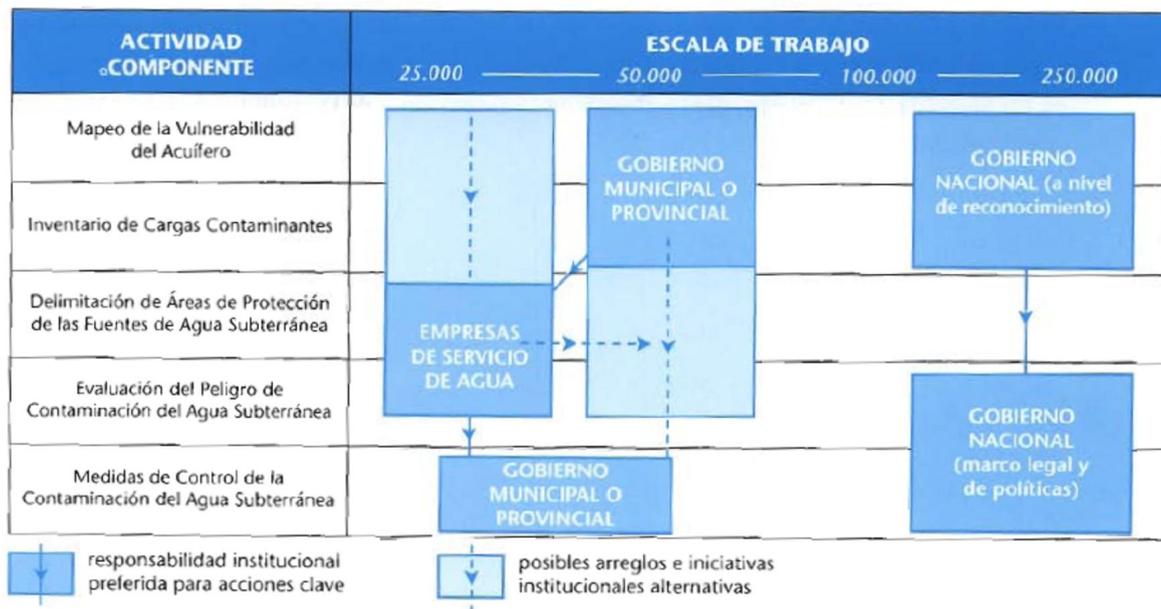
El desarrollo de un sistema de gestión que sea eficaz y sustentable siempre requerirá de la participación de los principales grupos interesados, incluyendo los usuarios del agua.

De los responsables de llevar a cabo la gestión de calidad de las aguas subterráneas dependerá el enfoque que tenga dicha protección. Es recomendable que la gestión global sea realizada por autoridades gubernamentales relacionadas con el medio ambiente y/o los recursos hídricos. En el caso de la gestión local se recomienda la participación de empresas sanitarias o de los propietarios de las captaciones.

En la Figura 3.2 se muestran las relaciones que deben existir entre los diferentes grupos para realizar este trabajo de la manera más conveniente.

FIGURA 3.2.

ARREGLOS INSTITUCIONALES PARA LA EVALUACIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA



Fuente: Foster et. al-“Protección de Calidad del agua subterránea”, 2002, Banco Mundial

A continuación se presentan mayores detalles de los procedimientos a llevar a cabo para la realización de la gestión a escala regional y local.

3.2 GESTIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS A ESCALA REGIONAL

3.2.1 INTRODUCCIÓN

Como se explicó anteriormente la gestión de aguas subterráneas a escala regional tiene como objetivo mirar el territorio a analizar como un conjunto de elementos y acciones que ocurren en él, que se relacionan entre sí. Para estos efectos lo principal es analizar las características del acuífero y las cargas contaminantes hacia él.

Se definirá acuífero como una formación geológica capaz de suministrar agua subterránea útil a pozos y manantiales.

Todos los acuíferos tienen dos características fundamentales: capacidad de almacenar agua subterránea y capacidad de permitir el flujo del agua subterránea. El grado en que se presentan estas propiedades variará mucho de una formación geológica a otra y de esta misma forma afectará como se movilizan y almacenan los contaminantes en él, de aquí nace el concepto vulnerabilidad del acuífero.

Conociendo las características geológicas e hidrogeológicas del acuífero y del estrato no saturado (vulnerabilidad), se pueden analizar las principales fuentes contaminantes y a partir de ello detectar cuales son las zonas del territorio analizado que presentan mayor peligro de contaminación.

Con esto se pueden tomar medidas para detectar las zonas de mayor peligro de contaminación, proteger las fuentes de agua y organizar el territorio según usos de suelo para prevenir la contaminación en aquellas zonas más susceptibles.

Es importante destacar que aunque esta herramienta permite tener un esquema para la planificación territorial de manera de proteger el recurso subterráneo, ésta es sólo una recomendación general, en caso de necesitar o querer utilizar el territorio de manera distinta a la planificada se debe realizar en estas zonas un estudio más profundo del tipo de suelo, las recargas existentes y los riesgos analizados con anterioridad y determinar las medidas a adoptar.

3.2.2 VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN

Existen diversas definiciones para el término vulnerabilidad, la mayoría de ellos hacen referencia a la susceptibilidad del acuífero a ser afectado por la contaminación antrópica.

Según Ground Water Vulnerability Assesment (2000) la vulnerabilidad se puede definir como el nivel de penetración con que un contaminante alcanza una posición específica en un sistema acuífero, después de su introducción en alguna posición sobre la zona no saturada.

Existen diversas metodologías para la determinación de la vulnerabilidad de los acuíferos, las cuales se diferencian, principalmente, por el nivel de información que es necesario disponer para aplicar uno u otro método. En el presente trabajo se evaluará la vulnerabilidad por medio de la metodología de índice y superposición.

Los métodos de índice y superposición consisten en asignarle valores a ciertos parámetros, que se consideran importantes para la determinación hidrogeológica del acuífero, y superponerlos. De esta forma se obtiene un mapeo del territorio con un índice absoluto (independiente del contaminante) de vulnerabilidad del acuífero definido de manera clara y concreta.

Existen diversos métodos de índice y superposición recomendados para la evaluación de vulnerabilidad. Debido al nivel de información con el que se cuenta para la zona de estudio se ha decidido utilizar dos métodos distintos para evaluar la vulnerabilidad del acuífero de isla de Pascua: el método GOD y el método BGR.

– Aplicación del Índice de Vulnerabilidad GOD

El método **GOD** recibe su nombre en función de los parámetros que utiliza para la determinación del índice de vulnerabilidad: **G**rado de confinamiento hidráulico, **O**ccurrencia del sustrato suprayacente, **D**istancia al nivel del agua subterránea

Este fue desarrollado por Foster e Hirata (1988), y posteriormente modificado. Ha sido probado ampliamente en América latina y el Caribe debido a la simplicidad de su aplicación, pues resume, en sólo tres parámetros representativos, la mayor parte de los parámetros que componen la vulnerabilidad del acuífero.

Para su aplicación se debe:

- Identificar el grado de confinamiento hidráulico del acuífero y asignarle un valor en una escala de 0,0 a 1,0
- Especificar características del estrato suprayacente a la zona saturada en términos de:
 - Grado de consolidación, teniendo en cuenta probable presencia o ausencia de permeabilidad por fisuras.
 - Tipo de Litología, considerando indirectamente porosidad efectiva, permeabilidad de la matriz y contenido de humedad en la zona no saturada o retención específica

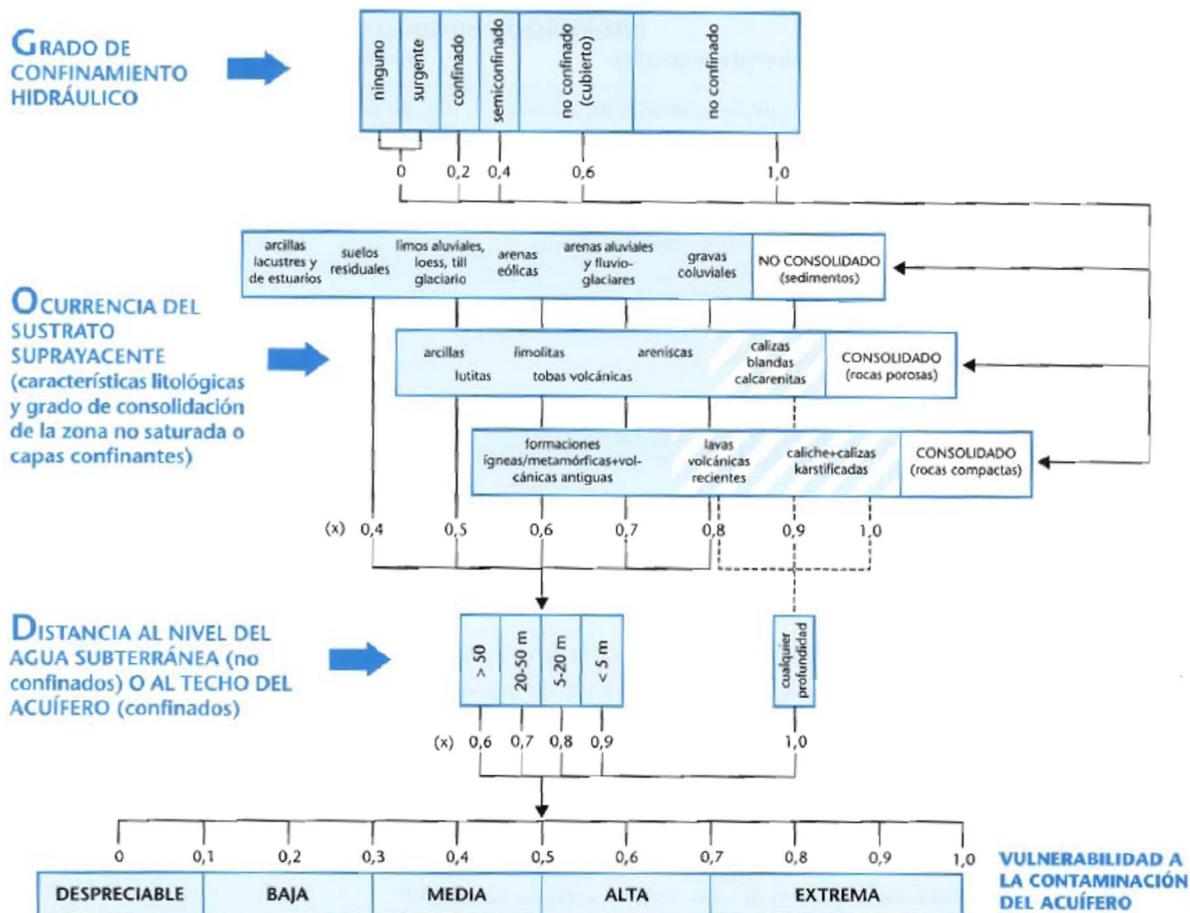
Y asignar un índice a este parámetro en una escala de 0,4 a 1,0

- Estimar distancia o profundidad al nivel del agua en acuíferos no confinados o al techo del primer acuífero confinado con un índice en una escala de 0,6 a 1,0.

El índice final integrado de la metodología GOD es el producto de los índices obtenidos para cada uno de estos parámetros. Resumen de esto se puede observar en la Figura 3.3.

FIGURA 3.3.

MÉTODO GOD PARA LA DETERMINACIÓN DE VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN



Fuente: Foster et. al-“Protección de Calidad del agua subterránea”, 2002, Banco Mundial

– Aplicación del Método BGR

Se analizará este método puesto que es el método sobre el cual está basado el manual para la determinación de vulnerabilidad para ser aplicado según **Decreto Supremo N°46 de Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas**.

El método BGR fue desarrollado por el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales en conjunto con los Servicios Geológicos Federales de Alemania. Originalmente el método fue desarrollado para evaluar lo que ocurriría en un acuífero ante un eventual ingreso de agua como parte de recarga por lluvia.

El método combina, mediante un esquema de rating o puntaje, cuatro factores relevantes que determinan o influyen en la rapidez con la que una determinada sustancia alcanza el acuífero, suponiendo una infiltración desde un sector en la superficie o cercano a ella.

Dichos factores son:

- a) Capacidad de campo efectiva del suelo (ocupado por organismos vegetales), atravesado por el contaminante (S).
- b) Monto de la recarga natural al acuífero, dada por la precipitación efectiva, y de la recarga artificial dada por al infiltración misma (R).
- c) Litología, es decir el tipo de sedimentos o rocas presentes en la zona no saturada, atravesada por el contaminante (L).
- d) Espesor de la zona no saturada atravesada por el contaminante antes de alcanzar el acuífero (E).
- e) Existencia de condiciones artesianas (A)

A cada uno de estos factores se les asocia un puntaje, los cuales ponderados y sumados entre si, como se muestra en la ecuación, dan como resultado un valor (Pt) el cual se traduce posteriormente como vulnerabilidad según lo que se muestra en la Tabla 3.1.

$$P_t = S \cdot R + R \cdot (L_1 E_1 + L_2 E_2 + L_3 E_3 + \dots) + A$$

TABLA 3.1.
CLASES DE EFECTIVIDAD GENERALIZADA DE PROTECCIÓN Y VULNERABILIDAD ASOCIADA

Pt, número total de puntos	Efectividad generalizada de protección	Vulnerabilidad asociada, estimada, del acuífero ante emisiones	Tiempo de residencia aproximado en el suelo y subsuelo sobre el acuífero
≥ 4000	Muy alta	Muy baja	> 25 años
2000-3999	Alta	Baja	10-25 años
1000-1999	Moderada	Media	3-10 años
500-999	Baja	Alta	Varios meses a 3 años
≤ 499	Muy baja	Muy alta	Unos pocos días a 1 año

Fuente : Modificado de “Manual para la Aplicación del Concepto de Vulnerabilidad de Acuíferos establecido en la Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas D.S. N° 46”, 2002

3.2.3 FUENTES CONTAMINANTES

Por lo general las fuentes contaminantes se pueden clasificar según diversos criterios. Según su distribución espacial, como fuentes de contaminación difusas o puntuales, según el tipo de contaminante involucrado, definido por su persistencia en el subsuelo, según la intensidad y carga hidráulica involucrada en el proceso de la descarga, donde se distinguen los casos cuando la carga de contaminante al subsuelo es parte de la actividad antrópica desarrollada (como fosas sépticas) o si puede ser reducida o evitada, entre otras clasificaciones.

En la Tabla 3.2. se muestra una lista de potenciales fuentes contaminantes clasificadas por el tipo de actividades que la producen y características de ellas.

TABLA 3.2.
RESUMEN DE LA ACTIVIDADES POTENCIALMENTE GENERADORAS DE CARGA CONTAMINANTE AL SUBSUELO

TIPO DE ACTIVIDAD	categoría de distribución	CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA CONTAMINANTE		
		principales tipos de contaminante	sobrecarga hidráulica	aplicada debajo de la capa de suelo
(+ indica que aumenta la importancia)				
Desarrollo Urbano				
saneamiento sin red cloacal	u/r P-D	n f o t	+	+
cloacas con fugas (a)	u P-L	o f n t	+	
lagunas de oxidación de aguas residuales (a)	u/r P	o f n t	++	+
descarga de aguas residuales en el suelo (a)	u/r P-D	n s o f t	+	
aguas residuales en ríos influentes (a)	u/r P-L	n o f t	++	++
lixiviación de rellenos/volcaderos de basura	u/r P	o s h t		+
tanques de almacenamiento de combustible	u/r P-D	t		
sumideros de drenaje de las carreteras	u/r P-D	s t	+	++
Producción Industrial				
tanques/tuberías con fugas (b)	u P-D	t h		
derrames accidentales	u P-D	t h	+	
aguas de proceso/lagunas de efluentes	u P	t o h s	++	+
descarga de efluentes en el suelo	u P-D	t o h s	+	
descargas hacia ríos influentes	u P-L	t o h s	++	++
volcaderos de residuos con lixiviación	u/r P	o h s t		
sumideros de drenaje	u/r P	t h	++	++
precipitación aérea de sustancias	u/r D	s t		
Producción Agrícola (c)				
a) cultivo				
- con agroquímicos	r D	n t		
- y con irrigación	r D	n t s	+	
- con lodo/lodo proveniente de agua residual	r D	n t s o		
- bajo riego con aguas residuales	r D	n t o s f	+	
b) cría de ganado/procesos de cosecha				
- lagunas de efluentes	r P	f o n t	++	+
- descarga de efluentes en el suelo	r P-D	n s o f t		
- descarga hacia ríos influentes	r P-L	o n f t	++	++
Extracción Minera				
alteración del régimen hidráulico	r/u P-D	s h		
descarga de aguas de drenaje	r/u P-D	h s	++	++
aguas de proceso/lagunas de lodos	r/u P	h s	+	+
volcaderos de residuos con lixiviación	r/u P	s h		
(a) puede incluir componentes industriales		n	compuestos de nutrientes	t
(b) puede ocurrir también en áreas no industriales		f	patógenos fecales	+
(c) la intensificación representa el principal riesgo de contaminación		o	carga orgánica general	
u/r urbana/rural		s	salinidad	
P/L/D puntual/lineal/difusa		h	metales pesados	

Fuente: Foster, S., et.al., "Protección de la calidad del agua subterránea",2002. Banco Mundial.

3.2.4 PELIGRO A LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

El término peligro a la contaminación intenta representar la sensibilidad de un acuífero a ser afectado por cargas contaminantes.

El enfoque que más se usa para evaluar el peligro de contaminación del agua subterránea es considerarlo como interacción entre la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero, consecuencia de las características naturales de los estratos que lo separan de la superficie del suelo, y la carga contaminante a la que se somete el medio subterráneo, como resultado de los distintos usos de suelo que le da el ser humano al territorio.

De esta forma, al superponer los puntos descritos anteriormente, se puede tener una idea de los lugares dentro del territorio analizado que presentan mayor peligro a la contaminación. Así se puede tener por ejemplo un sector donde la carga de contaminante sea muy alta pero el acuífero presenta una vulnerabilidad baja, por lo que el peligro a la contaminación no es tan preocupante como en el caso donde existe una carga un poco menor pero con vulnerabilidad alta.

En la Tabla 3.3. se pueden ver los distintos tipos de combinaciones que pueden existir entre estas dos variables.

Dentro de la carga contaminante se evalúa la sobrecarga hidráulica, la concentración, persistencia y movilidad de éste en el subsuelo.

Dentro de vulnerabilidad se analizan los parámetros descritos anteriormente dependiendo del método seleccionado.

TABLA 3.3.
PELIGRO A LA CONTAMINACIÓN

		Vulnerabilidad		
		Baja	Media	Alta
Carga Contaminante	Baja	<i>Muy Baja</i>	<i>Baja</i>	<i>Medio</i>
	Media	<i>Muy Baja</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>
	Alta	<i>Baja</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>

En base a los resultados encontrados producto de este análisis, se pueden crear políticas de gestión para la protección del agua subterránea o políticas de distribución de los usos de suelos para actividades futuras. Teniendo en cuenta que la carga contaminante puede ser controlada o modificada mientras que la vulnerabilidad es una propiedad intrínseca del entorno natural.

Esta herramienta permite tener una línea base de lo que sucede en el acuífero de manera de poder establecer una planificación primaria para la toma de decisiones políticas sobre las medidas a adoptar con el territorio en estudio, sin embargo al incluir otros factores dentro del análisis como accesibilidad o costos, en ocasiones se llegarán a conclusiones que no coinciden con lo obtenido con este criterio, en tales casos es necesario realizar un estudio más a fondo (principalmente en cuanto a la formación geológica de la zona) para poder determinar de forma más exacta las características de la zona en cuestión de manera de asignar al evento que se discute el peso que le corresponde y no subestimar o sobreestimar como suele ocurrir en planes globales.

A partir de este estudio a escala global, es posible generar en algunas zonas de interés como los sectores donde se encuentran pozos de producción una gestión a escala local.

3.3 GESTIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS A ESCALA LOCAL

3.3.1 INTRODUCCIÓN

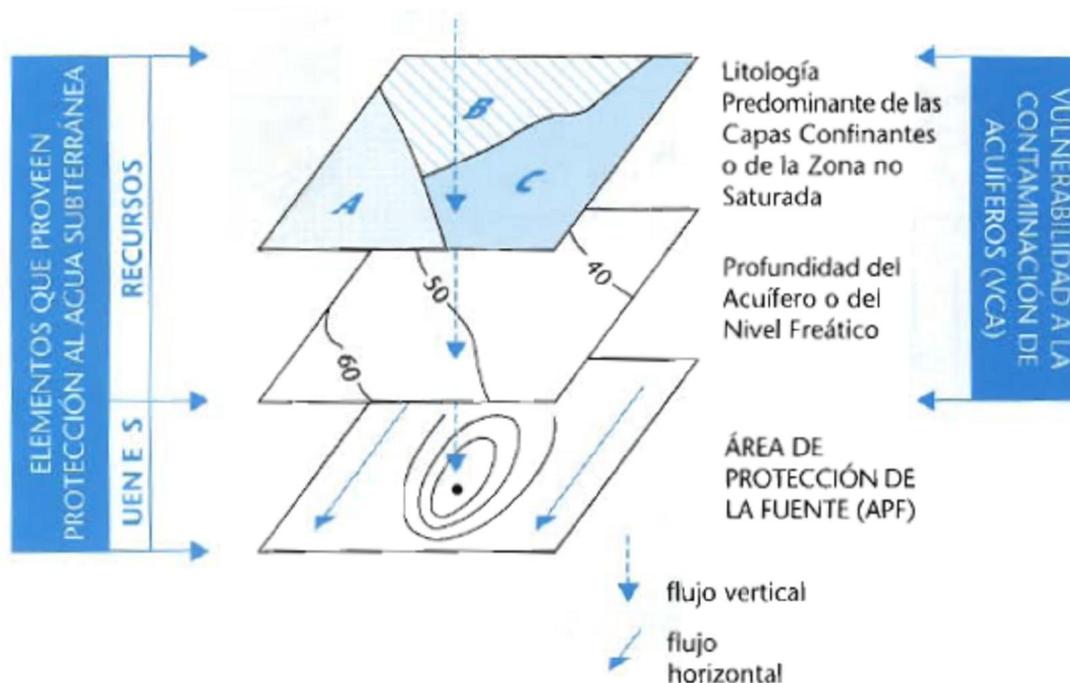
Por lo general la mayor preocupación con respecto a la contaminación del agua subterránea tiene que ver con el uso que le da el ser humano a ella, ya sea para consumo humano, animal, riego o fines recreativos, y en función de esto es determinado el nivel de tolerancia con respecto a la calidad de este recurso.

El que el peligro a la contaminación resulte en una amenaza para cierta fuente de extracción de agua subterránea, dependerá fundamentalmente de su ubicación con respecto al área de captación de la fuente agua subterránea y secundariamente de la movilidad y dispersión de los contaminantes involucrados en el régimen local del flujo. (Foster, et.al, 2002).

Este análisis puede llevarse a cabo superponiendo los mapas encontrados para el peligro a la contaminación con mapas de perímetro de protección de pozos, los cuales se pueden calcular conociendo las características de extracción y las características del suelo por medio de un software adecuado. Un esquema de esta metodología se muestra en la Figura 3.4.

FIGURA 3.4.

COMPONENTES DE LA EVALUACIÓN DEL PELIGRO DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA USADOS PARA ZONIFICAR LA SUPERFICIE DEL TERRENO CON FINES DE PROTECCIÓN DE UNA FUENTE DE CAPTACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA



Fuente: Foster et. Al-"Protección de Calidad del agua subterránea", 2002. Banco Mundial

Aunque el enfoque de protección del recurso hídrico (acuífero) general y el de la protección de las fuentes de captación son complementarios es importante considerar que el énfasis que se ponga en un enfoque u otro tiene que ver con el estado de desarrollo del recurso en general.

3.3.2 PERÍMETROS DE PROTECCIÓN DE POZOS

Las áreas de protección de las fuentes de agua potable o zonas de protección de pozos deben ser delimitadas para darles especial vigilancia contra la contaminación. El objetivo de estos perímetros de protección es delimitar un área en el entorno de la captación de agua en la cual, de forma graduada, se restringen o prohíben las actividades o instalaciones susceptibles de contaminar las aguas subterráneas, o que afecten al caudal realmente aprovechable para el abastecimiento a la población. Esto se logra implantando controles estrictos para las actividades que se realizan dentro de un área en particular. La complicación está en definir esta área.

Es importante considerar dentro del análisis el proceso de atenuación de los contaminantes, donde el factor dominante es la dilución, resultado de la advección y dispersión del flujo de agua subterránea,

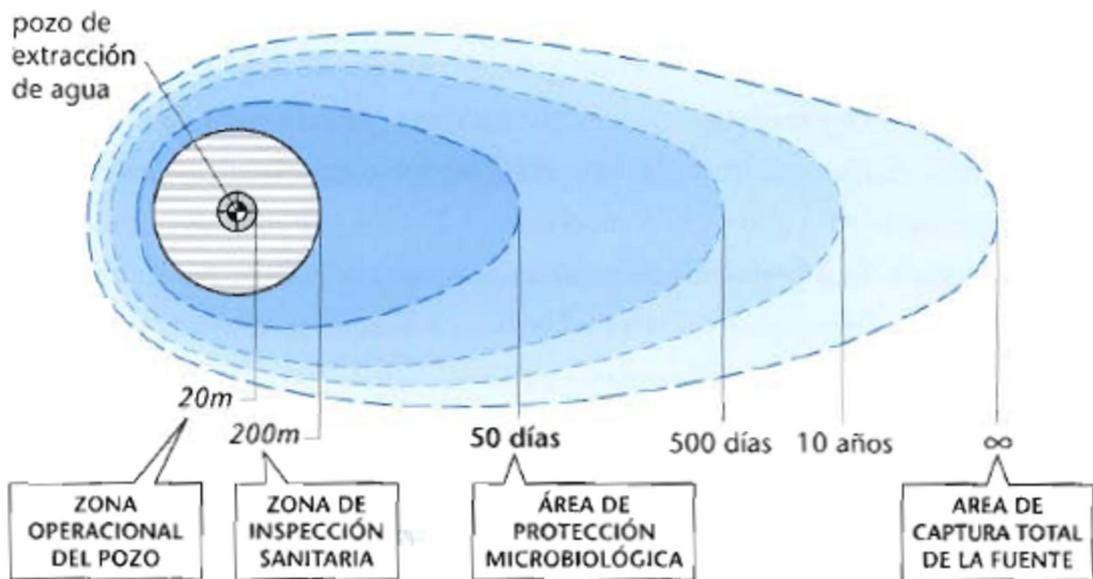
además de considerar si es posible algunos otros mecanismos que afecten más directamente a algún tipo de contaminante como los procesos de degradación, decaimiento o adsorción.

Por lo general para intentar de incluir estos factores de manera simplificada se realiza una división considerando una combinación de los parámetros tiempo de flujo horizontal y distancia de flujo.

Se pueden establecer zonas, generalmente concéntricas, definidas en torno de la fuente de extracción como se muestra en la Figura 3.5. Estas zonas se definen según los cuidados especiales que se deben tener, mediante el conocimiento de las características hidrogeológicas de la zona y las características propias de la fuente.

FIGURA 3.5.

ESQUEMA IDEALIZADO DE ÁREAS DE CAPTURA Y PERÍMETROS SEGÚN TIEMPO DE TRANSITO ALREDEDOR DE UN POZO DE EXTRACCIÓN



Fuente: Foster et. al-"Protección de Calidad del agua subterránea", 2002, Banco Mundial

Según Skinner y Foster (1995), de estas zonas las tres más importantes son:

- Área total de captura de la fuente: Es la zona de protección más exterior que puede ser definida para una fuente que tiene que ver con el perímetro en el cual toda la recarga del acuífero será captada por el pozo. Se debe tener precaución en no confundir esta área con la de interferencia hidráulica causada por el bombeo de un pozo, que es más grande.

Esta zona se calcula considerando un balance de agua y las trayectorias de flujo del agua subterránea.

- b) Área de protección microbiológica: Esta zona ha sido utilizada para proteger contra las actividades que potencialmente puedan descargar parásitos, bacterias y virus. Los patógenos ingresan a los acuíferos someros desde tanques sépticos, letrinas y drenajes. Los pozos inadecuadamente contruidos son particularmente propensos a este tipo de contaminación. Sin embargo, en casi todas las formaciones excepto en las más vulnerables, la capacidad de atenuación natural de la zona no saturada o las capas semiconfinantes confieren un protección al acuífero contra la contaminación.

Esta protección de determina según una distancia equivalente a un tiempo de flujo horizontal promedio. Generalmente tienen una geometría bastante simple, tendiendo a ser de forma elíptica o circular reflejando el efecto del cono de depresión o abatimiento producido por el bombeo alrededor del pozo de extracción.

- c) Zona operacional del pozo: Este es el perímetro de protección más interior, que comprende una pequeña área dentro del terreno alrededor del pozo de captación. En esta zona no deberían existir actividades que no tengan que ver directamente con la extracción del agua. Los sectores que son utilizados para actividades de mantenimiento del pozo, deberían tener un piso de concreto para prevenir la infiltración de aceites y sustancias químicas utilizadas en el mantenimiento de la bomba. Para prevenir la invasión de animales y vandalismo se suele poner una reja que delimite este sector.

La especificación de la dimensión de esta área es siempre algo arbitraria y depende en cierto modo de la naturaleza de las formaciones geológicas locales, aunque es altamente recomendable un radio de por lo menos 20 metros. Sin embargo, se deberían llevar a cabo inspecciones detalladas de la condición sanitaria en un área mayor de radio de 200 metros o más.

La forma más utilizada para determinar los perímetros de protección de los pozos son los modelos numéricos. Esto es debido a que estos modelos permiten adecuarse a variaciones complejas de geometría, propiedades y patrones de recarga del acuífero. Lo que hace que la simulación sea más parecida a la realidad.

Pero también existen modelos analíticos basados en códigos ya existentes que son más simples de utilizar, pues tienen interfaces gráficas y son más amigables con el usuario. Modelos como el WHPA, o interfases como el FLOWPATH o el Visual MODFLOW.

Es esencial ajustar las zonas definidas con las condiciones hidrogeológicas locales como las descritas en mapas hidrogeológicos.

El proceso de delimitación es altamente dependiente de la confiabilidad del modelo conceptual adoptado para describir el sistema acuífero y de la cantidad y exactitud de los datos disponibles.

4. APLICACIÓN A LA ZONA DE ESTUDIO

4.1 ANTECEDENTES GENERALES

En este capítulo se utilizan las metodologías descritas anteriormente para ser aplicadas a la Isla de Pascua, detallando supuestos, aproximaciones y metodologías necesarias para elaborar un plan de gestión para la zona en estudio.

La información disponible de la isla es escasa por lo que se debe tener en consideración que los valores y medidas adoptadas para este trabajo son estimativos, basados únicamente en los estudios existentes y datos disponibles. Las recomendaciones de generación de nuevos estudios se presentan en las ocasiones donde se considera necesario.

4.2 VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL ACUÍFERO

Para el análisis de la vulnerabilidad del acuífero en la isla se utilizaron los dos métodos antes descritos. Los valores y supuestos utilizados en cada uno de ellos se detallan a continuación.

4.2.1 MÉTODO GOD

- Parámetro G: Según antecedentes bibliográficos se consideró que en la isla no existen zonas de confinamiento hidráulico.
- Parámetro O: Se clasificaron las características litológicas de la zona no saturada en base a conversaciones con expertos basada en la información técnica y el mapa geológico elaborado por Oscar González-Ferrán (2004) el cual se presenta en el ANEXO 2. Y en el informe elaborado por Alamos y Peralta (1992).

Se clasificó la zona no saturada como rocas compactas.

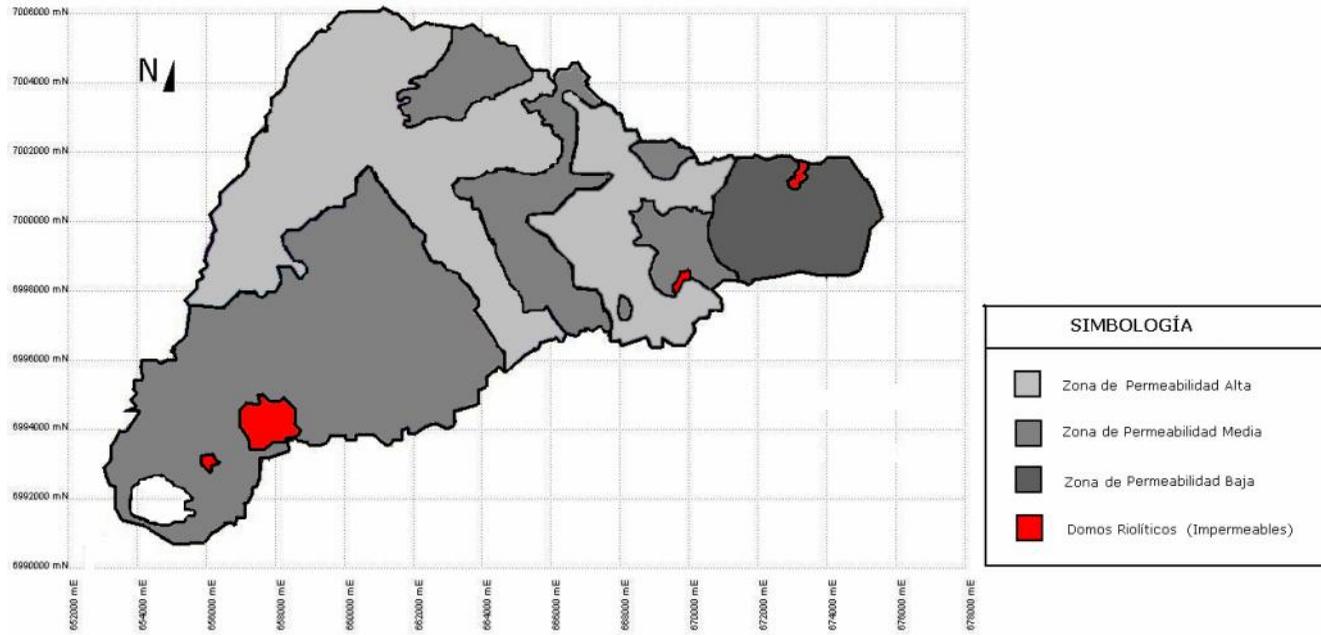
Todo el origen de la isla corresponde a lavas volcánicas recientes típicas de la Dorsal Mesoceánica del Pacífico de características bastantes similares entre ellas, basálticas con contenidos olivínicos y hawaiitas. Se asignaron valores para este parámetro entre 0,8 y 1 según el nivel de grietas existentes, a excepción de pequeñas zonas clasificadas como domos de origen riolíticos los cuales para efectos comparativos se consideraron prácticamente impermeables y se les asignó un valor de 0,5.

Es importante considerar que estos valores están basados principalmente en las características geológicas superficiales de la isla puesto que no se cuenta con información detallada estratigráfica de los pozos pues fueron construidos entre 1960 y 1967 (a cargo de CORFO) y la información existente es más bien descriptiva ya que no fue elaborada por expertos. Sería importante la generación de estudios que detallen la estratigrafía de distintos puntos en la isla para conocer las características la zona no saturada de manera más concreta.

En la Figura 4.1. se muestra el mapa elaborado según el nivel de permeabilidades asignados a para cada zona.

FIGURA 4.1.

PERMEABILIDADES ASIGNADAS SEGÚN CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS



- Parámetro D: La distancia al nivel de agua subterránea fue estimada a partir de la información de los niveles estáticos de los pozos.

Se dispone de información de los niveles estáticos en la fecha de construcción de los pozos y de valores mensuales desde marzo a diciembre tomados el año 1989. (Alamos y Peralta, 1992).

En base a estos últimos se puede apreciar que los niveles del agua varían muy poco durante el año existiendo fluctuaciones cercanas a los 20 cm. Esto se justifica en base a que en la isla existe un clima bastante estable en cuanto a temperaturas y precipitaciones como se mostró en capítulos anteriores.

Por otro lado, al comparar los valores medidos en 1989 y en la fecha de construcción las diferencias son del orden de los centímetros por lo que se consideraron ambas informaciones como datos válidos para la estimación.

Debido al creciente aumento de la población y del nivel turístico de la isla se podría esperar que el nivel del agua, principalmente en la zona urbana, sea menor al registrado en dichas fechas pero dado que este es un estudio de vulnerabilidad se espera que dichas diferencias no sean significativas puesto que se analiza la isla desde un punto de vista conservador.

Los datos fueron procesados con el software SURFER y se utilizaron distintos métodos de interpolación para ver cuál era el que mejor se ajustaba a los niveles esperados de agua subterránea.

Para tener una visión más general de los niveles de agua en la isla se extrapolaron algunos datos realizando cortes transversales en la isla de manera de disponer mayor información para realizar la interpolación por medio de SURFER. Estos se muestran en el ANEXO 4.

En la Figura 4.2. y en la Figura 4.3. se muestran las profundidades obtenidas por medio de dos métodos elegidos.

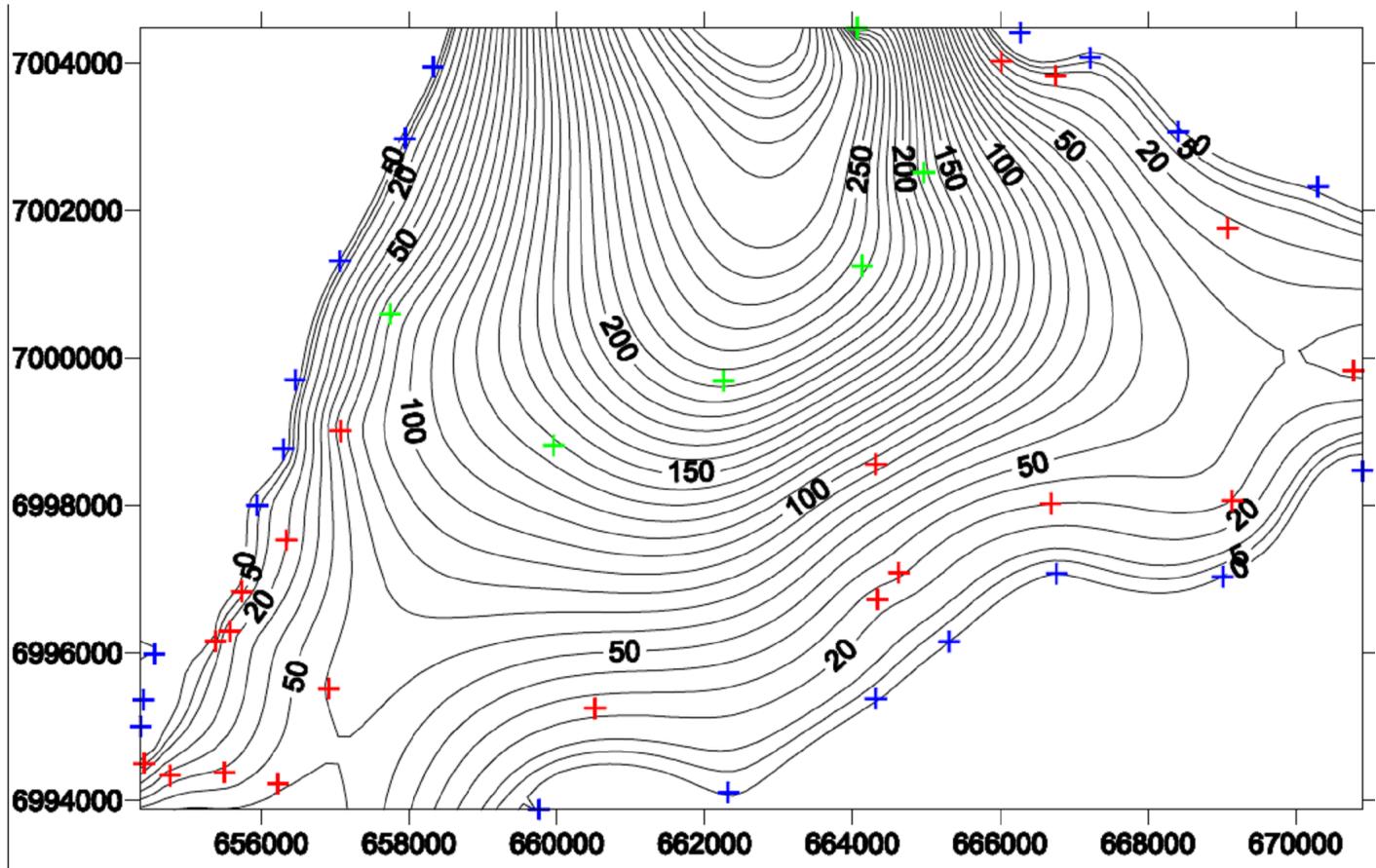
En total se tienen los valores correspondientes a 17 pozos, mas 6 valores extrapolados por medio de los cortes dan un total de 23 datos.

De esta forma, a excepción de la zona noreste donde no se cuenta con información de niveles, por lo menos se tiene un pozo por cada 2 km a la redonda con lo que se considera que se tiene una muestra representativa de los niveles de la isla.

Se pueden esperar errores en estas curvas debido a la ubicación de los pozos y otros pero se espera que no sean en más de 3 o 4 metros lo cual es una escala irrelevante para el análisis que se realiza.

FIGURA 4.3.

CURVAS DE PROFUNDIDAD DEL NIVEL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS UTILIZANDO MÉTODO DE MINIMA CURVATURA



(**)Las cruces rojas representan los pozos existentes, los verdes los interpolados y los azules los puntos dados como referencia de nivel cero que corresponden a la costa de la isla.

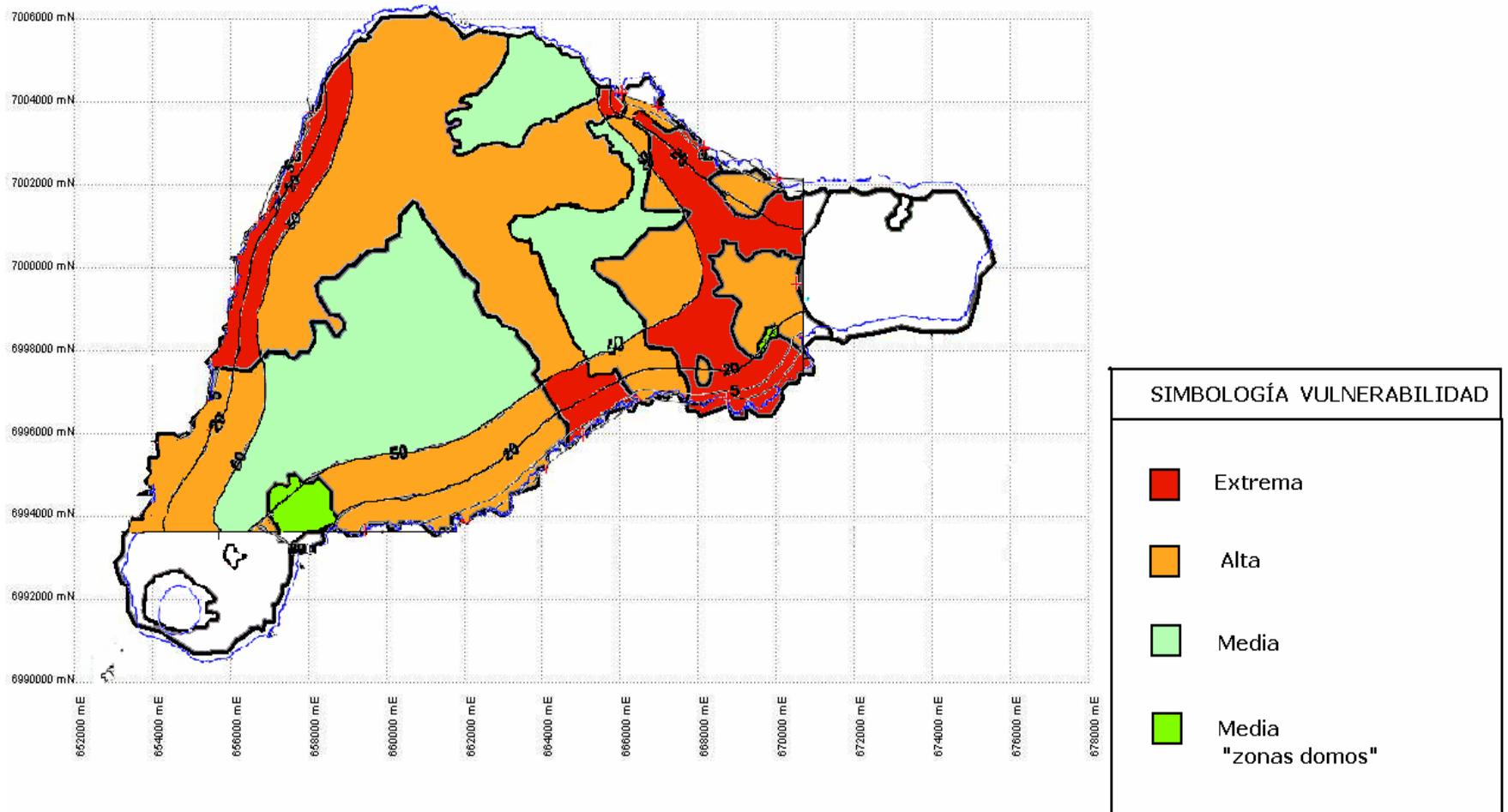
Por ambos métodos escogidos, interpolación utilizando el método de la mínima curvatura e interpolación utilizando el método Kriging, se obtienen resultados satisfactorios, curvas suaves con flujo de agua radial desde las zonas altas de la isla hacia la costa.

Se decidió optar por el primer grafico mostrado, es decir el obtenido por medio del método de Kriging, por entregar mejores aproximaciones al valor real del pozo al retirar uno o dos puntos de la muestra.

De la superposición de estos valores se obtiene la Figura 4.4., un mapa que indica el nivel de vulnerabilidad del acuífero.

FIGURA 4.4.

MAPA DE VULNERABILIDAD POR MEDIO DEL MÉTODO GOD



4.2.2 MÉTODO BGR

- Parámetro 1 (S): Para analizar la capacidad de campo efectiva de los suelos de la isla se tomó como referencia el seminario para optar al título de Químico Ambiental de la Universidad de Chile de Tahira Edmunds “Estimación de la Contaminación Ambiental por Plaguicidas en Suelos Agrícolas de la Isla de Pascua, V Region” (2007).

En este estudio se tiene el análisis de texturas de los suelos en 5 puntos de la isla. Utilizando el Manual de Mapeo de Suelos AG BODENKUNDE (1982) se obtiene una capacidad de campo efectiva unitaria estimada (CCEU Est) para los distintos puntos. Dichos puntos se extrapolan para el resto de la isla según mapas de uso de suelo elaborado por Ingeniería Agrícola (1998) y descripciones cualitativas de los suelos de ambos informes. Detalles se presentan en el ANEXO 3.

Considerando que los suelos tienen una profundidad cercana a los 50 cm se obtiene un rango de valores para la CCE dependiendo de la densidad efectiva de depositación de la cual no se tiene información.

El que se obtengan rangos y que queden suelos no definidos de la isla, como se demostrará más adelante, no tendría mayor importancia dado que este parámetro es muy poco relevante en el análisis final de vulnerabilidad.

Los valores obtenidos para los suelos se muestran en la Tabla 4.1.

TABLA 4.1.
PUNTAJE ASOCIADO A LA CAPACIDAD DE CAMPO DE LOS SUELOS

Tipo de suelo	CCE máx. (mm)	CCE min. (mm)	Puntaje S máx.	Puntaje S min.
1	78,8	47,3	50	10
2	94	56,5	125	50
3	78,8	47,3	50	10
4	92,3	65,3	125	50
5	78,8	47,3	50	10

- Parámetro 2 (R): Estimación de la tasa de percolación o recarga.

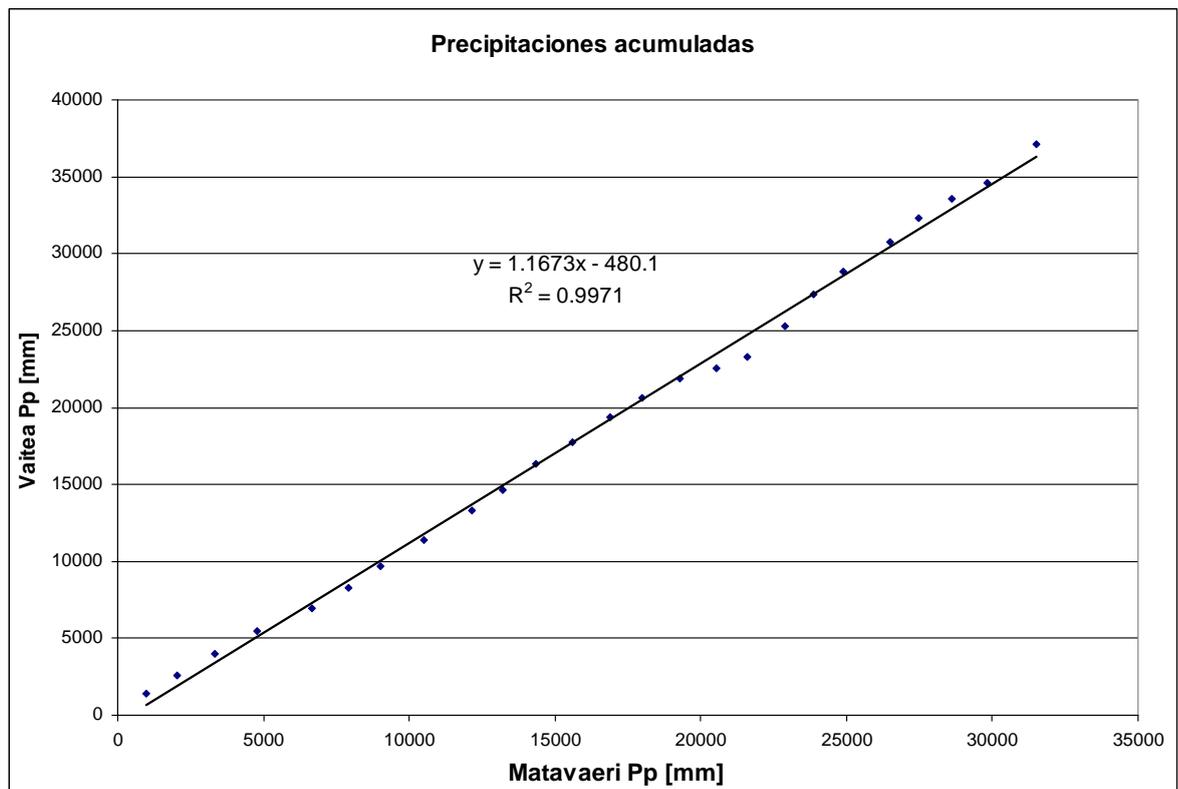
La isla sólo cuenta con 2 estaciones pluviométricas.

- Vaitea: Elevación de 213 m. Se cuenta con información de precipitación mensual de 1971-2007.
- Mataveri: Elevación 46 m. Se cuenta con información de precipitación mensual de 1961-2008.

Los registros de precipitaciones de ambas estaciones se presentan en el ANEXO 1.

Para completar datos en las estadísticas se trabajó con las precipitaciones anuales de los años en los que no faltaba nada de información en ninguna de las dos estaciones. De esta forma con los 25 años de estadística que quedaron se analizó la correlación de las precipitaciones acumuladas registradas en ambas estaciones. Como se muestra en la Figura 4.5.

FIGURA 4.5.
CORRELACIÓN ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS



A partir de este resultado se rellenaron los datos faltantes de las estaciones quedando finalmente con un registro de precipitaciones anuales de 37 años. Desde 1972-2008.

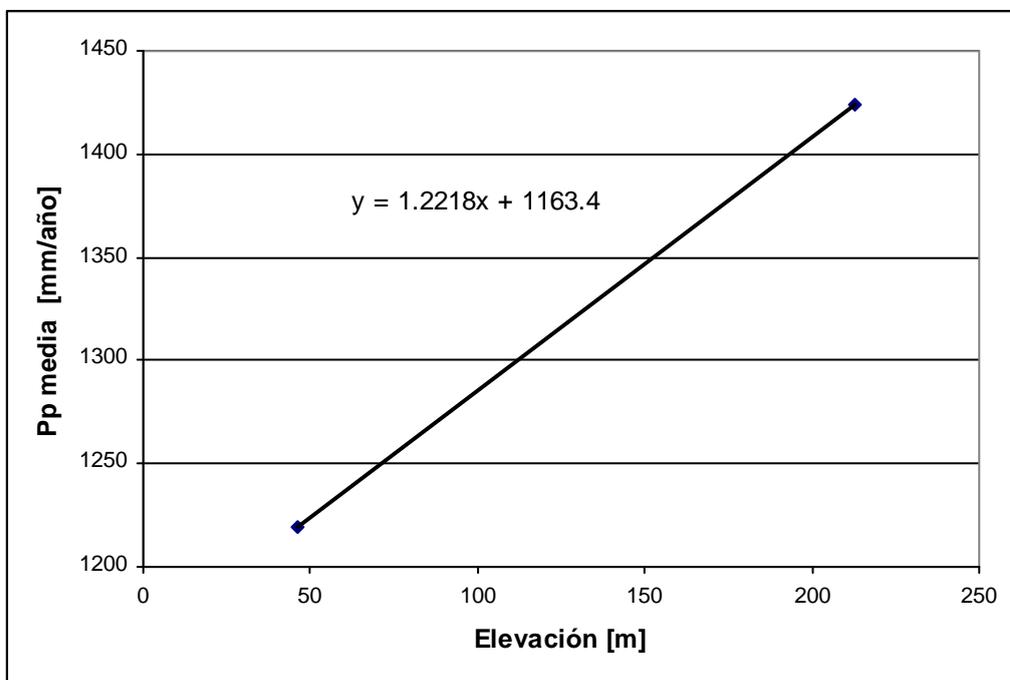
El resumen precipitaciones medias de este periodo y la ubicación de las estaciones se muestra en Tabla 4.2.

TABLA 4.2.
ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS EN LA ISLA

ESTACIONES	ESTE	NORTE	Elevación [m]	Pp media [mm/año]
MATAVERI	655.852	6.994.845	46	1220
VAITEA	662.592	6.999.626	213	1424

Se supuso una variación lineal de la precipitación con la altura como se presenta en la Figura 4.6, de esta manera con el valor promedio de las precipitaciones anuales en las estaciones se estimó una precipitación media representativa cada 100 m de elevación en todo el territorio de la isla.

FIGURA 4.6.
REGRESIÓN LINEAL DE PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES V/S ELEVACIÓN DE LA ESTACIÓN



Según estudios de Herrera y Custodio (2008), la recarga del acuífero se puede estimar entre el 30-38% de las precipitaciones en las zonas costeras y como un 48-58% en las zonas altas.

Basado en ello para este estudio se consideró una recarga del 40% de las precipitaciones medias anuales.

Así se obtienen las recargas esperadas para cada tramo, las cuales se muestran en la Tabla 4.3

TABLA 4.3.
CÁLCULO DE RECARGA DEL ACUÍFERO

Tramos	Cotas (m)	Cota media (m)	Área estimada (Km) ²	Pp (mm/año)	Pp infiltrada [mm/año] (40%)
1	0-100	50	92,4	1225	490
2	100-200	150	38,0	1347	539
3	200-300	250	17,2	1469	588
4	300-400	350	11,4	1591	636
5	400-500	450	5,1	1713	685
6	> 500	505	0,0	1780	712

Como se puede ver la recarga es mayor a 400 mm/año en todo el territorio insular por lo que se le asigna al parámetro **R=0,5**.

- Parámetro 3 (Lc): La litología de la zona no saturada bajo el suelo se caracterizó según la geología de la isla basada en el estudio de González y Ferrán (2004). Fue clasificada como rocas consolidadas, de tipo volcánica (TR=15).

El nivel de fracturamiento se clasificó según se muestra en la Figura 4.7.

- Parámetro 4 (E): Para los valores del espesor de la zona no saturada se utilizó el cálculo de las curvas de nivel de agua según el método Kriging utilizado en el método GOD.

Asignando el valor medio a los tramos comprendidos por las curvas encontradas cada 50 metros.

- Parámetro 5 (puntaje extra A): Asumiendo todo el territorio insular como un acuífero libre, como se indicó anteriormente, se le asigna un valor 0.

Al aplicar el método con los valores antes descritos se obtiene la Figura 4.8

Como se puede ver por este método el parámetro más preponderante es el espesor de la zona no saturada y algunos valores como la CCE son prácticamente despreciables.

FIGURA 4.7.

FRACTURAMIENTO Y ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS

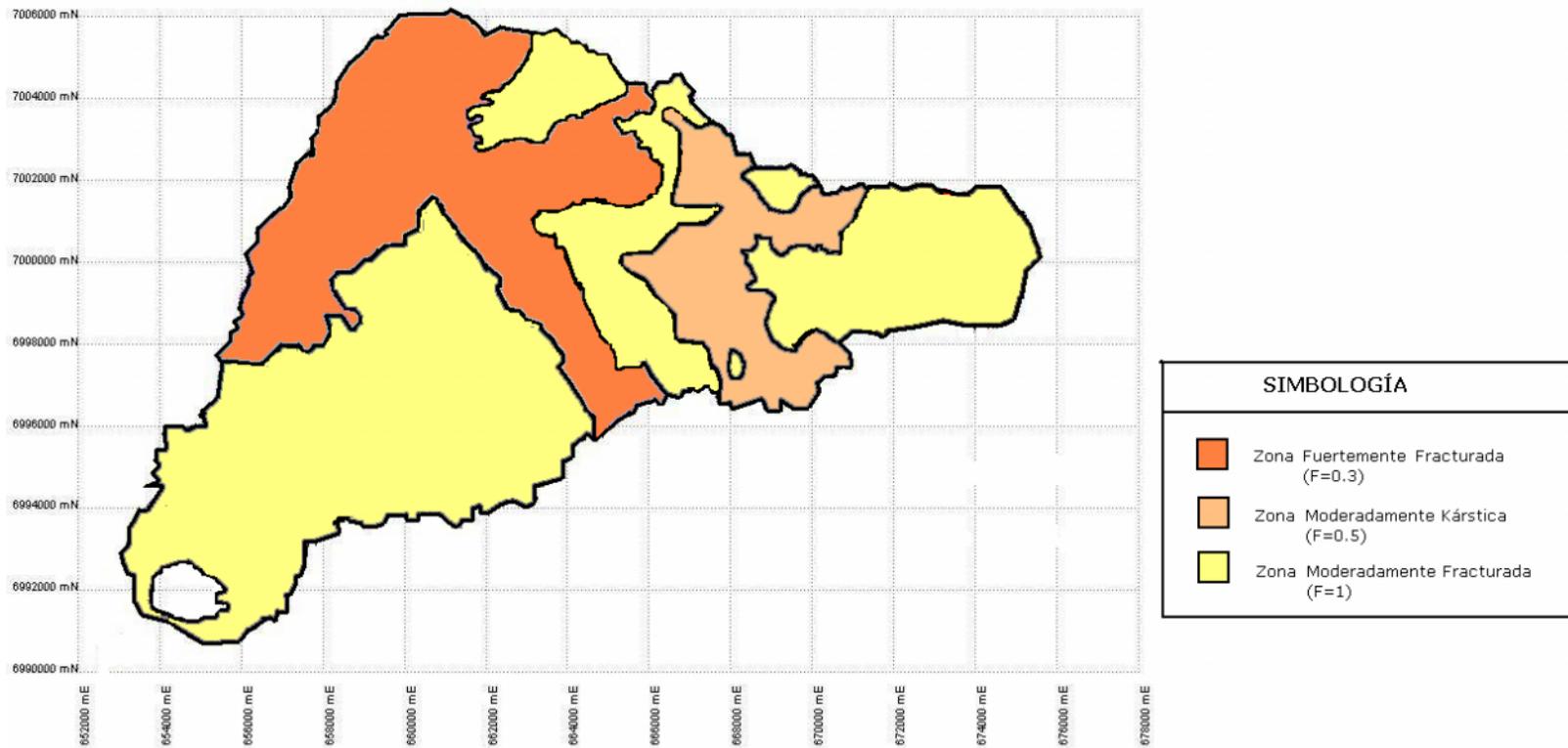
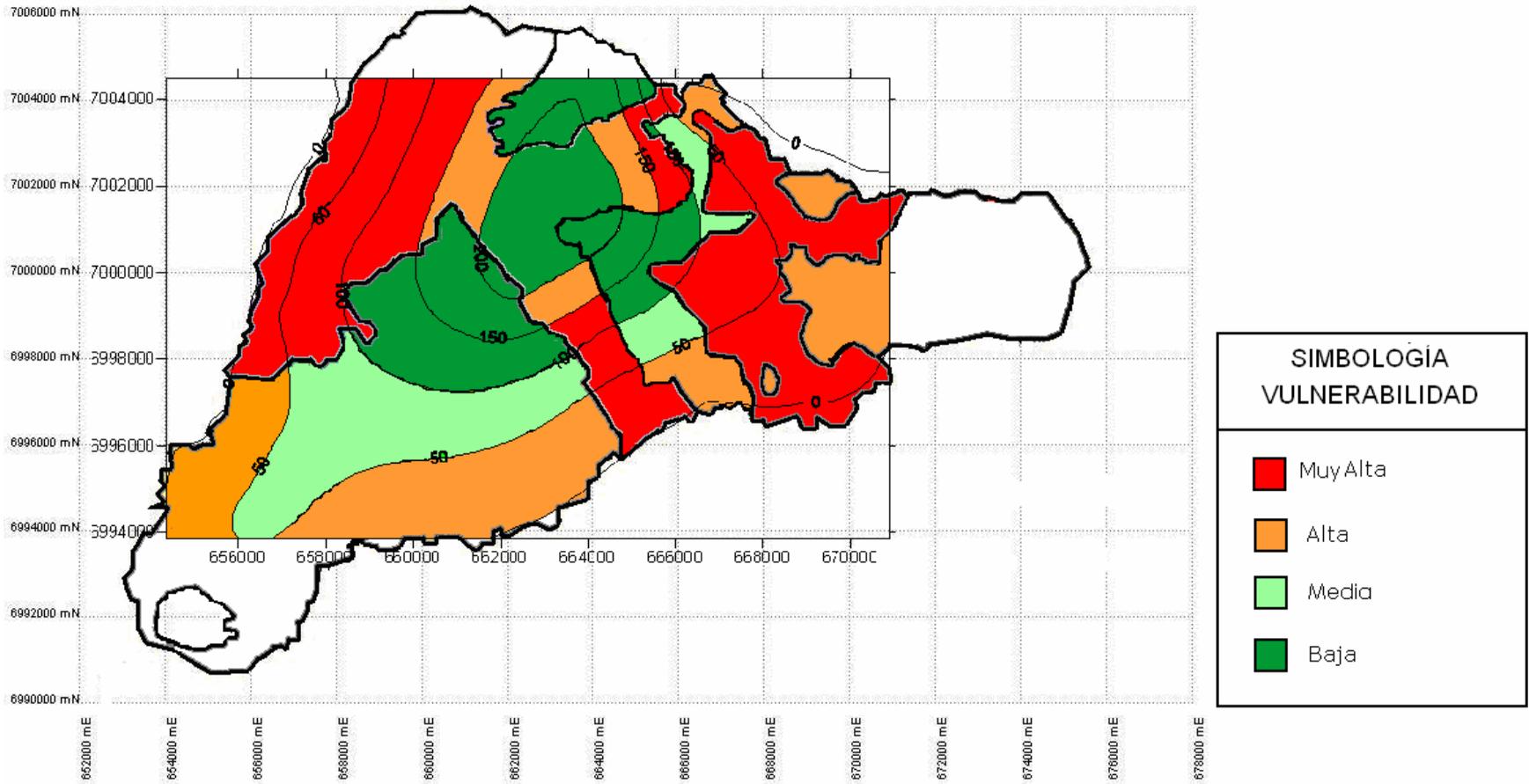


FIGURA 4.8.

MAPA DE VULNERABILIDAD APLICANDO EL MÉTODO BGR



4.2.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Aunque los mapas de vulnerabilidad creados por distintos métodos no son comparables entre sí (ver Ramirez, 2004, "*Análisis de metodologías para evaluar vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación: aplicación a la zona norte de Santiago*"), se puede ver que los resultados obtenidos con ambos métodos no se diferencian mucho en las zonas bajas de la isla.

Todas las zonas costeras de la isla corresponden a zonas de vulnerabilidad alta o extrema (hasta elevaciones entre 50 - 70 m), un poco más hacia el interior se cuenta con zonas de vulnerabilidad media.

Las mayores diferencias entre ambos métodos se encuentran al analizar las zonas de mayor altura y alta pendiente, las cuales son las que contaban con menor información por la que se tuvo que extrapolar datos, por lo que se espera que dicha información sea la menos fiable.

Con el método GOD no se tienen zonas de vulnerabilidad baja en ninguna parte de la isla. En las zonas de grandes alturas (cerro Terevaka) se tienen zonas de vulnerabilidad alta principalmente debido al tipo de permeabilidad que se consideró producto de las grietas existentes.

Por su parte, estas mismas zonas calculadas por medio del método BGR dan zonas de vulnerabilidad baja, esto es debido a que este método da gran ponderación a la distancia a la que se encuentra el agua subterránea desde la superficie del suelo, por lo que las zonas altas generalmente son de vulnerabilidad baja.

Se ha decidido que para el resto del trabajo presentado se utilizará el mapa de vulnerabilidad obtenido por medio del método BGR por ser el método en el cual se basa la norma chilena, sin desmedro del mapa obtenido por medio del método GOD.

Esta decisión no tiene mayor importancia en la evolución del trabajo, pues como se verá más adelante las zonas de mayor interés corresponden a las zonas bajas de la isla donde ambos métodos entregan resultados similares.

4.3 POTENCIALES FUENTES CONTAMINANTES DE ISLA DE PASCUA

A continuación se detallan las fuentes contaminantes más importantes que se detectaron para la zona de estudio.

1. Zona urbana según su descarga de aguas servidas.

En la isla no existe un sistema de alcantarillado y la construcción de uno resulta poco factible principalmente por dos motivos: el alto costo económico producto de la excavación en roca y el elevado costo ambiental dado que la gran mayoría del territorio insular corresponden a zonas con restos arqueológicos y está declarado como patrimonio de la humanidad.

Como se explicó anteriormente, en la actualidad la mayoría de las viviendas cuentan con pozos negros para la disposición de sus aguas servidas. Dada la alta permeabilidad de los suelos de la isla (roca volcánica) es de esperarse que estos pozos no retengan casi ningún contaminante propio de las aguas servidas y que éstos estén drenando directamente hacia las napas subterráneas generando un serio peligro de contaminación de ellas.

En algunos lugares en Hanga Roa se construyeron fosas sépticas, sin embargo este tipo de solución sanitaria no ha prosperado pues el municipio no cuenta con un servicio de limpieza de estas fosas.

Dado lo delicado del tema en la actualidad se está trabajando en un proyecto de solución sanitaria de tipo individual a cargo de la Subsecretaría de Desarrollo de Regiones. El proyecto consiste en la entrega e instalación de plantas de tratamiento por familia, a través de un subsidio sanitario otorgado por el SERVIU, con lo que se espera controlar esta fuente contaminante.

2. Vertederos

En la isla existen sólo dos botaderos.

Hasta hace poco el principal era el de Hanga Hemu, el cual es arrendado a un particular. Este botadero no cuenta con ningún tipo de organización en la disposición de la basura, con lo que se favorece la dispersión por el viento de materiales livianos, ni cuenta con protección para los suelos por lo que se espera una alta probabilidad de que los lixiviados producidos por la descomposición de ellos sean infiltrados hacia las aguas subterráneas. Una foto de este botadero se muestra en la Figura 4.9.

La conservación del sector es bastante precaria se caracteriza por presencia de moscas, aves, ratones, perros y malos olores. Opera desde principios de los 90's, iniciándose a fines de 1995 la explotación de una segunda sección ante saturación de la primera área designada. (Ambar S.A. 2005).

Actualmente este botadero se encuentra saturado por lo que se declaró el cierre de éste, sin embargo muchos particulares siguen botando sus residuos en este lugar debido al no control en el ingreso.

El traslado de la basura hacia el nuevo vertedero que se espera más controlado resulta poco conveniente pues mover estas masas de desechos generarán afloramientos de vectores e insectos (el más peligroso el mosquito del Dengue) y aceleración de la infiltración de los lixiviados. Por lo que se optó por dejar intacto el sector.

FIGURA 4.9.
BOTADERO HANGA HEMU



Fuente: Ambar—“Diagnóstico Actualización Plan Regulador Isla de Pascua”, 2005

El actual vertedero donde la municipalidad maneja los residuos corresponde a la ex-cantera de Orito presentado en la Figura 4.10. Este vertedero antiguamente estaba reservado para depositar ramas y residuos orgánicos en general. Sin embargo debido al escaso control de acceso a éste se utiliza por particulares para botar cualquier tipo de desechos incluso se realizaban quemas generando el malestar de la población cercana a este vertedero.

Actualmente en Orito se encuentra en construcción un relleno sanitario de tipo balas, donde se pretende tener un espacio para la disposición de fardos de basura compactada (balas) y otro para el tratamiento de los líquidos percolados que produzca el relleno. Mientras tanto los desechos (de todo tipo) son dispuestos en el socavón originado por la actividad extractiva de la abandonada cantera.

FIGURA 4.10.
VERTEDERO ORITO



Fuente: Ambar—"Diagnóstico Actualización Plan Regulador Isla de Pascua", 2005

Para estimar la cantidad de residuos sólidos generados se consideró una producción de basura diaria de 0,7 Kg. por habitante de la isla y de 0,8 Kg por turista. Valores típicos de zonas rurales.

Considerando una población flotante equivalente al 30% de la población local, que corresponde a los meses de temporada alta, se puede estimar que para el año 2010 se tendría una generación de basura de 130,2 ton/mes.

La composición típica de la basura se estima en base a valores medidos por Ingeniería Alemana S.A. (2003) en la isla Juan Fernández. Desde el punto de vista socioeconómico el nivel de esta isla es similar al de Isla de Pascua por lo que se espera costumbres similares en su generación de residuos. Esto se presenta en la Tabla 4.4.

Se puede ver que gran parte, más del 60%, de los residuos generados corresponden a materia orgánica, papeles y cartones. Sin embargo existen otros componentes como las pilas, tarros y restos de aluminio que podrían aportar rastros de metales a las aguas.

TABLA 4.4.
ESTIMACIÓN COMPOSICIÓN RESIDUOS MENSUALES EN ISLA DE PASCUA

DETALLE	COMPOSICIÓN JUAN FERNANDEZ		ISLA DE PASCUA	
	Temporada alta	Resto del año	Temporada alta	Resto del año
	%	%	KGS/MES	KGS/MES
MATERIA ORGANICA	46	64	59.904	68.538
PAPEL Y CARTON	10	8	13.023	8.567
PLASTICO	9	6	11.720	6.425
VIDRIO	14	3	18.753	3.213
TETRAPACK	2	1	2.605	1.071
ALUMINIO	3	1	3.907	1.071
TARROS	3	3	3.907	3.213
PAPELES BAÑO	10	11	13.023	11.780
PILAS	0,5	0	651	0
OTROS	1,7	3,1	2.279	3.308
TOTAL	100	100	130.227	107.091

3. Centro de salud

Los residuos sólidos generados en hospitales y consultorios contienen gran cantidad de químicos y material bacteriológico, que si no se manejan adecuadamente, pueden ser potenciales fuentes de contaminación para el agua subterránea.

En la isla los residuos peligrosos (sólo el material biológico) proveniente del hospital son tratados en un digestor ubicado en el terreno del hospital ubicado en la zona urbana. El resto del material que también presenta peligrosidad como fuente de contaminación de las aguas subterráneas, como son los residuos patogénicos o infecciosos por ejemplo gasas, jeringas y algodones entre otros, son simplemente enviados al vertedero municipal.

Por lo que la contaminación de estos estaría localizada en el vertedero como fuente de contaminación puntual.

Antiguamente el hospital contaba con una fosa séptica la que colapsó el año 2000, se desconoce la situación actual de dicha fosa, pero se considera también como punto de contaminación.

4. Actividades agrícolas

Del total de los suelos de la Isla de Pascua cerca de un 30% presentan uso agrícola (Edmunds, 2007). Predominan los cultivos hortofrutícolas, y debido al creciente aumento de plagas e insectos en el último tiempo producto de las importaciones, se ha comenzado a utilizar diversos plaguicidas como medida de prevención y obtener un buen rendimiento de los cultivos.

Estas prácticas pueden ser causa de una seria de contaminación difusa, sobre todo por nutrientes provenientes de los fertilizantes para los cultivos y pesticidas, donde los eventos de precipitación sumados a las características físicas del lugar favorecerían la lixiviación.

Los plaguicidas potencialmente más riesgosos para llegar a las napas subterráneas con las características de los suelos de la Isla de Pascua, serán los de mayor persistencia, estables a pHs ácidos, con elevadas solubilidades y bajos valores de Koc.

La mayoría de los plaguicidas utilizados son productos de moderado a levemente tóxicos, pertenecientes a las clases II y III de clasificación de toxicidad de la EPA (compuestos tóxicos para el hombre y la vida silvestre).

Edmunds (2007), hizo un seguimiento de los componentes activos de los pesticidas que se consideraron más riesgosos según uso, frecuencia, y toxicidad en la isla. Se evaluaron tres tipos de componentes: Metamidofos y Dimtetoato, que corresponden a pesticidas organofosforados y Clorotalonil, funguicida con grupo benceno clorado, y se llegó a la conclusión de que es muy probable que estos dos últimos sea posible encontrarlos cercanos o en las aguas subterráneas.

Esto indica que como ellos, podrían encontrarse otros tipos más que tengan características similares como contaminantes de las aguas.

5. Residuos Industriales y comerciales

La actividad industrial en la isla es muy escasa.

Dentro de este rubro se puede mencionar la existencia de 14 restaurantes, 5 supermercados, 2 panaderías, 3 mini-market, 1 heladería y un matadero. Los desechos generados por estas actividades (salvo el matadero) se pueden asimilar a los desechos domiciliarios, tema que fue tratado previamente.

El matadero está ubicado en la zona de Hanga Pico ubicado en la zona urbana, se sacrifican 40 animales al mes y se encuentra bajo la administración de SASIPA.

Según informes previos la zona de emplazamiento es limpia y ordenada (Ambar S.A., 2007) y cuenta con un pozo negro sin revestimiento para el vertido de vísceras, cueros y cachos, el que se encontraría saturado. El manejo de este pozo considera la aplicación de cal.

6. Cementerio

La isla cuenta con un cementerio de no mucha superficie ubicado en la zona urbana. Se considera éste como un posible punto de contaminación pues sabe que los cuerpos en descomposición producen cadaverina ($C_5H_{14}N_2$) y putrescina ($C_4H_{12}N_2$) producto de la descomposición de aminoácidos, además de elementos patógenos, los que podrían infiltrar hasta llegar a las napas subterráneas.

7. Zonas de combustibles

Dentro de estas zonas clasifican la central eléctrica de la isla, la bomba de bencina y el aeropuerto, todos ubicados dentro de la zona urbana.

Se agruparon estas entidades debido a que el peligro de contaminación de ellas es de la misma naturaleza y se refiere al peligro de derrame de los estanques que almacenan los combustibles, principalmente si estos se encuentran enterrados puesto que su cercanía a la napas es mayor y dichas fugas son más difíciles de detectar.

Si se producen roturas de los estanques, éstos se transforman automáticamente en un fuente puntual y continua de contaminación, siendo los principales contaminantes hidrocarburos halogenados, benceno, tolueno, etilbenceno y xileno, más conocidos como grupo BTEX, contaminantes caracterizados por su solubilidad y movilidad, y que son de difíciles de remover una vez alcanzado el nivel de las napas.

Si bien no existen estadísticas sobre los volúmenes de aceite quemado que se generan en la isla, este tema ha sido mencionado en más de un estudio como un problema que requiere solución.

La principal fuente de aceites quemados es producida por la central eléctrica administrada por SASIPA, la cual, genera entre 400 y 600 litros al mes, los cuales son almacenados en tambores en dependencias del recinto. Una vez llenos estos tambores son enviados al continente para su disposición final.

En cuanto al caso de los talleres automotrices, el destino de los aceites quemados parece ser pozos ubicados en el mismo recinto (pozos sin ningún tipo de revestimiento o protección).

También se señala que en el pasado se esparcía el aceite quemado en las calles de la ciudad para evitar (o al menos disminuir) el levantamiento de polvo tras el paso de los automóviles (Ambar S.A., 2005).

Aunque hoy en día esta práctica parece estar abandonada es importante considerar este evento como una fuente de contaminación pasada o heredada puesto que aún puede generar una carga contaminante al subsuelo producto del lixiviado desde los terrenos contaminados.

8. Canteras

La Isla cuenta con una cantera en plena explotación ubicada en la costa sur-este cercana al sector de Vaihú, mostrada en la Figura 4.11. En dicho lugar se usan explosivos para disminuir el tamaño de la roca a una determinada talla, enviándola posteriormente a una planta de áridos en la cercanía del aeropuerto sector Vinapú.

Se consideran estos puntos como posibles fuentes contaminantes puntuales debido a que se podrían encontrar trazas de compuestos provenientes de explosivos en las aguas subterráneas (como compuestos nitrogenados). Además de considerar el polvo en suspensión que generan estas zonas que posteriormente puede ser recargado al acuífero.

FIGURA 4.11.
CANTERA



Fuente: Ambar--Diagnóstico Actualización Plan Regulador Isla de Pascua, 2005

En la Tabla 4.5. se resumen las actividades detectadas como posibles fuentes contaminantes y los principales tipos contaminantes que pueden generar cada uno de ellos.

TABLA 4.5.

RESUMEN DE UBICACIÓN Y NATURALEZA DE LAS FUENTES CONTAMINANTES DETECTADAS

Tipo de actividad	Ubicación	Distribución	Principales tipos contaminantes *
Aguas residuales	Urbana-Rural	Puntual-Difusa	n, o, f, t
Botaderos de basura	Rural	Puntual	o, s, h, t, f
Centro Salud	Urbana	Puntual	n, s, h, t, f
Actividades agrícolas	Rural	Difusa	n, t
Matadero	Urbana	Puntual	n, o, t
Cementerio	Urbana	Puntual	n, o, t
Zonas de combustibles	Urbana	Puntual	t
Cantera	Rural	Puntual	n, h, o

* n compuestos de nutrientes o carga orgánica general h metales pesados
 f patógenos fecales s salinidad t micro-organismos tóxicos

Como se puede ver muchas de las fuentes contaminantes se encuentran en la zona urbana, y provienen de actividades urbanas por lo que se debe poner especial cuidado al analizar dicha zona.

Más aún, los pozos de extracción de agua potable (7, 25, 27 y 28) se encuentran cercanos a esta zona por lo que podría haber una migración de los contaminantes hacia la zona de captación de dichos pozos.

En todo caso, no se sabe de registro de intoxicación de la población por contaminantes en el agua potable pero esto no significa que no pueda haber a futuro pues es necesario considerar el tiempo de viaje de los contaminantes y el crecimiento de la población (que como se explicó en capítulos anteriores no es despreciable) lo que podría generar un aumento en el caudal de extracción de los pozos y con ello acelerar la migración de los contaminantes hacia ellos.

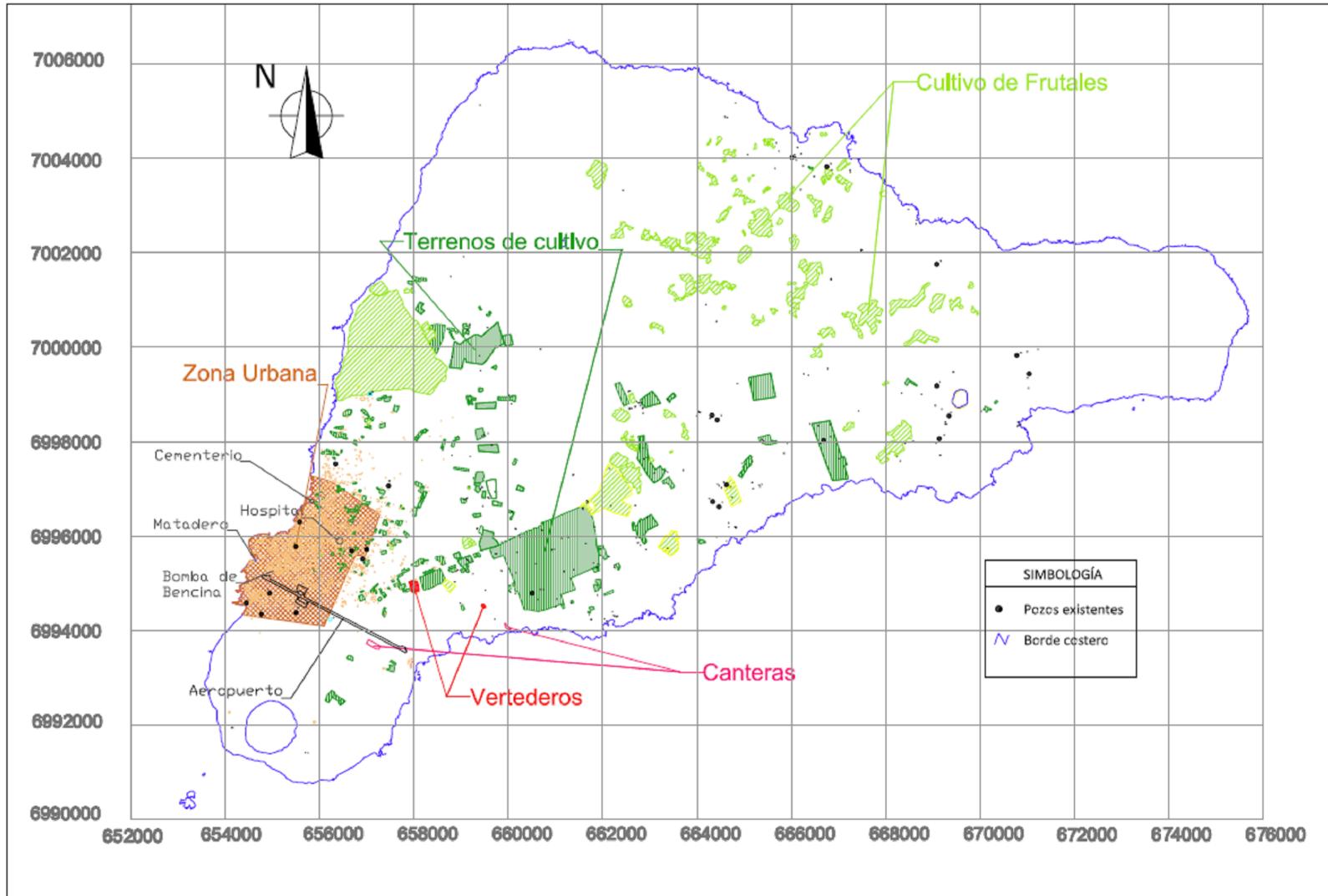
Es de suma importancia que se tomen las medidas necesarias para prevenir dicho evento, en particular se debe considerar que el agua extraída para consumo sólo es sometida a un proceso de cloración y fluoración y que los organismos públicos no llevan control de la calidad del agua suministrada, esto está a cargo únicamente de la empresa sanitaria de la isla, SASIPA.

En cuanto al territorio insular rural, la principal fuente de contaminación son los terrenos agrícolas que como se ha demostrado en estudios anteriores podrían estar causando contaminación por el uso no controlado de pesticidas.

En la Figura 4.12 se muestra la ubicación de las distintas fuentes contaminantes detectadas, distinguidas por colores.

FIGURA 4.12.

MAPA DE POSIBLES FUENTES CONTAMINANTES DETECTADAS EN ISLA DE PASCUA



4.4 PELIGRO A LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA ISLA.

Ya se realizó un análisis de las posibles fuentes contaminantes de las aguas subterráneas en la isla. Al superponer dicha información con el mapa de vulnerabilidad creado se puede tener una visión más clara de cuáles son las zonas donde se debe tener mayor cuidado para la protección de las napas, y de esta forma poder elaborar un plan para generar un desarrollo que fomente el crecimiento y que a la vez proteja los recursos naturales.

En efecto, al analizar la ubicación de la zona urbana, que contiene gran parte de las fuentes de contaminación detectadas, en el mapa de vulnerabilidad de las aguas subterráneas vemos que ella se encuentra ubicada principalmente en la zona clasificada como zona de vulnerabilidad alta. De esta manera se ve que la situación es bastante delicada y se deben tomar medidas al respecto cuanto antes, tanto para controlar o prevenir la posible contaminación, como para mejorar la situación de riesgo elevado que se tiene actualmente.

Los vertederos por su parte también se encuentran ubicados en zonas de vulnerabilidad alta. El de mayor preocupación corresponde al vertedero de Hanga Hemu que como se explicó anteriormente no cuenta con ningún tipo de protección en los suelos. Aunque en esta zona no existe captación de agua potable el problema no deja de ser delicado desde el punto de vista de riego de los cultivos y de cuidado de la fauna marina donde descargarán posteriormente esta agua.

El vertedero de Orito se encuentra ubicado en una zona considerada de vulnerabilidad alta pero su ubicación corresponde a la zona geológica de domos riolíticos que comparativamente con el resto de los suelos de la isla son altamente impermeables. En la actualidad se están haciendo estudios para realizar una correcta gestión del vertedero, en una simulación numérica se demostró que los flujos de agua en el sector rodeaban el domo por lo que no se mezclarían con los lixiviados provenientes del vertedero de manera que se evitaría una contaminación de las aguas subterráneas por parte de estos.

En cuanto a los cultivos se encuentran repartidos en suelos clasificados como zonas de vulnerabilidad muy alta, alta, media y baja.

Se puede ver que no existe distribución alguna en cuanto al uso de suelos agrícolas.

Se debe tener mucho cuidado puesto que constantemente se intenta promover esta práctica (agricultura) sin embargo si se realiza en zonas donde los suelos tienen protección muy baja o baja (como se ha realizado hasta ahora) es muy probable que estén contaminando las aguas subterráneas generando un serio problema ambiental, principalmente por el uso de pesticidas pues una vez que estos han alcanzado el agua son muy difíciles de remover.

En la Tabla 4.6. se muestra la importancia de las potenciales fuentes contaminantes detectadas, donde fueron considerados los criterios y consideraciones explicadas en el presente capítulo.

TABLA 4.6.

PELIGRO A LA CONTAMINACIÓN PROVOCADO POR LAS POTENCIALES FUENTES CONTAMINANTES DETECTADAS

Tipo de actividad	Ubicación según mapa de vulnerabilidad	Importancia peligro a la contaminación
Aguas residuales	Vulnerabilidad alta	++++
Botaderos de basura	Vulnerabilidad alta	++++
Centro Salud	Vulnerabilidad alta	++
Actividades agrícolas	Vuln. muy alta-alta-media- baja	++++
Matadero	Vulnerabilidad alta	+
Cementerio	Vulnerabilidad alta	+
Zonas de combustibles	Vulnerabilidad alta	++
Canteras	Vulnerabilidad alta	+

4.5 PERÍMETRO DE PROTECCIÓN DE POZOS

Las características geológicas de la isla hacen que los patrones de flujo sean extremadamente irregulares en ella, principalmente por la presencia de cavernas y sumideros que interrumpen el flujo difusivo convencional en medios porosos.

Por lo general los contaminantes que se mueven a través de acuíferos de éstas características, pueden viajar a velocidades mucho más rápidas a las calculadas siguiendo las metodologías de un medio poroso equivalente.

En la actualidad no se cuenta con la información necesaria para poder realizar un estudio de perímetro de protección de los pozos.

Foster, et. al (2002) recomienda que para realizar un estudio de esta índole, en acuíferos donde se presentan características kársticas (presencia de sumideros, cavernas y canales) se debería mapear sistemáticamente mediante reconocimiento de campo, fotografías aéreas y estudios geofísicos al menos en la cercanía de pozos o manantiales a proteger. El mismo autor señala que para poder delimitar cada área de protección es necesario realizar inspecciones espeleológicas y realizar investigaciones hidrogeológicas locales, usando trazadores artificiales y/o isótopos ambientales, en lugar de utilizar para el cálculo las propiedades y el gradiente hidráulico promedio del acuífero, pues se deberían esperar grandes diferencias con la geometría de un área de protección normal.

A falta de información específica se podría realizar un estudio a escala general utilizando la metodología de un medio poroso equivalente, es decir calcular el gradiente hidráulico promedio, almacenamiento y conductividades equivalentes, etc., sin embargo siempre es necesario incluir en el modelo las principales cavidades de disolución, fallas conocidas y otras características estructurales del acuífero que puedan ser de importancia, de otra forma esta hipótesis lleva a conclusiones erróneas.

Como no se cuenta con los recursos para poder realizar estas investigaciones, se dejan propuestas para un siguiente estudio.

5. RECOMENDACIONES PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE GESTIÓN

5.1 GENERALIDADES

Como se ha dicho anteriormente, para proteger el acuífero a la contaminación es esencial delimitar los usos de suelo, descargas de efluentes líquidos de origen doméstico e industrial, y manejos de residuos sólidos. Sin embargo en la práctica es necesario definir las estrategias de protección del agua subterránea que equilibre el control al peligro de la contaminación con las actividades económicas y culturales que le competen a la zona en estudio (modificado de Foster, S., et. al., 2002-2006, *Gestión sustentable del agua subterránea, serie de notas informativas N° 8*, Banco Mundial).

Es por esto, y dado el escenario que se ha presentado en el presente trabajo, que surge la necesidad de elaborar un plan de gestión para las aguas subterráneas de Isla de Pascua.

Para poder realizarlo se deben conocer en detalle los aspectos hidrológicos, hidrogeológicos y de desarrollo económico de la zona de estudio, principalmente conocer la disponibilidad de agua almacenada en el acuífero, su recarga, su demanda y calidad de ella.

Por lo general estos procesos son dinámicos y es por ello que es necesario que el plan de gestión esté acompañado de programa de monitoreo periódico del nivel y la calidad de las aguas subterráneas.

La mayoría de la bibliografía consultada nombra los siguientes puntos que deben existir para poder llevar a cabo un buen manejo integrado y sostenible de las aguas subterráneas:

- Debe existir un reconocimiento de las autoridades de la necesidad e importancia de llevar a cabo este proceso.
- Se debe disponer de los recursos económicos y de personal, destinados únicamente para este fin, para poder funcionar según el plan de manejo lo designe.
- Debe existir una reglamentación al respecto. Estas leyes deben ser claras y precisas.
- Cada institución involucrada en el proceso debe tener un rol claramente definido y aceptado.
- Se debe crear conciencia social que ayude a promover las políticas destinadas a la protección de las aguas subterráneas.

5.2 MARCO TEÓRICO UTILIZADO

Existe una serie de enfoques distintos con respecto a la gestión de aguas subterráneas, en particular el marco teórico utilizado en este trabajo fue basado principalmente en la publicación “*Groundwater Quality Protection Practices (2002)*” publicado por Environment Canadá.

En este trabajo se señala que la implementación de un plan de protección efectivo de las aguas subterráneas se debe hacer a nivel municipal y se sugieren 10 pasos a seguir para su correcta implementación:

1. Definir metas y objetivos: La idea es definir las metas a largo plazo de lo que se quiere conseguir mediante la elaboración del plan de gestión de aguas subterráneas. Junto con ello se debe incluir delimitación del área a ser protegida y estudiada.
2. Identificar equipo de planificación: Se debe definir el equipo responsable de la implementación del plan. Este equipo debe estar conformado por representantes de los gobiernos locales, provinciales y regionales. Otras instituciones, incluyendo organizaciones públicas, económicas, agrícolas, medio ambientales también pueden ser incluidas. Se debe poner especial énfasis en incluir expertos en temas relacionados con aguas subterráneas
3. Evaluar demandas de agua actuales y futuras: Se deben incluir demandas actuales y futuras para las aguas subterráneas según sus distintos fines, e incluir estudios de las recargas al acuífero (balance hídrico).
4. Desarrollar estudios hidrológicos e hidrogeológicos y establecer áreas de protección de las aguas subterráneas: Analizar cuáles son las zonas que merecen mayor atención para la protección del acuífero. Estas zonas pueden ser definidas en base a tiempos de viaje, mapas de vulnerabilidad o tipos de acuífero, entre otros métodos.
5. Realizar un catastro de fuentes contaminantes: La idea es identificar focos de contaminación dentro de la zona de estudio tanto puntuales como difusos, actuales, pasado o futuros. El plan de protección puede estar enfocado en los focos más riesgosos identificados.
6. Tomar medidas de protección de aguas subterráneas adecuadas: Según las potenciales fuentes contaminantes detectadas y las áreas de protección identificadas se deben adoptar medidas de protección de las aguas subterráneas. Estas dependerán de la ubicación del área de protección, el catastro de fuentes contaminantes, de los mecanismos disponibles para implementar estas medidas y de la disponibilidad de financiamiento. Este plan debe incluir medidas preventivas para la protección del agua subterránea frente a derramamientos accidentales pero no debe concentrarse en este tipo de eventos.

7. Diseñar e implementar un sistema de monitoreo de aguas subterráneas: Se deben incluir mediciones de nivel de agua subterránea y de la calidad física y química de ésta. Los monitoreos deben hacerse en pozos de abastecimiento de agua y también en pozos de observación, si es que se dispone de los recursos, que deberán ser ubicados aguas abajo de alguna de las potenciales fuentes contaminantes de manera de poder dar alerta temprana de algún tipo de problema de calidad del agua. Se debe implementar un sistema de manejo de datos eficiente para procesar la información monitoreada y asignar recursos para la interpretación y evaluación periódica de los datos para asegurar la efectividad del sistema.
8. Desarrollar planes de contingencia ante derrames y contaminación del suministro: Se deben identificar fuentes de suministro de agua potable alternativas en caso de contaminación de algún pozo de extracción para suplir la demanda hasta que el problema se solucione.
9. Asegurar fondos: En ocasiones los fondos para implementar un plan de gestión se pueden compartir entre las municipalidades, gobiernos provinciales y regionales. Otras formas de financiamiento pueden consistir en derechos de propiedad o cobros por sobreuso de agua.
10. Educación pública y participación: La participación ciudadana es fundamental para que un plan de protección tenga éxito. Se recomienda involucrar a todos los usuarios y público general en el desarrollo e implementación del plan, y se les deberá educar poniendo énfasis en la importancia de éste y en los pasos a seguir para llevarlo a cabo. La interacción se hace fundamental para obtener apoyo de la comunidad a futuro. Se debe continuar con la educación incluso después de implementado el plan, esto asegura que la medidas adoptadas para proteger el recurso hídrico subterráneo se respeten y se asegura de una fuente continua de financiamiento.

La implementación del plan de gestión se puede realizar todo de una vez o de manera gradual, empezando con la educación y las medidas más básicas para luego pasar a las medidas más complejas.

En ocasiones la utilización de señalética especial para informar a la gente que se encuentra en zonas de protección del agua subterránea genera buenos resultados tanto para la formación de conciencia social como generar una buena imagen de la localidad para los turistas.

5.3 PLAN DE GESTIÓN PARA ISLA DE PASCUA

Como se ha descrito en el presente informe las características de la zona de estudio hacen que este sea un territorio bastante particular para la realidad del país. Es por ello que al momento de elaborar un plan de protección de las aguas subterráneas, así como cualquier proyecto que se quiera llevar a cabo en este lugar, se deben tener consideraciones especiales principalmente por su fragilidad, aislamiento y cultura.

En primer lugar se debe especificar que el plan de manejo sustentable de la localidad estará enfocado a controlar la calidad del agua subterránea, pues según lo que se ha visto hasta el momento no existen problemas de cantidad por extracción excesiva de agua subterránea, ni se está cerca de tenerlos, pero sí se han identificado una serie de potenciales fuentes contaminantes que se muestran como una amenaza de contaminación para el recurso.

En función de esto se elaboró un plan de manejo para velar por la protección de la calidad del agua subterránea en el acuífero de isla de Pascua.

- Lo primero que se debe hacer es crear un equipo de trabajo encargado de la implementación y control del plan de gestión que se propone. Este equipo debe estar integrado por:
 - Al menos un representante de la Municipalidad de Isla de Pascua o de la Gobernación, puede ser el(la) alcalde(sa) o alguien que él(ella) designe para este fin, que entregue la visión de las autoridades a nivel local.
 - Un representante de la CONADI (Comisión Nacional de Desarrollo Indígena) encargado de promover, coordinar y ejecutar la acción del Estado en favor del desarrollo integral del plan.
 - Un representante de la DGA (Dirección General de Aguas), que entregue la visión de las autoridades a nivel continental.
 - Un representante del Consejo de Ancianos, a cargo de ver y tratar los intereses de la comunidad Rapa Nui.
 - Un representante de SASIPA, usuario mayor de aguas subterráneas, encargado del suministro de agua potable para Hanga Roa.

Al menos una de estas personas deberá ser especialista en aguas subterráneas.

- Dado los problemas detectados en el estudio realizado, el equipo de trabajo que se conforme deberá poner especial atención en la protección de contaminación de las aguas subterráneas. De manera adicional deberá controlar la explotación en cuanto a cantidad de este recurso. Para llevar a cabo estas tareas se proponen las siguientes medidas:
 - Se deberá crear una red de monitoreo para analizar parámetros físicos y químicos del agua subterránea, con el objetivo de determinar si es que existiere cualquier anomalía en la calidad del agua que provenga de alguna de las fuentes contaminantes detectadas en la zona de estudio. Lo ideal sería poder construir pozos de observación en los lugares donde existe mayor peligro de contaminación, pero considerando que probablemente no existen fondos para este fin, en un principio se ideó un sistema de monitoreo a partir de los pozos existentes y se recomienda la creación de pozos de observación en las zonas donde se considera más necesario².

Se propone que los pozos a monitorear para detectar contaminación sean³:

Los pozos 1 y 4, para detectar contaminación proveniente de la zona urbana. Se debe por lo menos analizar la concentración de Nitratos. Producto de la distancia entre la isla y el continente, lugar donde se analizará la muestra, se utilizará como indicador de materia orgánica los parámetros DQO y COT.

Pozos 14, 21 y 26 para la contaminación producto de las actividades agrícolas, se medirá Nitratos y COT. En caso de que se sospeche contaminación producto de pesticidas por un COT muy alto se recomienda medir DOX. Si estos últimos se presentan, medir AOX.

No existen pozos aguas abajo de la ubicación de los vertederos, para detectar la posible contaminación proveniente de estos es necesario la creación de un pozo de observación. Éste puede estar ubicado cerca de las coordenadas 659566 E, 6994195 N. La idea es monitorear aguas arriba y aguas debajo de éste. Mientras se construye el pozo se puede muestrear alguna vertiente que se encuentre aguas abajo de la ubicación señalada y un pozo aguas arriba.

² Si se dispone de fondos para la construcción de pozos de observación se debe realizar un estudio más detallado de su correcta localización, este estudio sirve sólo como parámetro de referencia.

³ Dado que no se ha realizado visita a terreno no se conoce la situación actual de dichos pozos, en caso de encontrarse cerrados o en mal estado se puede monitorear algún pozo cercano que se encuentre a menos de 500 m a la redonda. En caso contrario es necesaria la construcción de un pozo de observación (ver nota 3)

Como indicadores de que exista contaminación producto de vertederos se puede utilizar algunos metales (Cd, Hg, Zn), Nitratos y DQO.

Además de estos pozos siempre es recomendable tener control de la calidad de los pozos utilizados como suministro de agua potable estos son los pozos 28, 25, 27 y 7.

Todos estos pozos deben ser monitoreados según los recursos que se dispongan entre 1 vez al mes y una vez cada 6 meses. En lo posible hacer todas las mediciones durante la misma semana.

Adicional al muestreo en laboratorio de los parámetros mencionados se debe monitorear in-situ pH, temperatura, verificar olor y color por lo menos una vez al mes en todos los pozos mencionados.

El muestreo y preservación de las muestras se harán según Standard Methods for Examination of Water and Wastewater o Normas INN.⁴

En la Tabla 5.1. se presenta una estimación del costo del análisis de estos muestreos. Los valores son considerando la muestra puesta en laboratorio.

TABLA 5.1.
RESUMEN COSTO DE ANÁLISIS CON MUESTRAS PUESTA EN LABORATORIO

Parámetros	Precio unitario Laboratorio (*)	Pozos a monitorear	Nº muestras	TOTAL
Nitratos	\$ 3.600	1, 4, 14, 21, 26, 28, 25, 27, 7, Obs.	10	\$ 36.000
DQO	\$ 6.785	1, 4, 28, 25, 27, 7, Obs.	7	\$ 47.495
COT	\$ 15.000 (**)	14, 21, 26	3	\$ 45.000
Cadmio	\$ 2.935	De observación (por construir)	1	\$ 2.935
Mercurio	\$ 4.650	De observación (por construir)	1	\$ 4.650
Cinc	\$ 2.935	De observación (por construir)	1	\$ 2.935
COSTO TOTAL MUESTRAS			→	\$ 139.015

(*) Referente Laboratorio Hidrolab, valores Enero 2010.

(**) Valor estimativo pues no se dispone de información.

⁴ NCh 411/2 Of 96, Calidad del agua - Muestreo - Parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo; NCh 411/3 Of 96, Calidad del agua - Muestreo - Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras, y NCh 411/10 Of 97, Calidad del agua - Muestreo - Parte 10: Guía para el muestreo de aguas residuales.

- Adicionalmente sería ideal contar con una red de monitoreo de los niveles de los pozos de extracción y pozos de observación, de manera de poder detectar si es que existieren descensos en el nivel freático en el tiempo para así poder adoptar medidas preventivas si fuese necesario. Se propone utilizar los mismos pozos de la red de calidad.
- Realizar un catastro anual de los pozos existentes tanto particulares como públicos y exigir, cuando se pueda, a los usuarios de éstos un registro mensual de los caudales extraídos.
- Se deberán desarrollar los proyectos necesarios para poder contar con un estudio de perímetro de protección de pozos. Adicionalmente se deberá prohibir todo tipo de actividades potencialmente contaminantes en la zona de captura de los pozos. Se puede complementar la campaña preventiva con letreros que indiquen estas zonas junto con el peligro en las zonas detectadas de vulnerabilidad extrema y alta, para que la gente tome conciencia de las medidas adoptadas.
- Se deberá realizar una campaña educativa desde el comienzo de la elaboración del plan y mantenerla en el tiempo, enfocada a todo tipo de público, residentes, empresarios y turistas. La idea es incentivar buenas costumbres para que se lleve un buen desarrollo del plan como el reciclado, minimización y tratamiento de efluentes. Se propone realizar reuniones anuales invitando a participar a la comunidad para informar los resultados monitoreados, las medidas adoptadas y proponer mejoras al sistema.
- Elaborar un plan de contingencia ante eventos casuales de contaminación este puede quedara cargo a particulares o funcionarios públicos locales.
- Conseguir recursos que se destinen a la implementación del plan de gestión. Estos pueden conseguirse a nivel municipal o estatal, a través de entidades como CIDEZE o CONADI.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A lo largo de este estudio se pudo observar que:

- ✓ La Isla de Pascua tiene un sistema natural bastante frágil y susceptible a daños provocados por la actividad humana. En efecto así se ha demostrado a lo largo de la historia: la deforestación ocurrida con el ingreso del ser humano en la isla o el ingreso de plagas causado por la importación de flora y fauna al lugar, crearon colapsos ambientales que hasta el día de hoy no se han podido solucionar. Por estos motivos se debe poner especial énfasis en el cuidado y protección del medio.
- ✓ La gran distancia del continente, la pequeña superficie de origen volcánico y su escasa población proveniente de una cultura muy diferente a la habitual en Chile continental, sumada a la alta tasa de turismo anual existente y en constante crecimiento, dan cuenta de que si apareciera un problema ambiental de gran magnitud sería muy difícil de combatir.
- ✓ El tema de la protección de la calidad de las aguas subterráneas, única fuente de agua dulce en la isla, es un tema no resuelto y que se deben tomar medidas para abordarlo lo antes posible.

Es importante que estas medidas estén acompañadas por un plan de gestión integral que involucre todos los aspectos relevantes para proteger este recurso. Dentro de ello la creación de un grupo de trabajo encargado de la gestión de las aguas subterráneas debería ser el primer paso para así determinar los temas de mayor preocupación, partiendo por la falta información. Es necesario obtener un catastro de pozos con sus perfiles litológicos claramente definidos, ubicar pozos utilizados por particulares para extracción de agua, contar registro de los caudales extraídos, etc.

- ✓ Para contar con un buen sistema, el rol del Estado y de las entidades estatales frente al territorio insular es fundamental, sin embargo en la actualidad no existe mucha conexión.

Esto ocurre principalmente por la distancia a la que se encuentra la isla, que hace que sea muy difícil el control y fiscalización por parte de las autoridades. Por otro lado se trata de una excepción dentro de los territorios del país, pues es de una naturaleza muy distinta y faltan especificaciones y normas más claras que digan qué hacer para estos casos. El ejemplo más evidente de esto tiene que ver con las normativas de descargas, que para los establecimientos industriales de la isla se hacen imposibles de cumplir. Es necesario crear una norma de descargas específica para ellos, y así se podrían definir objetivos y metas realizables.

Mejorar normativas y coordinación de las entidades estatales permitirá actuar en función de la protección de los habitantes de la isla y de su medio ambiente, lo que se traduce en una mejora a nivel de imagen país, en especial frente a fuertes críticas y exigencias internacionales

al tratarse de un territorio declarado como patrimonio de la humanidad (ver Campbell, Petra, Mayo 2006, *"Easter Island: On the verge of a second environmental catastrophe"*, Rapa Nui Journal Vol 20).

- ✓ Con el mapa de vulnerabilidad creado y las fuentes de contaminación detectadas se puede ver que no existe una clara organización en cuanto a usos de suelos en la isla (agricultura). Esto en conjunto con la alta tasa de crecimiento de la población y del turismo genera que el peligro a la contaminación de las aguas subterráneas sea más difícil de prevenir y controlar. Sin embargo, dada la cultura de los Rapa Nui, restringir los usos de suelo por zonas no tiene sentido, es por esto que se debe poner especial atención en el plan de educación hacia los agricultores, la cual debería realizarse de manera personalizada, para que tomen conciencia de la vulnerabilidad del suelo en el que se encuentran y hagan un uso adecuado de fertilizantes y pesticidas.
- ✓ Se propuso un plan de monitoreo basado en la información disponible de la isla que ayudaría a detectar, y de esta forma prevenir, la contaminación de las aguas subterráneas. Este plan de monitoreo debe acomodarse según la disponibilidad de recursos para este fin, de esta manera se pueden distanciar o acortar los intervalos de muestreo según recomendaciones especificadas.

En caso de disponer de pocos recursos se recomienda realizar de todas maneras el monitoreo en terreno, aunque no se realicen las pruebas de laboratorio, pues éste sirve para detectar cambios en el tiempo del agua muestreada, con lo que se podría identificar si es que hubo algún derrame o se cambió algún procedimiento que podría estar perjudicando las aguas subterráneas.

- ✓ Finalmente se puede mencionar la necesidad de la creación de un modelo numérico confiable de los flujos de agua subterránea, para lo cual es necesario contar con buena información tanto en cantidad como en calidad, pues esto ayudaría a tener mayor claridad de la movilización de los contaminantes tanto a escala general como local y así se podría prevenir, proyectar o actuar, en caso que fuese necesario, de manera adecuada para poder fomentar un equilibrio entre el progreso económico de la localidad y la protección del recurso hídrico.

7. REFERENCIAS

- Alamos y Peralta, 1992, *“Recursos hídricos de Isla de Pascua. Estudio de regadío de Isla de Pascua. I etapa: Estudio hidrogeológico”*, Comisión Nacional de Riego, Santiago, Chile.
- Ambar S.A., 2002, *“Estrategias Y Acciones Para La Conservación, Uso Y Aprovecho Sustentable De Los Recursos Patrimoniales De Isla De Pascua”*, Subsecretaría de Desarrollo Regional, V región.
- Ambar S.A., 2005, *“Diagnóstico del Plan Regulador Comunal de Isla de Pascua”*, Ministerio de vivienda y urbanismo, Secretaría Regional Ministerial, V Región de Valparaíso.
- Arellano, José, 1998, *“Proyecto De Saneamiento Y Cierre Del Vertedero De Hanga Hemu, Comuna De Isla De Pascua”*, Ministerio de Salud, Gobierno de Chile.
- Brown Sepúlveda, Martín Ernesto, 2005, *“Gestión sostenible de las aguas subterráneas en los valles de Chicureo y Chamicero”*, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.
- Cabrera MC, Custodio E, 2004, *“Groundwater flow in a volcanicsedimentary coastal aquifer: Telde area, Gran Canaria, Canary Islands, Spain”* Hydrogeological Journal 12: 305–320
- Campbell, Petra, Mayo 2006, *“Easter Island: On the verge of a second environmental catastrophe”*, Rapa Nui Journal Vol 20.
- Custodio, Emilio, 1995, *“Vulnerabilidad de los acuíferos a la Polución”* Seminario internacional de aguas subterráneas, Santiago, Chile
- Foster, S., Hirata, R., 1991, *“Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas: Una metodología basada en datos existentes”*. OPS-CEPIS

- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M., Paris, M., 2002, *"Groundwater quality protection, A guide for water utilities, municipal authorities and environmental agencies"*. The World Bank.
- Foster, S., et. al., 2002-2006, *"Gestión sustentable del agua subterránea, serie de notas informativas"*, Banco Mundial.
- González-Ferran, Oscar ; Mazzuoli, Roberto ; Lahsen A., Alfredo, 2004, *"Geología del Complejo Volcánico Isla de Pascua Rapa Nui, Chile = Isla de Pascua un afloramiento de las entrañas de la tierra - Carta Geológica-Volcánica"*, Centro de Estudios volcanológicos, Santiago, Chile.
- Herrera, Christian; Custodio, Emilio, 2008, *"Conceptual hydrogeological model of volcanic Easter Island (Chile) chemical and isotopic surveys"*, Hydrogeological Journal, 16: 1329-1348
- Ingeniería Agrícola, 1998, *"Diagnóstico para el desarrollo de Isla de Pascua: Proyecto piloto de riego de cultivos hortofrutícolas"*, Comisión Nacional de Riego, Santiago, Chile.
- Lull Gilet, Antoni, 2001, *"Contabilidad medio ambiental y desarrollo sostenible en el sector turístico"*, Tesis Doctoral, Universitat de les Illes Balears, Departament d'Economia i Empresa.
- Lobos, G., Espinoza, C., 2003, *"Zona de Protección de Pozos: Una herramienta para la gestión de Acuíferos"*, División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente, Departamento Ingeniería Civil, Universidad de Chile.
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República de Chile, 2002, DS. 46/2002, *"Norma de Emisión de Residuos líquidos a aguas subterráneas"*.

- Muñoz Ahumada, Rodrigo, 2004, "*Peligro de contaminación de acuíferos y perímetros de protección de pozos: aplicación al valle del Cachapoal*", Memoria para optar al título de ingeniero civil, Universidad de Chile
- Muñoz Lemus, Carolina Alejandra, 2004, "*Geomorfología de Isla de Pascua*", Memoria para optar al título de geógrafo, Universidad de Chile.
- Perez Anabalón, Claudio, 2007, "*Bases geográficas para el desarrollo agrícola en Isla de Pascua: Relaciones físico-ambientales, socio-productivas y de gestión*", Memoria para optar al título profesional de geógrafo, Universidad de Chile.
- Ramirez Salgado, Jorge Eduardo, 2004, "*Análisis de metodologías para evaluar vulnerabilidad de acuíferos a la contaminación: aplicación a la zona norte de Santiago*", Memoria para optar al título de ingeniero civil, Universidad de Chile.
- Rodríguez Perea, Antoni, Gelabert Ferrer, Bernardí, 2006, "*Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en las Islas Baleares*", Investigaciones geográficas N°41, pp 49-64.
- Skordilis, Junio 2004, "*Modelling of integrated solid waste management systems in an island*" Resources, Conservation and Recycling Volume 41, Issue 3, Pages 243-254.

ANEXOS

ANEXO 1. REGISTRO DE PRECIPITACIONES ESTACIONES MATAVERI Y VAITEA.

PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)
PERIODO 1961 - 2009

Estación : **ISLA DE PASCUA - MATAVERI**

Latitud : 27° 09' S Longitud : 109° 25' O Elevación : 46m

UTM: 655852 E 6994845 N

FECHA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1961	32,4	75,5	92,5	88,6	84,1	30,1	113,5	.	48,1	44,1	18,4	32,4	.
1962	.	189,0	.	80,2	117,8	.	142,9	78,5	48,1	58,0	80,3	82,7	.
1963	77,8	65,5	20,4	132,0	347,9	125,7	18,6	26,3	85,2	39,2	36,8	60,9	1.036,3
1964	65,0	100,0	113,0	89,0	190,0	82,0	209,0	37,0	43,0	95,0	220,0	59,0	1.302,0
1965	98,9	76,1	53,0	63,5	224,3	53,0	54,9	100,0	53,0	31,8	92,8	155,0	1.056,3
1966	124,9	44,5	90,2	102,2	103,3	39,5	76,0	89,8	59,0	77,3	281,9	35,2	1.123,8
1967	.	.	63,1	.	35,9	159,3	55,5	29,5	82,5	.	49,5	.	.
1968	92,0	35,0	41,0	116,8	116,9	40,9	233,0	58,0	151,6	70,9	54,6	18,4	1.029,1
1969	85,3	67,0	.	84,6	65,3	85,2	159,8	81,9	87,7	63,6	6,1	69,4	.
1970	52,6	94,3	95,5	128,7	63,8	111,0	21,8	97,7	30,6	37,1	40,5	227,8	1.001,4
1971	44,3	83,8	47,7	97,0	118,6	41,0	42,8	92,8	60,9	107,9	46,3	58,5	841,6
1972	89,3	116,7	73,0	56,6	98,1	151,5	117,4	79,4	28,4	55,0	20,7	77,5	963,6
1973	46,5	57,0	46,9	95,0	33,9	66,8	92,4	186,4	50,2	52,6	80,8	47,6	856,1
1974	64,2	60,9	144,9	129,8	60,9	38,9	73,3	196,4	77,2	44,7	40,4	70,0	1.001,6
1975	68,0	43,8	36,2	161,8	110,5	34,9	127,2	105,0	100,3	105,0	56,7	127,3	1.076,7
1976	59,3	51,9	68,4	81,8	104,2	44,2	80,8	22,7	234,0	77,8	84,0	65,3	974,4
1977	155,5	86,7	110,5	146,1	207,1	47,3	76,3	85,0	194,5	79,1	46,0	64,9	1.299,0
1978	63,7	80,9	126,8	141,5	232,6	125,4	22,0	108,1	41,7	129,2	69,8	285,6	1.427,3
1979	132,5	142,3	102,3	365,1	363,4	217,8	72,9	221,6	64,2	89,8	56,4	73,5	1.901,8
1980	42,3	70,9	166,1	51,1	124,9	143,9	62,2	97,8	177,0	35,1	75,0	299,1	1.345,4
1981	118,6	42,4	24,0	184,2	106,0	209,6	61,4	100,4	201,4	63,8	79,4	45,8	1.237,0
1982	34,2	46,5	109,1	227,4	100,0	28,4	108,5	168,1	95,0	50,3	74,5	59,6	1.101,6
1983	84,1	314,6	35,5	81,5	93,4	43,7	475,2	27,0	32,0	109,6	17,9	195,8	1.510,3
1984	137,2	100,1	18,2	255,4	460,3	63,0	171,1	144,6	46,8	36,2	158,6	25,3	1.616,8
1985	18,7	47,7	205,2	35,2	244,5	81,5	88,2	29,3	49,6	124,1	107,3	47,8	1.079,1
1986	81,3	31,5	25,6	72,0	68,3	75,8	130,8	116,6	119,5	103,0	70,4	18,8	913,6
1987	16,3	43,7	77,6	118,7	186,5	309,7	75,0	123,5	43,1	25,7	16,6	80,5	1.116,9
1988	46,4	104,8	168,9	103,6	67,3	35,7	40,7	95,6	87,4	77,9	22,8	32,4	883,5
1989	30,8	79,8	176,7	213,5	134,2	77,2	29,8	36,0	180,7	45,2	155,1	58,3	1.217,3

(continúa página siguiente).

(continuación estadística precipitaciones Mataveri)

FECHA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1990	69,7	110,3	197,5	38,1	198,3	206,5	181,1	90,2	66,4	18,0	32,7	61,4	1.270,2
1991	75,1	26,1	76,7	350,9	153,5	145,3	41,6	51,7	228,6	67,9	37,5	47,0	1.301,9
1992	34,0	157,0	128,2	186,1	65,3	78,7	117,0	126,0	76,1	40,5	27,0	70,8	1.106,7
1993	292,2	70,0	182,3	49,4	26,0	153,5	267,8	186,1	357,8	197,8	11,3	132,7	1.926,9
1994	66,9	44,2	171,5	43,1	158,4	77,5	143,5	110,7	177,3	173,2	36,6	62,2	1.265,1
1995	78,8	51,9	122,2	164,9	190,8	54,4	238,0	14,4	12,0	156,5	45,8	125,9	1.255,6
1996	27,0	59,6	18,2	106,9	119,8	171,1	142,6	157,8	75,7	78,9	32,6	57,4	1.047,6
1997	41,9	53,8	174,7	318,8	48,3	95,7	142,9	193,6	134,5	38,7	38,9	42,4	1.324,2
1998	12,0	83,3	70,9	139,5	183,7	171,1	55,5	89,8	66,7	31,3	44,3	18,4	966,5
1999	120,2	62,0	28,2	164,6	98,8	61,4	84,7	92,4	48,6	32,3	94,8	142,8	1.030,8
2000	163,6	80,4	134,8	124,0	79,6	23,0	170,4	169,4	65,0	344,0	193,8	66,2	1.614,2
2001	32,2	57,2	44,6	92,3	68,8	137,8	86,2	48,2	90,8	140,0	125,6	42,2	965,9
2002	17,4	122,0	103,0	44,3	70,0	134,2	154,5	23,8	87,0	115,4	232,9	29,6	1.134,1
2003	53,8	108,0	100,5	160,2	163,3	62,7	173,7	115,5	88,5	75,2	109,4	20,0	1.230,8
2004	67,4	51,6	122,2	73,3	100,2	17,8	85,8	135,8	138,0	9,8	133,5	197,0	1.132,4
2005	34,0	3,0	43,2	81,0	39,4	137,0	230,0	144,0	54,8	85,6	30,0	37,6	919,6
2006	83,1	26,4	117,4	118,8	334,2	149,8	100,4	183,2	62,2	15,0	46,8	183,6	1.420,9
2007	137,6	270,6	51,6	300,8	327,0	192,4	146,2	36,2	45,8	58,8	64,9	21,2	1.653,1
2008	17,2	62,2	48,8	230,6	93,2	108,2	32,4	239,4	39,8	93,0	8,8	64,0	1.037,6
2009	74,8	40,0	71,6										

- . sin información
- sin precipitación

PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

PERIODO 1971 - 2004

Estación : **ISLA DE PASCUA - VAITEA**

Latitud : 27° 06' S Longitud : 109° 21' O Elevación : 213m

UTM 662592 E 6999626 N

FECHA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1971	56,0	92,6	37,3	218,8	120,0	56,7	.	.	.	.	.	.	.
1972	73,3	281,9	132,6	66,9	140,6	220,8	185,3	123,9	38,6	65,2	28,1	82,4	1439,6
1973	60,5	63,1	144,0	114,8	49,9	94,3	154,3	299,1	75,6	68,5	.	58,0	.
1974	64,2	60,9	144,9	129,8	60,9	38,9	73,3	196,4	77,2	44,7	40,4	70,0	1001,6
1975	53,2	53,0	64,4	101,4	133,2	47,9	200,6	103,2	71,8	89,2	50,9	166,4	1135,2
1976	71,0	42,1	111,5	130,2	128,4	78,5	78,3	33,7	200,8	.	140,8	152,2	.
1977	115,7	67,3	129,6	160,6	266,2	63,3	70,4	65,1	247,9	123,5	45,1	48,3	1403,0
1978	107,4	73,0	187,5	229,4	233,5	112,1	16,4	138,2	44,6	139,5	66,5	150,0	1498,1
1979	150,8	231,4	133,4	125,5	138,6	150,8	121,2	159,9	44,1	53,0	74,3	64,1	1447,1
1980	21,1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
1981	90,0	19,6	45,1	183,2	79,0	293,3	57,5	145,5	232,5	54,3	109,9	20,7	1330,6
1982	64,2	68,3	61,1	317,6	136,8	37,2	174,5	227,6	146,8	57,9	72,7	84,3	1449,0
1983	113,4	364,3	48,7	108,6	90,3	69,2	405,9	58,0	47,3	159,9	21,9	212,7	1700,2
1984	198,5	56,9	51,2	389,6	461,2	78,3	195,3	176,3	43,3	52,8	191,5	41,0	1935,9
1985	8,6	133,1	75,6	39,9	259,9	134,2	152,9	60,7	38,3	214,6	123,3	33,6	1274,7
1986	79,2	40,0	19,5	115,8	102,2	83,9	124,4	131,7	161,9	151,3	943,7	-	1104,6
1987	9,5	102,5	73,4	82,5	338,5	570,5	141,1	192,4	52,8	59,2	21,5	98,6	1742,5
1988	123,1	142,2	215,5	148,1	81,2	80,6	102,0	99,7	74,0	85,1	21,3	-	1172,8
1989	36,1	164,4	.	339,6	137,9	101,1	52,3	45,3	415,8	54,4	179,5	43,9	.
1990	35,6	151,1	218,3	47,9	164,3	218,5	200,4	95,9	70,3	11,7	24,3	123,0	1361,3
1991	140,9	30,2	107,9	369,8	176,0	197,9	93,7	124,1	283,5	40,8	64,5	59,7	1689,0
1992	88,6	191,8	167,8	147,9	90,5	99,9	198,4	119,3	115,3	11,3	2,1	14,1	1247,0
1993	348,7	2,3	50,7	15,4	6,1	172,5	302,1	415,4	422,2	204,3	180,0	-	2119,7
1994	33,5	22,3	197,9	38,0	110,7	161,6	65,3	30,2	324,8	156,2	21,5	68,7	1230,7
1995	34,5	9,3	34,7	122,6	120,3	20,3	70,2	4,9	4,8	209,4	4,5	17,8	653,3
1996	3,3	29,6	12,2	30,1	37,0	165,6	91,5	313,5	31,6	29,5	6,5	24,4	774,8
1997	13,1	42,8	232,2	360,2	107,2	220,6	248,9	245,4	224,4	92,1	58,9	113,6	1959,4
1998	7,3	134,8	197,7	542,1	333,8	294,9	328,6	109,7	13,8	44,4	18,2	55,5	2080,8
1999	176,8	133,8	40,1	295,5	140,6	29,3	146,7	79,2	50,0	25,1	142,3	198,6	1458,0

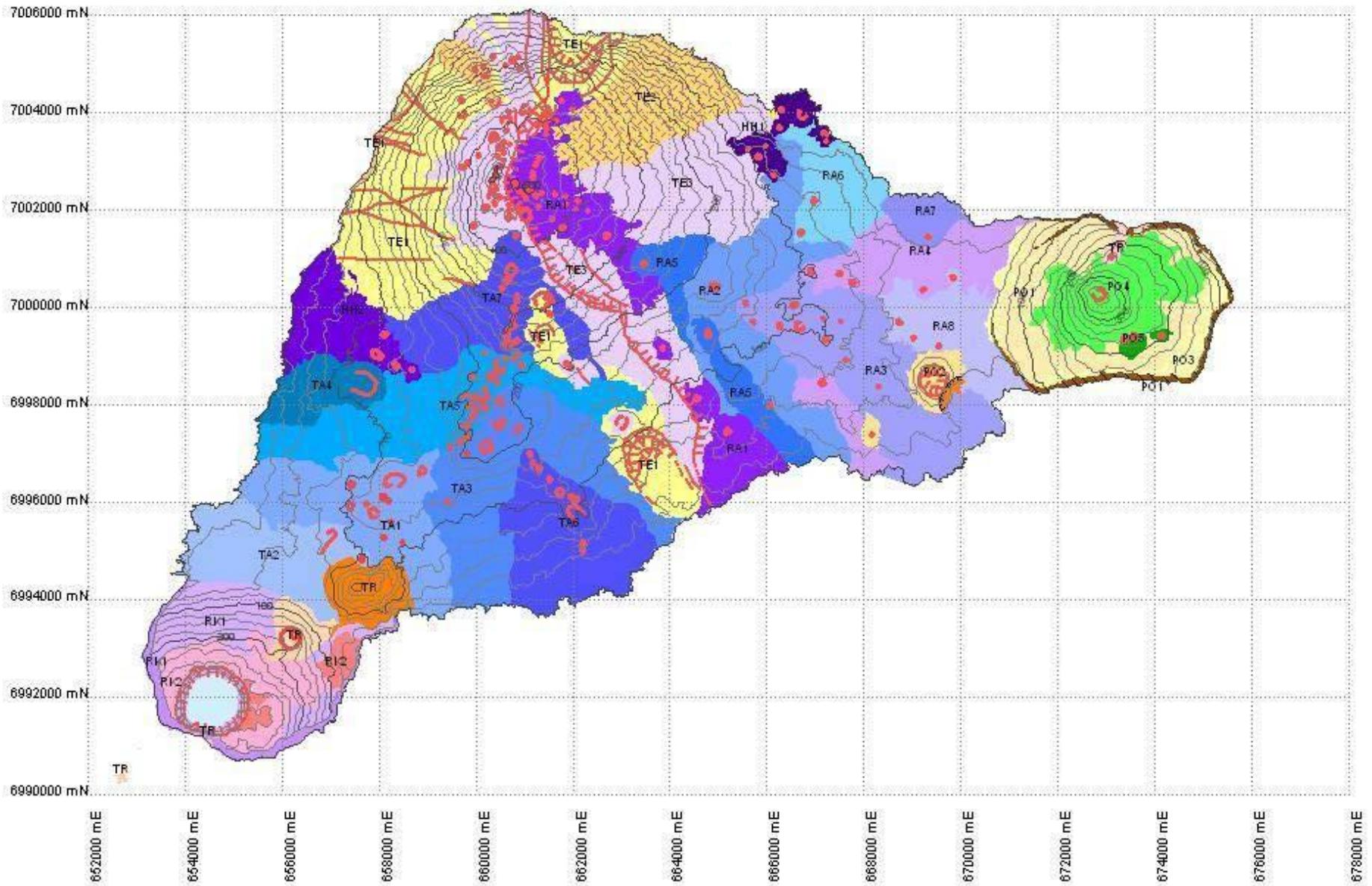
(continúa página siguiente).

(continuación estadística precipitaciones Vaitea)

FECHA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
2000	143,5	51,3	55,8	124,8	150,1	25,3	267,9	351,5	74,2	330,2	323,9	41,4	1939,9
2001	45,1	72,7	35,2	198,8	115,5	375,5	170,3	222,6	63,6	155,7	111,8	22,3	1589,1
2002	29,6	210,4	94,1	77,0	80,6	235,3	202,5	21,5	32,1	90,1	163,1	6,5	1242,8
2003	26,0	127,2	64,7	83,7	178,5	36,3	88,7	103,6	95,9	109,9	55,7	36,2	1006,4
2004	71,6	169,9	124,7	156,3	79,9	7,8	129,0	119,5	68,9	3,8	212,2	.	.
2005	66,7	30,6	4,6	84,8	.	49,3	124,9	332,7	43,6	138,8	84,2	23,7	.
2006	83,1	26,4	117,4	118,8	334,2	149,8	100,4	183,2	62,2	15,0	46,8	183,6	
2007	111,5	296,7	88,1	336,8	372,1	222,1	95,2	89,6	221,0	337,1	346,7	3,2	

- . sin información
- sin precipitación

ANEXO 2. MAPA GEOLÓGICO: GONZALEZ-FERRÁN, 2004.



Legenda

	TR Maunga O'RITO. Lavas y domo fofónico (con fragmentos de obsidiana).		TA7 TE KAURANGA O VARU; Lavas, tolellas, basaltos olivínicos y hawallas.
	RI2 VAITARE RUNGA. Flujos y domo de lavas benmofíticas.		TA6 KO E-KO E; Puku Kyaashaha; Maunga Oit; Te Miro Oone; Maunga Re ki. Hawallas.
	RI1 Volcán RAMO KAU. Composición varia entre basaltos alcalinos, tolellas olivínicas, hawallas, mugearitas, benmofitas y ritollas.		TA5 OMO HANGA. Tolellas.
	PO5 Conos parásitos, pitoclastos y spatter. Basálticos alcalinos de olivino.		TA4 VAKAKIPU, (ROIRO), Mugearitas.
	PO4 PŪKATIKI; lavas basálticas olivínicas porfíticas y tolellas olivínicas.		TA3 O TUU; Flujos de lavas hawallas y mugearitas.
	PO3 Depósitos de lava talcizadora.		TA2 Maunga TARARAIMA; Flujo de lava hawalla olivínica.
	PO2 RAMO RARAKU y Maunga TOA-TOA; Depósitos de lavas Naloclasticas palagonizadas, teju-basáltica.		TA1 Maunga TANGAROA; PUNA PAU; Maunga VAIO HAO; Flujos de lavas tolellas olivínicas, hawalla.
	PO1 VOLCÁN POIKE; de composición alcalina basáltica olivínica, hawallas y mugearitas.		RA8 TO RARAKUI; Hawallas.
	TE3 Maunga KUMA. Principalmente tolellas olivínicas, basaltos y hawallas.		RA7 Maunga PUHO PUPUPURI; Tolellas olivínicas muy porfíticas.
	TE2 VAIMATA; Maunga VAITARA KAIVA; Maunga MAMA ROA; Maunga TARI. Basaltos olivínicos, tolellas olivínicas y hawallas.		RA6 Maunga PUHO O PIPI; Tolellas mugearitas.
	TE1 VOLCÁN TEREVAKA; Lavas, tolellas olivínicas, basaltos y hawallas.		RA5 Volcanes: Maunga O'KORO; Maunga RUNGAVAE; Tolellas olivínicas y hawallas.
	HH2 Maunga HIVA-HIVA; Maunga MACA HORU; Maunga OMO HANGA; Basaltos olivínicos.		RA4 Maunga KORORAU; Maunga MARATUA; Basaltos olivínicos y tolellas.
	HH1 Volcanes de AMA KEMA - OVAHE; Maunga KOUA; Maunga HA'U EPA; Maunga TE PURA ROA; Maunga OVAHE; Basalto olivínico, hawallas.		RA3 Maunga AMAMARAMA; Maunga TE OIREKA; Basaltos olivínicos, hawallas.
			RA2 Maunga PUI. Mugearitas artifices.
			RA1 RAMO AROI, Maunga PUKA. Flujos de lava, tolellas olivínicas hawalla artifices y mugearitas muy porfíticas.

ANEXO 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS: MEMORIA TAHIRA EDMUNDS (2007).

Tabla de texturas de suelos, Tahira Edmunds 2007

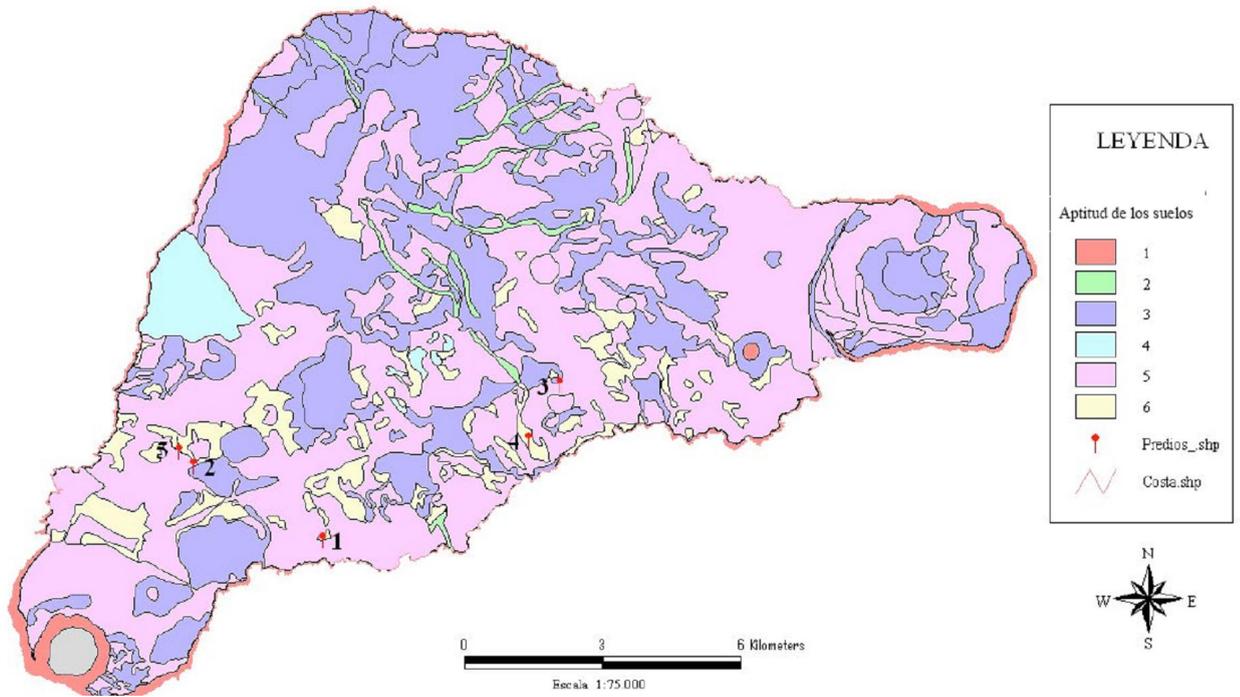
Suelo	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura
1s	52,02	20,11	27,84	Franco Arcilla Arenosa
1p	58,04	16,60	25,36	Franco Arcilla Arenosa
2s	48,02	28,06	23,93	Franco
2p	50,04	24,42	25,54	Franco Arcilla Arenosa
3s	42,16	22,0	35,84	Franco
3p	48,16	18,0	33,84	Franco Arcilla Arenosa
4s	64,16	19,27	16,13	Franco Arenosa
4p	65,04	22,42	12,54	Franco Arenosa
5s	40,16	20,71	39,13	Franco Arcilloso
5p	44,23	19,93	35,84	Franco Arcilloso

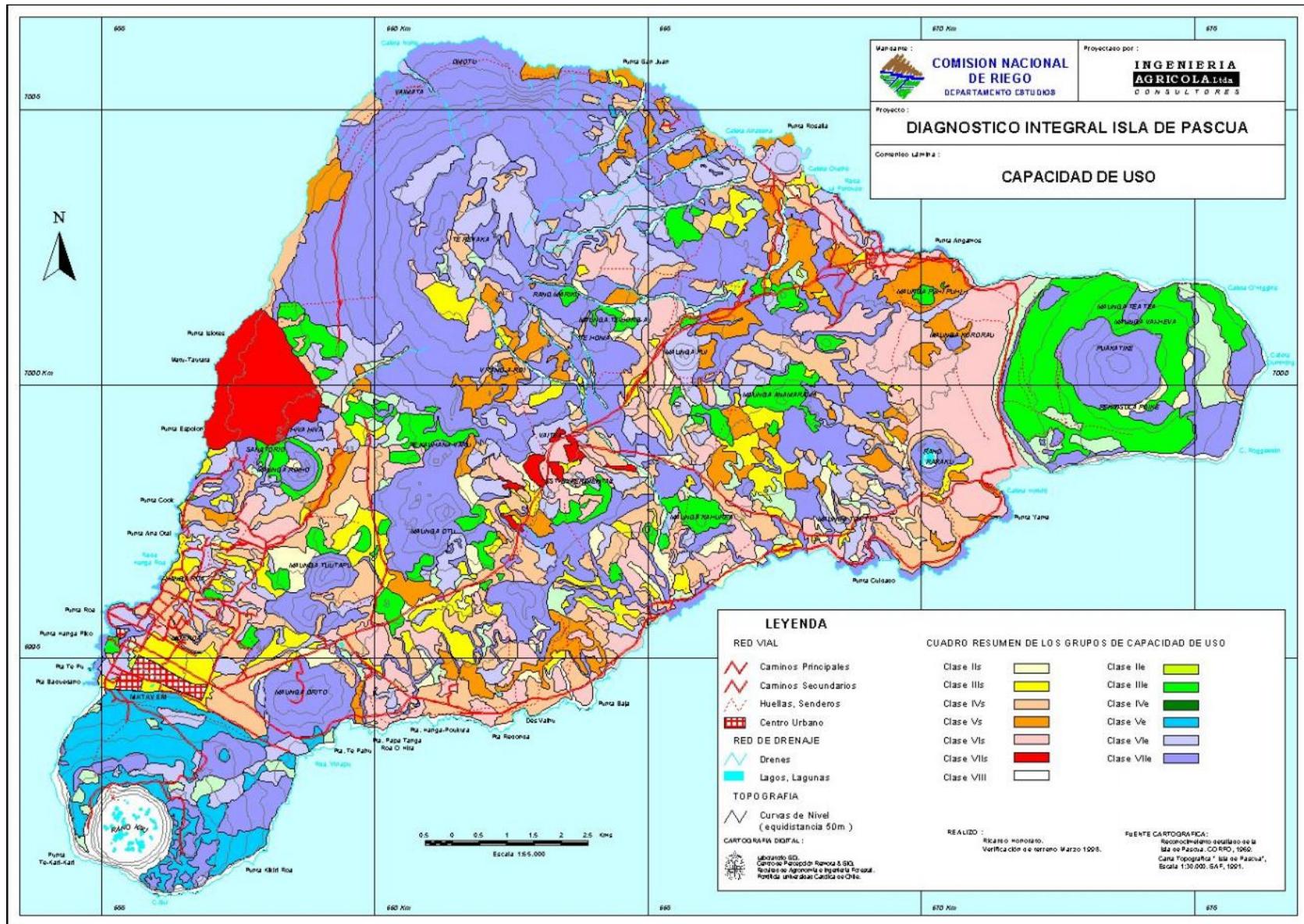
Subíndice s: superficial (0 – 3 cm)

Subíndice p: profundo (50 cm)

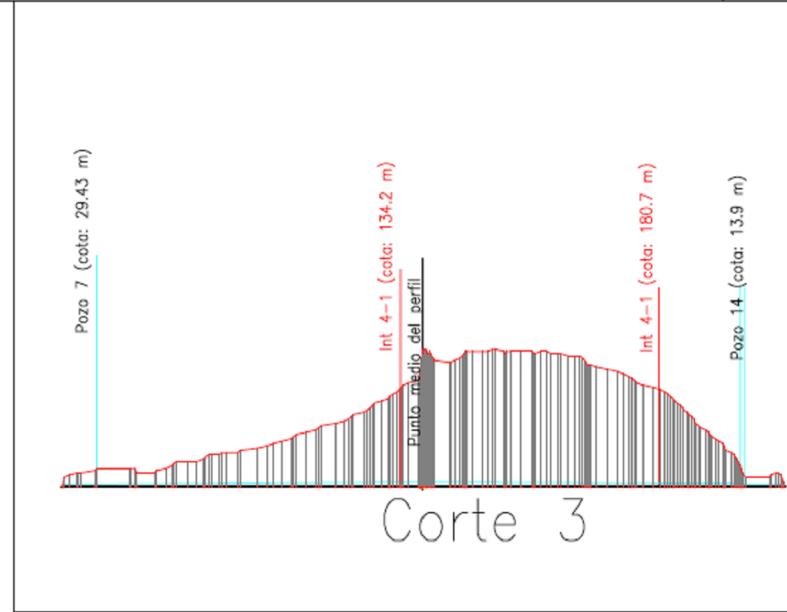
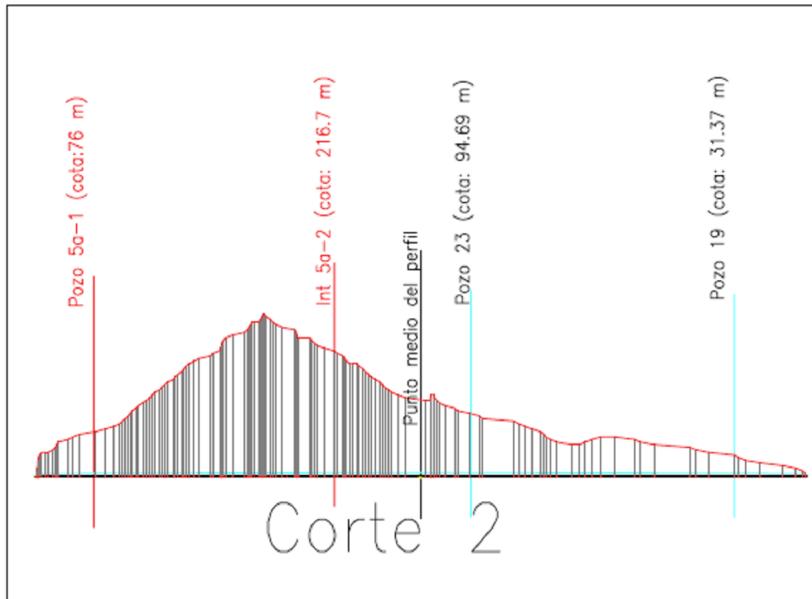
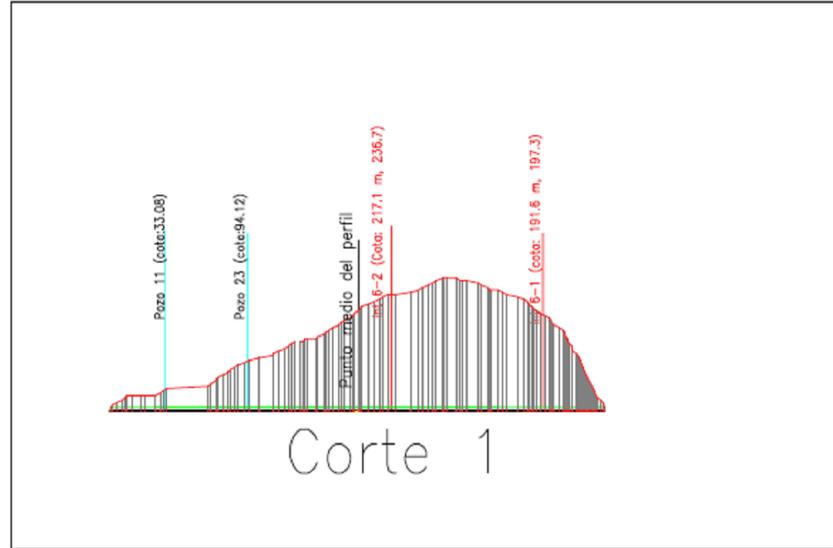
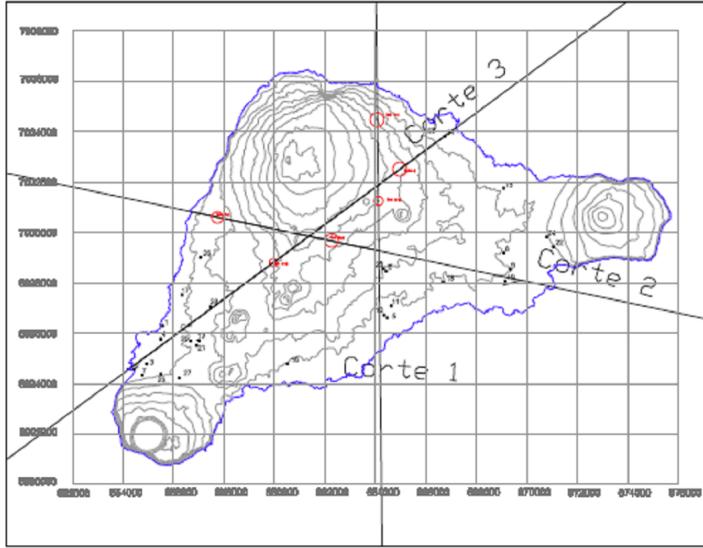
Mapa Aptitud de los suelos, Tahira Edmunds, 2007

MAPA 3: APTITUD DE LOS SUELOS





ANEXO 4. CORTES TRANSVERSALES DE LA ISLA. PROFUNDIDAD NIVELES DE AGUA.



ANEXO 5. UBICACIÓN DE LOS POZOS

