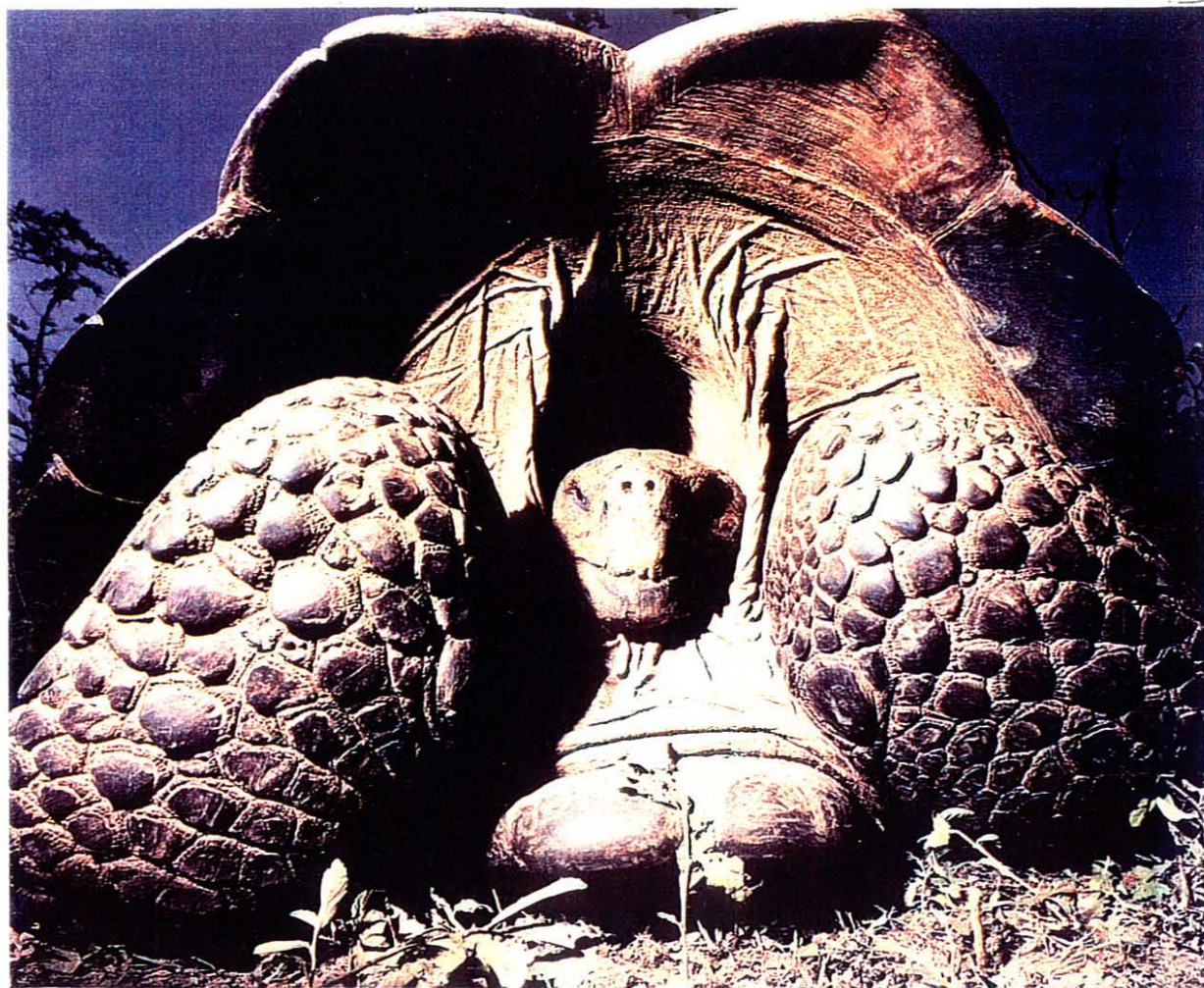




GOBIERNO AUTÓNOMO DE CANARIAS

CONSEJERIA DE OBRAS PUBLICAS  
VIVIENDA Y AGUAS  
DIRECCION GENERAL DE AGUAS

# BASES PARA UN PLAN HIDROLOGICO DEL ARCHIPIELAGO DE GALAPAGOS (REPUBLICA DE ECUADOR)



# INDICE

<b>I. ANTECEDENTES .....</b>	<b>1</b>
<b>II. INTRODUCCION .....</b>	<b>3</b>
<b>III. ¿CUANTA AGUA SE NECESITA EN EL ARCHIPIELAGO? .....</b>	<b>9</b>
III.1. Población .....	10
III.2. Agricultura .....	11
III.3. Turismo .....	13
III.4. Resumen de la demanda actual .....	14
<b>IV. ¿COMO SE SATISFACE LA DEMANDA EN LA ACTUALIDAD? .....</b>	<b>15</b>
IV.1. San Cristóbal.....	16
IV.2. Santa Cruz .....	16
IV.3. Isabela .....	17
<b>V. PROBLEMAS DEL ABASTECIMIENTO ACTUAL.....</b>	<b>18</b>
<b>VI. ¿CUANTA AGUA HAY DISPONIBLE EN LAS ISLAS POBLADAS? .....</b>	<b>21</b>
VI.1. Balance hídrico general de una isla .....	22
VI.2. Rasgos generales del clima .....	23
VI.3. Precipitación .....	24
VI.4. Evapotranspiración.....	27
VI.5. Escorrentía .....	27
VI.6. Infiltración.....	28
<b>VII.¿COMO SE DISTRIBUYE EL AGUA SUBTERRANEA? .....</b>	<b>29</b>
VII.1.Circulación del agua subterránea .....	30

VII.2.Condicionamientos geológicos.....	32
VII.2.1.San Cristóbal. ....	33
VII.2.2.Santa Cruz. ....	34
VII.2.3.Isabela. ....	35
VII.3.Cálculo de los recursos hídricos subterráneos. ....	36
<b>VIII. DEFINICION DE LAS OBRAS DE CAPTACION QUE PUEDEN SATISFACER LA DEMANDA DE AGUA ACTUAL .....</b>	<b>38</b>
VIII.1.Necesidades y disponibilidades .....	39
VIII.2.Captación de agua para abastecimiento y turismo. ....	40
VIII.3.Captación de agua para la agricultura. ....	41

Algunas de las fotografías que ilustran el presente informe han sido obtenidas del libro "GALAPAGOS THE LOST PARADISE", solicitando el correspondiente permiso.

# I.ANTECEDENTES

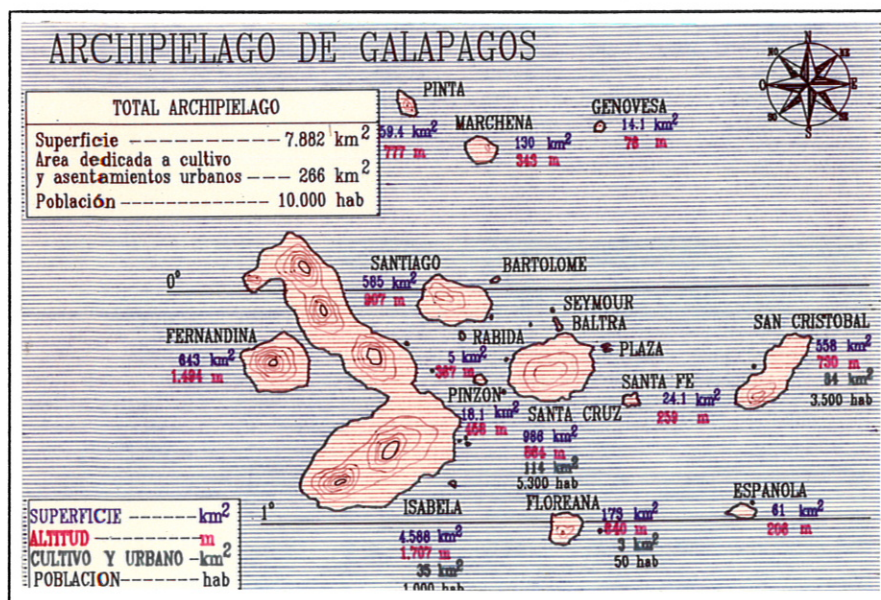
El domingo 9 de diciembre de 1990, el periódico El País de Madrid publicaba un extenso artículo dedicado a la investigación que un grupo de biólogos canarios estaba llevando a cabo en el Archipiélago de Galápagos. En dicho artículo se comentaba la grave situación de las islas en lo referente al abastecimiento de agua potable, escaso en cantidad y malo en calidad. El director del equipo de investigación, Dr. Bacallado, sugería que, dada la experiencia de Canarias en materia de captación de aguas, tal vez los hidrogeólogos de estas islas podrían aportar alguna solución a un archipiélago de constitución geológica similar.

Esta propuesta, lanzada al aire, tuvo una rápida respuesta por parte de la Consejería de Obras Públicas del Gobierno Autónomo de Canarias. La semana siguiente se celebró una reunión entre el Director General del Agua (Ing. Emilio Alsina), el Director del Proyecto de Investigación de Galápagos (Dr. Juan José Bacallado) y el Director de los Planes Hidrológicos de La Palma, La Gomera y El Hierro (Ing. Carlos Soler); como resultado de ella se decidió integrar en el Proyecto Galápagos a dos técnicos de la Consejería (C.Soler y J.M. Navarro) para que, en una primera aproximación, valorasen sobre el terreno el potencial de los recursos hídricos y su posible aprovechamiento.

A tal efecto, ambos técnicos se desplazaron a Ecuador a fines de Febrero de 1991. Durante la primera semana, transcurrida en Quito, se adquirieron las fotografías aéreas de Galápagos y se recopiló la información de base disponible: topografía, pluviometría, datos de población, etc.; esta actividad pudo desarrollarse con rapidez y eficacia gracias a la constante y desinteresada ayuda del Ing. Eduardo Aguilera, profesor de la Universidad Central del Ecuador. Durante las tres semanas siguientes fueron recorridas las islas pobladas del Archipiélago para examinar las obras de captación, estimar la permeabilidad de los terrenos y analizar los principales elementos geovolcanológicos que pueden controlar la circulación subterránea del agua; para esta actividad se contó con la asesoría directa de los técnicos del Instituto para el Desarrollo de Galápagos (INGALA) (Arquitecto Jaime Ortiz e Ing. José Villa en Santa Cruz, Sr. Arnaldo Tupiza en Isabela e Ing. Rodrigo Martín en San Cristóbal), que proporcionaron toda la información existente sobre captación, distribución y consumo de agua.

## **II. INTRODUCCION**

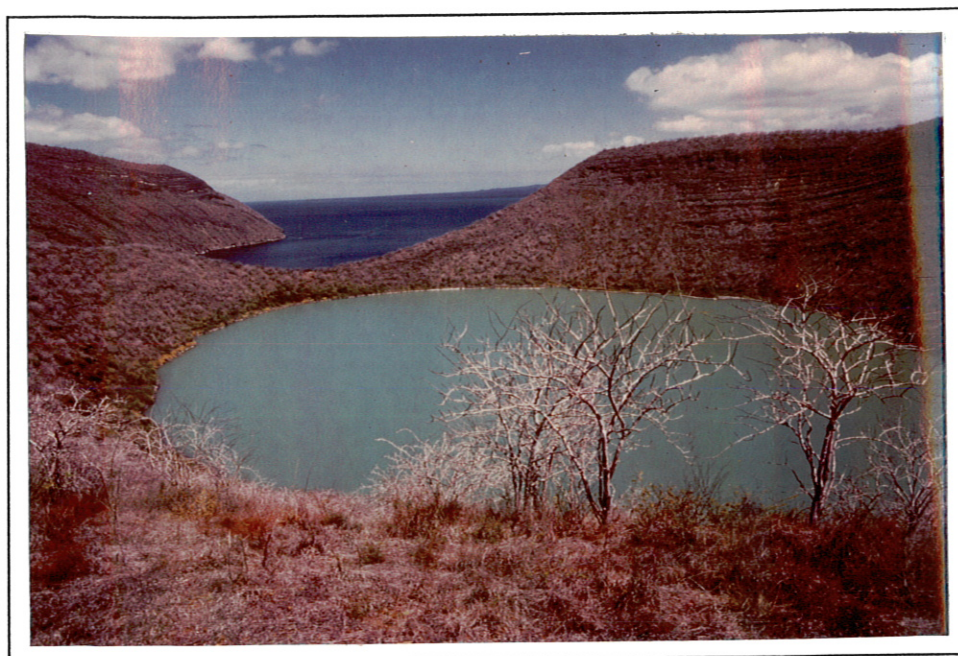
El Archipiélago de Galápagos, de origen exclusivamente volcánico, está formado por 14 islas mayores e innumerables islotes de menos de 2 km<sup>2</sup>. La superficie total del Archipiélago alcanza los 8.000 km<sup>2</sup> y su isla mayor es Isabela , con casi 4.600 km<sup>2</sup>. Las alturas máximas varían desde menos de 100 m en los islotes pequeños hasta más de 1.700 m en una de las cumbres de Isabela. El Archipiélago se sitúa en el entorno del paralelo cero y a 1000 km al oeste del continente americano. Políticamente constituye la vigésima provincia de la República del Ecuador.



Galápagos entra en la historia el 5 de marzo de 1535, cuando el barco del obispo Tomás de Berlanga, arrastrado por las corrientes, arriba a una de las islas orientales. En la carta en que da cuenta de su descubrimiento al rey de España, el dominico resalta lo inhóspito de estas tierras por carecer de cursos de agua, y así comienza la fama de aridez que hasta ahora acompaña al Archipiélago.



La falta casi absoluta de fuentes y arroyos que caracteriza a Galápagos, unida a un complicado sistema de vientos y corrientes marinas que hace difícil la navegación por estos mares, determinó que los barcos españoles las evitasen en siglos posteriores. Por las mismas razones, sin embargo, sirvieron de refugio temporal para piratas, corsarios y balleneros. Estos



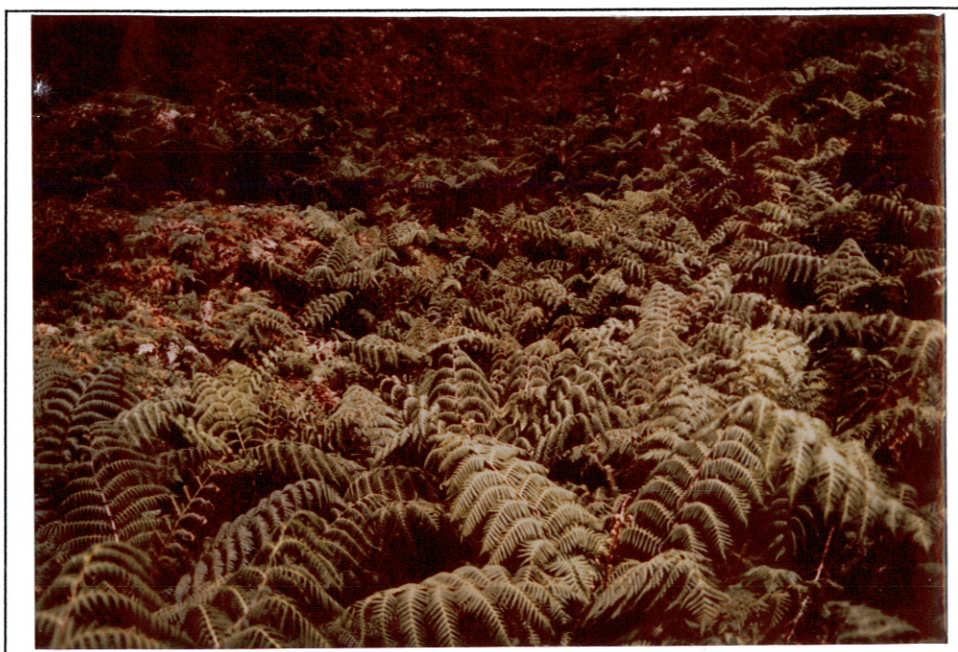
habitantes ocasionales fueron descubriendo poco a poco (y guardando celosamente) la forma de hacer aguada: ciertas pozas en donde puede acumularse la lluvia, grietas en cuyo fondo se



encuentra agua subterránea, o bien determinados puntos del litoral por los que, durante la marea baja, se produce descarga de agua salobre hacia el mar.



La ausencia de agua en superficie no significa, sin embargo, que las islas carezcan de vegetación. La franja costera - que es, ciertamente, la más visitada - está ocupada por una flora xerófila entre la que destacan los cactus, arbustos espinosos y palo santo, lo cual encaja bien en el concepto de aridez que se ha mencionado anteriormente. Al ganar altura, sin embargo, este



tipo de vegetación va siendo sustituido gradualmente por otros que necesitan mayor humedad para subsistir, y finalmente se llega a las zonas de cumbres, en donde son omnipresentes especies tan hidrófilas como los helechos. El panorama florístico proporciona, por tanto, una primera indicación de que la falta de aguas superficiales no es consecuencia de un clima seco, sino que obedece a otras causas. Esto viene confirmado por los datos pluviométricos, que registran precipitaciones medias de hasta más de 2.000 mm anuales en algunos puntos, lo que equivale al doble de las máximas en Canarias, que no pueden ser catalogadas, precisamente, como lugares áridos.

Con una fértil franja verde en medianías y cumbres, y pudiendo ser recogida el agua de lluvia, el paso a una colonización permanente de las islas era sólo cuestión de tiempo. Los primeros intentos se producen simultáneamente a su anexión a la República del Ecuador, en 1841, pero las explotaciones agrícolas sufren continuos reveses por muy diversos factores, entre los que destacan la lejanía del continente, que no facilita la exportación de los productos, y el uso de penados como mano de obra. Esta colonización inicial estuvo localizada, sobre todo, en la isla de San Cristóbal, más apta para el aprovechamiento del agua de escorrentía a causa de una permeabilidad relativamente menor de los terrenos.

Hasta mediados del presente siglo la población no superó los 1000 habitantes en todo el Archipiélago, mantenidos por una agricultura y una ganadería de autoconsumo. En los últimos 25 años, sin embargo, la población residente está aumentando a un ritmo fuerte y ya alcanza los 10.000 habitantes, a los que hay que sumar una población flotante más numerosa cada día. Esta explosión en el crecimiento se debe a la presión demográfica existente en la costa ecuatoriana y, sobre todo, al florecimiento del turismo internacional, que encuentra en este vasto archipiélago un ecosistema no modificado apenas por la actividad humana.

El actual crecimiento poblacional y económico de Galápagos no se está produciendo sin fricciones ni obstáculos. En primer lugar, el excesivo aumento en el número de residentes y visitantes puede resultar autodestructivo, ya que incide sobre la pureza del medio natural, que es precisamente la que hace que el turismo exista. En segundo lugar, la mejora paulatina de infraestructura (puertos, aeropuertos, carreteras, hoteles, etc.) no ha estado acompañada de una mejora paralela en el sistema de obtención de agua potable, que, en lo esencial, sigue siendo el mismo que usaron piratas y balleneros, sin apenas haber explorado otras formas de suministro.

La insuficiencia en el abastecimiento de agua es un factor limitante del crecimiento y, por ello, desde la perspectiva de algún conservacionista a ultranza, puede favorecer la preservación del entorno natural. Pero también, y sobre cualquier otra consideración, es un problema social de primera magnitud: si no se alcanzan pronto los mínimos requeridos en cuanto a cantidad y calidad, pueden crearse situaciones sanitarias difíciles o incluso dramáticas, como es el caso de la actual epidemia de cólera.

El presente informe, aunque sumario, tiene como objetivo apuntar soluciones a los

problemas de suministro de agua en las islas más pobladas. Para ello describe inicialmente la forma en que se realiza actualmente el abastecimiento y, a continuación, pasa a analizar la aparente contradicción de un Archipiélago que, con una pluviometría abundante, presenta una escasez tan notable en recursos hídricos superficiales. Tras efectuar un balance hídrico provisional ( $\text{l}l\text{uvia} = \text{evapotranspiración} + \text{escorrentía} + \text{infiltración}$ ) se llega a conclusiones - anticipémoslo ya - claramente optimistas: la falta de recursos superficiales es proporcional a la abundancia de recursos subterráneos, de modo que las Galápagos están en condiciones de proporcionar un suministro abundante y de buena calidad a una población muy superior a la actual.

### **III. ¿CUANTA AGUA SE NECESITA EN EL ARCHIPIELAGO?**

Tres son los sectores que necesitan agua para poder cubrir sus necesidades: la población, la agricultura y el turismo. A continuación se exponen los volúmenes que exige cada uno de ellos.

### III.1. Población

El último censo oficial del que se conocen los resultados, es el correspondiente a 1985. En éste se cifraba el número de habitantes del Archipiélago en 7.561, de los cuales 5.888 residían en asentamientos urbanos y 1673 en zonas rurales. La población correspondiente a 1991 es de alrededor de 10.000 habitantes, distribuidos de la siguiente manera:

ISLA	Nº HABITANTES
Santa Cruz	5.300
San Cristóbal	3.650
Isabela	1.000
Floreana	50

Suponiendo una dotación de 200 l/hab y día, la demanda de agua para las tres islas con mayor población sería:

ISLA	DEMANDA (m <sup>3</sup> /año)
Santa Cruz	386.900
San Cristóbal	266.450
Isabela	73.000

## III.2. Agricultura

Las superficies destinadas a la agricultura fueron fijadas en 1979 y el resto del territorio está considerado como Parque Nacional; los cultivos y los pastos se sitúan siempre, y en todas las islas, por encima de la cota 200.

ISLA	NUMERO DE PROPIETARIOS	SUPERFICIE AGRICOLA (ha)
Santa Cruz	199	11.448,3
San Cristóbal	174	7.892,6
Isabela	209	4.783,1
Floreana	90	284,8
<b>TOTAL</b>	<b>672</b>	<b>24.408,8</b>

De estos datos se deduce que únicamente el 3% de la superficie del Archipiélago está destinada a la agricultura, y de ella, aproximadamente el 70% lo ocupan pastizales destinados a la ganadería, siendo ambos sectores la base de la economía de subsistencia.

El clima insular de tipo ecuatorial, sujeto a la influencia de las corrientes húmedas del sur, provoca una estratificación altitudinal, que va desde la parte baja muy seca y cálida hasta una franja muy húmeda en la parte alta. Esta variedad climática permite la siembra de una amplia gama de cultivos como frutales, hortalizas, etc. Son, sin embargo, el sector ganadero, principalmente vacuno y porcino, y el cafetalero, los únicos con capacidad de exportación al continente, quedando los demás productos para el consumo interno, aunque debido a una falta de planificación y de capacidad de almacenamiento, pronto se produce una sobresaturación de mercado y la consiguiente baja de los precios.

El clima es idóneo para estos cultivos, pero en las épocas secas existen problemas de falta de agua, lo que ha provocado en algunos años la ruina total de la cosecha, al no poder contar con riegos de apoyo.

La cantidad de agua que demanda el sector agropecuario es de muy difícil precisión, ya que no se trata de un consumo fijo, sino que depende de las circunstancias climáticas de cada año concreto; a esto hay que sumar una clara tendencia al abandono, en beneficio del sector turístico.

A pesar de esta incertidumbre, en los Anejos se realiza un estudio sobre las necesidades de agua de riego en las islas de mayor relevancia agrícola, que si bien la escasa información



meteorológica disponible no permite una estimación exacta, si puede tomarse como una primera aproximación a la realidad.

En dichos **anejos**, se establecen cuatro grupos de cultivo en función de sus necesidades:

- Grupo I: Col, cebolla, pimiento, melón, sandía, maní, frijol y pepino.
- Grupo II: Maíz, tomate, papa, arroz, remolacha, trigo, tabaco.
- Grupo III: Café, banano, caña de azúcar, cacao, papaya.
- Grupo IV: Cítricos, aguacate, piña tropical.

A partir de esta clasificación se obtiene el siguiente cuadro de necesidades de agua por zonas climáticas:



## ¿CUANTA AGUA SE NECESITA EN EL ARCHIPIÉLAGO?

ZONA	GRUPO	NECESIDADES NETAS (m <sup>3</sup> /ha-año)	NECESIDADES REALES (m <sup>3</sup> /ha-año)
<b>Húmeda</b>	II (*)	600	1.200
	II (**)	350	700
	III	3.000	6.000
	I (*)	1.800	3.600
	I (**)	1.500	3.000
<b>Seca</b>	II (*)	2.000	4.000
	II (**)	1.900	3.800
	IV	3.700	7.400

(\*) Periodo Junio-Septiembre

Valores en

(\*\*) Periodo Noviembre-Febrero

m<sup>3</sup>/ha-periodo

Una vez obtenidas las necesidades de agua para cada grupo de cultivo, es imprescindible conocer las superficies destinadas a cada uno de ellos. Este último dato es de difícil determinación, teniendo en cuenta además, la escasa información que se posee sobre rendimientos, hábitos de alimentación, etc.. Aún así, se ha estimado que con la puesta en producción de 100 hectáreas de frutales y 100 de hortalizas con un rendimiento medio bajo, y manteniendo las pequeñas producciones de las fincas artesanales existentes hoy en día, **es posible lograr el autoabastecimiento de los 10.000 habitantes del archipiélago y el suministro para los turistas.**

Tomando los valores más altos de necesidades se obtienen unos requerimientos globales de agua de aproximadamente unos 600.000 m<sup>3</sup>/año, para la isla de Santa Cruz, unos 500.000 m<sup>3</sup>/año para San Cristóbal y por último unos 130.000 m<sup>3</sup>/año para Isabela.

### III.3. Turismo

El auge del turismo se viene produciendo a lo largo de las dos últimas décadas. En 1974 se fijó el número de visitantes en 12.000, que, con un valor medio de permanencia en el archipiélago de 5 días, generaban 60.000 pernoctaciones al año. En 1982 se aumentó este número a 25.000 y 6 días de estancia, lo que equivale a 150.000 pernoctaciones. Actualmente se estima que el número real de visitantes puede ser de 45.000, con 7 días de permanencia, lo que equivale a 315.000 pernoctaciones.

Existen dos tipos de turismo. Uno que visita las islas en barcos de crucero procedentes del

## ¿CUANTA AGUA SE NECESITA EN EL ARCHIPIELAGO?

Continente, fletados por grandes touroperadores multinacionales; su repercusión económica sobre la población es mínima. Otro, que llega a Galápagos por vía aérea desde Quito o Guayaquil y que, ya en las islas, utiliza la infraestructura local (hoteles, restaurantes, barcos de pequeño tonelaje, etc.); éste es el que realmente deja beneficios en la economía insular. A la hora de calcular la demanda del sector nos encontramos con la dificultad de no poder precisar el número de visitantes de cada grupo, lo cual es importante porque el consumo de agua varía mucho en uno u otro. Así, mientras que los grandes barcos que proceden del continente hacen aguada en él, los visitantes que llegan por vía aérea consumen agua local.

A efectos de establecer una cifra aproximada para la demanda, vamos a considerar que, si al visitante se le ofrece agua de buena calidad y sin restricciones, los volúmenes consumidos deben ser similares a los de otros sitios turísticos del mundo, como Canarias, en donde las necesidades se estiman en 500 litros por turista y día. Suponiendo también que un 70% de los visitantes utilizan como base Sta. Cruz, mientras que un 30% lo hace en San Cristóbal, la demanda total en cada isla sería la siguiente:

ISLA	DEMANDA TOTAL (m <sup>3</sup> /año)
Santa Cruz	110.250
San Cristóbal	47.250

### III.4. Resumen de la demanda actual

La demanda de agua del archipiélago, procedente de los sectores urbano, turístico y agrícola, se puede cuantificar aproximadamente, en los siguientes valores:

ISLA	DEMANDA URBANA (m <sup>3</sup> /año)	DEMANDA TURISTICA (m <sup>3</sup> /año)	DEMANDA AGRICOLA (m <sup>3</sup> /año)	TOTAL (m <sup>3</sup> /año)
San Cristóbal	266.450	47.250	500.000	813.700
Santa Cruz	386.900	110.250	600.000	1.097.150
Isabela	73.000	27.000	130.000	230.000

**IV. ¿COMO SE SATISFACE  
LA DEMANDA EN LA  
ACTUALIDAD?**

### IV.1. San Cristóbal

La mayor concentración urbana es Puerto Baquerizo Moreno, con 2.500 habitantes; le sigue el núcleo de El Progreso, con 300, y el resto (unos 850 pobladores) se distribuye entre Los Arroyos, Cerro Verde, El Chino y La Soledad. El suministro se hace con aguas superficiales captadas por una pequeña presa situada en la zona de cumbres (Cerro San Joaquín). A partir de mayo comienzan a disminuir las aportaciones a la presa, con lo que rápidamente se vacía el embalse; en esto influye tanto el consumo como las posibles filtraciones en el vaso. Desde mayo hasta que comienzan las lluvias, el agua que llega a la presa procede exclusivamente del escaso caudal que proporciona la garúa (niebla, condensación por la existencia de vegetación), por lo que el abastecimiento está sujeto a restricciones durante el 2º semestre, y algunos años llega incluso a anularse.

Como el suministro procede de aguas de escorrentía, la calidad es en principio muy buena, aunque cabe citar una cierta turbidez; este efecto indeseable se puede subsanar fácilmente con un tratamiento por decantación.

### IV.2. Santa Cruz

Es ésta la única isla que dispone de suministro de agua todo el año y durante las 24 horas del día. La población total de la Isla se cifra en 5.300 habitantes, estando su mayoría ubicados en Puerto Ayora. Los otros dos núcleos de población son Santa Rosa y Bellavista, pero ambos con escasos habitantes. El consumo total de Puerto Ayora es de algo menos de 1.000 m<sup>3</sup>/día, lo que, teniendo en cuenta la demanda turística, supone menos de 150 l/hab y día.

La captación de agua potable se hace en algunas fracturas abiertas situadas en el mismo Pto. Ayora, es decir, muy cerca del mar y en conexión casi directa con éste. El principal punto de extracción es la poza de El Barranco, en donde la bomba está situada a 3 metros bajo el nivel del mar; el caudal de bombeo era de 7 - 9 l/seg en 1983 (datos extraídos de ORSTROM), pero es

muy posible que haya aumentado en la actualidad para hacer frente al incremento de la demanda. Recientemente han sido perforados cuatro sondeos en las proximidades de los puntos de extracción citados; como era de esperar, la calidad del agua obtenida es muy parecida a la de la poza El Barranco.

Los puntos de captación de Pto. Ayora no presentan problemas de cantidad pero sí de calidad. De los datos de un análisis efectuado en el año 1985 por el Laboratorio de Aguas y Control de Contaminación, el agua de suministro urbano presenta una conductividad de 2.800  $\mu\text{mhos/cm}$  que la invalida para cualquier tipo de uso, de acuerdo con la Organización Mundial de La Salud, que limita este valor a un máximo de 1.500  $\mu\text{mhos/cm}$ . De acuerdo con el resto del análisis, la mineralización de las aguas es debida a un exceso de cloruros como consecuencia de la contaminación marina. Es de suponer que actualmente el contenido en cloruros, y por tanto la conductividad, sea todavía mayor.

El comentario efectuado sobre la calidad de las aguas es sólo en cuanto a consideraciones de sabor, no teniendo por qué verse afectadas las condiciones sanitarias. Sin embargo, del análisis referido se deduce que, en base a los contenidos en nitritos, nitratos y amonio, existe una contaminación de origen urbano.

Desde hace pocos meses está en funcionamiento una depuradora de agua que produce 10.000 l/día a partir del agua de la poza El Barranco. El coste del agua producida es de 10 sucres/litro (1.000 ptas/m<sup>3</sup>).

### IV.3. Isabela

En esta isla se encuentran asentados unos 1000 habitantes distribuidos por igual en dos núcleos: Santo Tomás y Puerto Villamil. El abastecimiento se efectúa desde el pozo "El Chapín", en Puerto Villamil, llenando diariamente el depósito de 30 m<sup>3</sup> con un bombeo de tres horas de duración. Estas cantidades representan una dotación de 60 l/hab y día, que, dados los servicios que existen en la villa, no resulta excesivamente baja. Aún con todo, el suministro de agua se acaba antes de las 8 de la noche, hecho que hace pensar en la existencia de pérdidas en la red de transporte y distribución.

En cuanto a la calidad del agua, durante la visita se recogió una muestra en la captación de "El Chapín"; su posterior análisis ha dado una conductividad de 1.812  $\mu\text{mhos/cm}$ , con un contenido en cloruros de 546 mg/l, lo que indica una contaminación del acuífero por intrusión marina.

**V. PROBLEMAS DEL  
ABASTECIMIENTO  
ACTUAL**

El abastecimiento actual de agua en las islas más pobladas de Galápagos dista de ser satisfactorio, y ello está en la mente de los habitantes y de los responsables de las instituciones. El problema, expuesto en forma sintética, es el siguiente:

1. San Cristóbal cuenta con un suministro escaso, de buena calidad, que procede de la captación de aguas superficiales. Con el esquema actual, los problemas se manifiestan en la estación seca y se agudizan en los años de escasa pluviometría. Hay, por tanto, una excesiva dependencia de las circunstancias climáticas.
2. En Santa Cruz hay un suministro aceptable en cantidad pero malo en calidad. Debido a la escasez de aguas superficiales, el agua se extrae de pozos que, por su ubicación, se encuentran afectados por la contaminación de agua marina; el elevado contenido en cloruros obliga a tratar el agua en una pequeña planta de desalación, lo que a su vez repercute en el costo.
3. En Isabela es escaso en cantidad y malo en calidad ya que el único pozo existente tiene un caudal de bombeo escaso y, además, presenta problemas de contaminación marina.

Esta situación en el suministro hídrico es ya un factor crítico para el bienestar y el desarrollo, pero, más grave todavía, se acentuará en el futuro a medida que aumente la población. Lo sorprendente de todo ello es que Galápagos no es, ni de lejos, el lugar árido que proclaman algunas guías turísticas. En efecto, es bien cierto que apenas existen aguas superficiales, pero la pluviometría es elevada y la vegetación, excluida la franja litoral en donde proliferan las especies xerófilas, puede calificarse de exuberante; en las alturas medias, la precipitación media anual es de 1.500 litros por metro cuadrado, y en las cumbres supera los 2.000 litros. Con estos valores de la pluviometría, que duplican los de Canarias, difícilmente puede hablarse de escasez de recursos hídricos. Las preguntas a formular son, por tanto:

- ¿Dónde va a parar el agua de lluvia?
- ¿Pueden mejorarse las captaciones superficiales?
- ¿Hay en el subsuelo agua de buena calidad y en cantidad suficiente?. De ser así, ¿en dónde?

El presente informe pretende dar respuesta a estos interrogantes.



**VI. ¿CUANTA AGUA HAY  
DISPONIBLE EN LAS  
ISLAS POBLADAS?**

## VI.1. Balance hídrico general de una isla

Para fijar una estrategia que permita aprovechar los recursos hídricos de la mejor manera posible, conviene recordar cómo se verifica el ciclo natural del agua en islas volcánicas, es decir, qué sucede desde el momento en que la lluvia llega a la superficie del terreno. A partir de ese instante, el agua sigue tres caminos diferentes:

- Una parte queda retenida en el nivel más superficial del terreno y es devuelta a la atmósfera por **evapotranspiración**, ya sea directamente o a través de las plantas.
- Otra parte resbala por la superficie, si las rocas son poco permeables o si el suelo ya está saturado previamente, dando lugar a ríos o arroyos, es la **escorrentía**.
- La cantidad restante se **infiltra** en el subsuelo, desciende más o menos verticalmente y se incorpora al acuífero general de la isla, donde el agua circula lentamente hasta alcanzar el mar.

La ecuación general del balance hídrico puede expresarse, pues, de la siguiente manera:

$$\text{Lluvia} = \text{Evapotranspiración} + \text{Escorrentía} + \text{Infiltración}$$

La cantidad y proporción de cada uno de estos términos es muy variable en cada punto concreto del planeta y depende de factores tales como clima, densidad y tipo de vegetación, forma en que se realizan las precipitaciones (aguaceros, lluvia fina, etc.), permeabilidad de los terrenos superficiales, topografía, temperatura, etc. El cálculo preciso del balance hídrico requiere, por tanto, datos muy numerosos y tomados en secuencias temporales lo suficientemente largas como para atenuar las oscilaciones climáticas.

Aunque la información disponible en Galápagos es fragmentaria y limitada, ello no impide que se pueda abordar una estimación provisional que oriente en la resolución del problema

## ¿CUANTA AGUA HAY DISPONIBLE EN LAS ISLAS POBLADAS?

actual. En definitiva, lo que se trata de averiguar es la cantidad mínima de recursos hídricos subterráneos que existe en cada isla, cantidad que es igual a la del agua que se infiltra cada año:

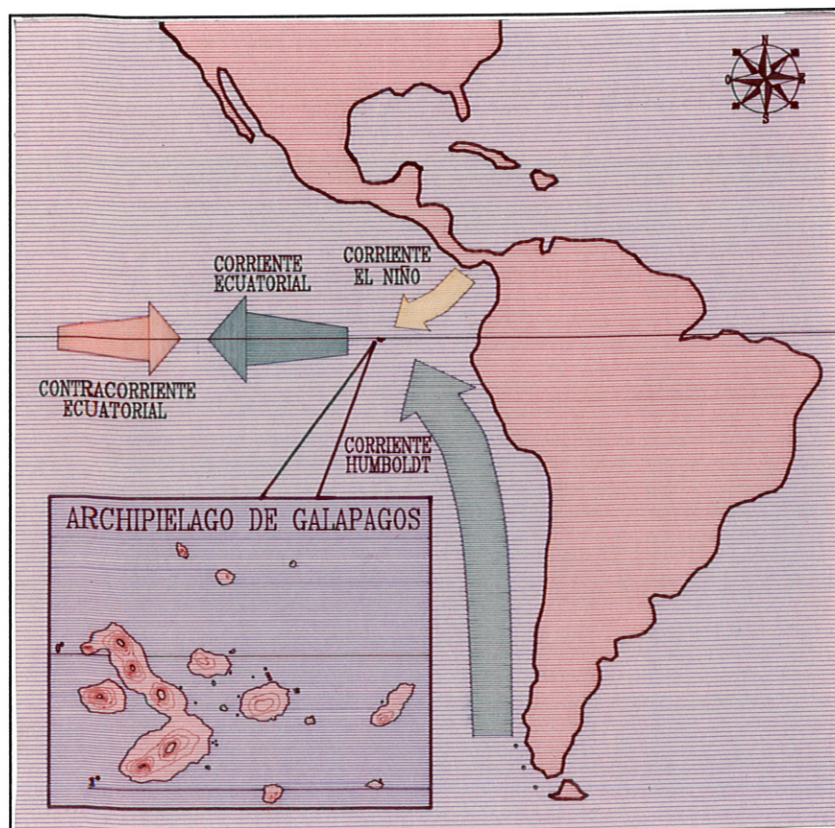
$$\text{Recursos} = \text{Infiltración} = \text{Lluvia} - \text{Escorrentía} - \text{Evapotranspiración}$$

En los apartados siguientes intentaremos calcular, aunque sea de modo aproximado, el valor de los tres últimos términos sobre la base de los datos disponibles.

### VI.2. Rasgos generales del clima

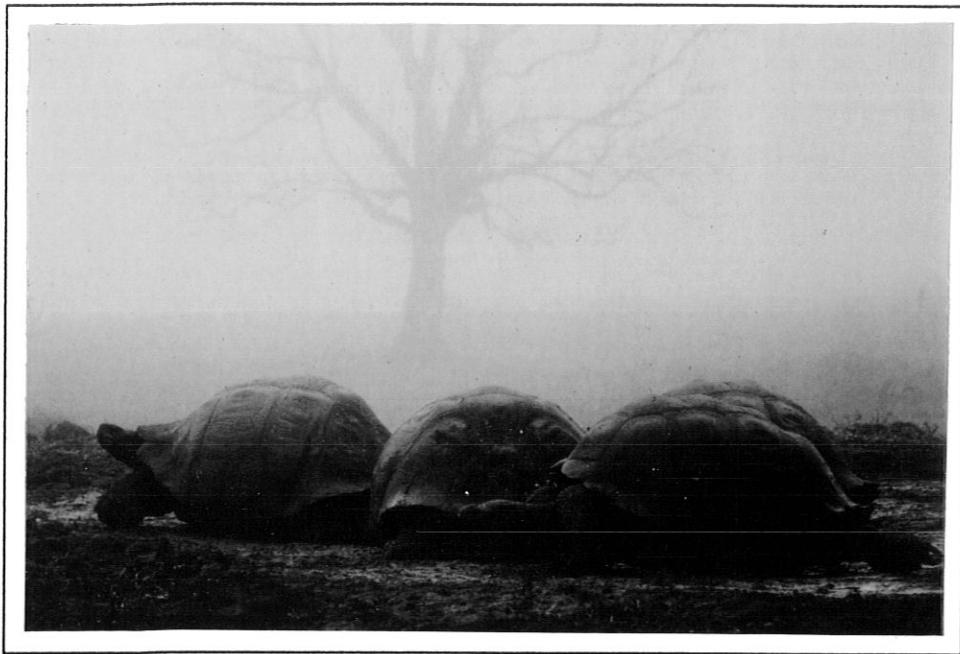
Debido a su posición geográfica, Galápagos tiene a lo largo del año dos tipos de clima muy bien diferenciados. Durante la primera mitad se produce la situación climática denominada “del Niño”, con predominio de vientos alisios húmedos y cálidos que proceden del noreste y corrientes marinas también calientes. Durante la segunda mitad del año, denominada **estación de garúa**, soplan los alisios del sureste transportando aire más frío y seco, al mismo tiempo que el archipiélago queda invadido por la corriente marina de Humboldt, que, partiendo de la Antártida, bordea la costa sudamericana del Pacífico y se curva hacia el ecuador.

En estas circunstancias, las temperaturas más altas y las máximas precipitaciones se producen en los primeros meses del año, aunque el cielo permanece despejado entre el paso de



una y otra formación nubosa. Durante la época de garúa, por el contrario, las precipitaciones se hacen mucho menores, pero hay un techo permanente de nubes bajas que, por encima de la cota 600, provoca la condensación de la humedad en la vegetación y el goteo constante de las hojas; este aporte de agua al terreno, difícil de evaluar cuantitativamente, se conoce como **precipitación horizontal** o **precipitación oculta**.

Hay que subrayar que “El Niño” no se presenta todos los años con la misma duración e intensidad. Así por ejemplo, en 1983 se produjo una modificación en la distribución de las



corrientes marinas que fue acompañada de un periodo de lluvias mucho más largo y copioso de lo habitual; el agua recogida por algunos pluviómetros superó los 5.000 mm, que es más del doble de los registros medios. Paralelamente, la estación seca subsiguiente también se prolongó de forma anómala y algunas islas que se abastecen de aguas superficiales tuvieron que ser suministradas por barco.

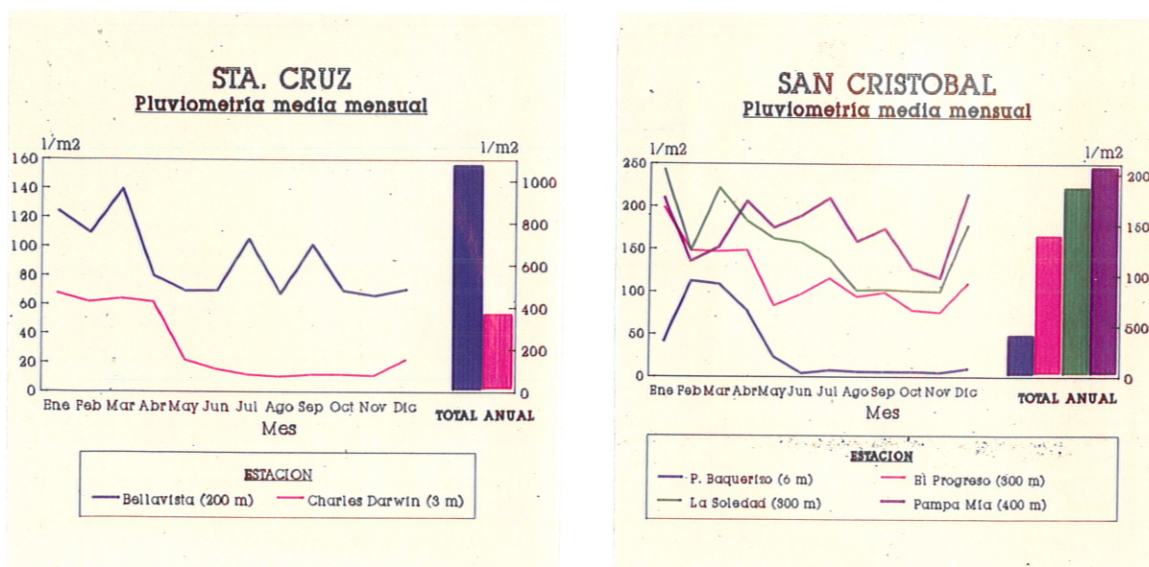
### VI.3. Precipitación

En el Archipiélago hay un total de 10 estaciones pluviométricas distribuidas en las cuatro islas habitadas: Santa Cruz, San Cristóbal, Isabela y Floreana. Algunas de las estaciones han registrado periodos de tiempo superiores a los 30 años, lo cual ha puesto de manifiesto la gran variación que pueden tener las precipitaciones de un año a otro. Así, por ejemplo, la duración e intensidad de la estación “del Niño” fue excepcional en 1983, y las precipitaciones alcanzaron valores superiores en más del doble a la media; del mismo modo, la época inmediatamente

## ¿CUANTA AGUA HAY DISPONIBLE EN LAS ISLAS POBLADAS?

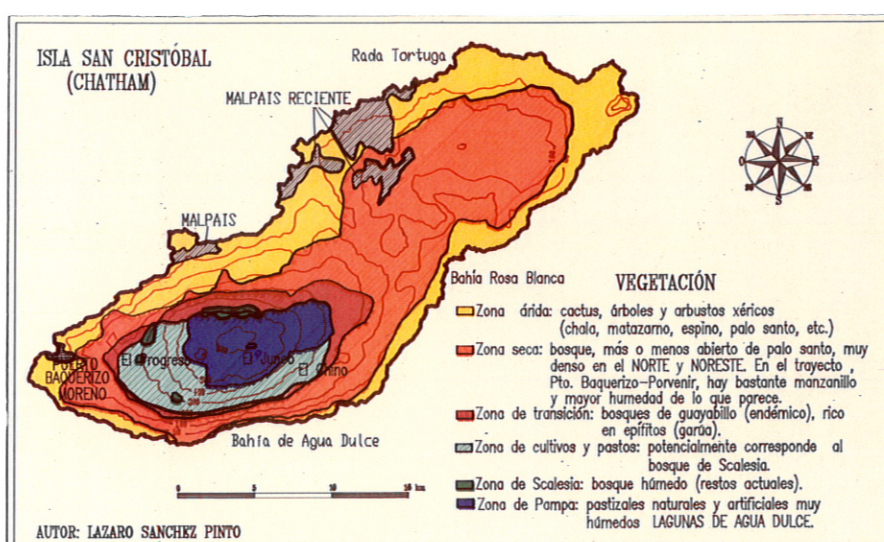
nuestros cálculos hemos prescindido de estas cifras extremas, limitándose a los valores usuales reflejados en 30 años de registros.

El número de estaciones existentes es demasiado bajo para poder elaborar mapas de isoyetas (curvas de igual precipitación), las cuales, a su vez, permiten calcular el volumen total



de agua que cae cada año en cada isla. Esta insuficiencia la hemos suplido con ayuda de un hecho mejor conocido: la distribución de los tipos de vegetación, los cuales son un reflejo de la variación climática.

Como isla-tipo se ha considerado San Cristóbal, cuya zona sur tiene cuatro pluviómetros situados en un intervalo de alturas suficientemente amplio (cotas 6, 250, 400 y 530 m); ésto ha

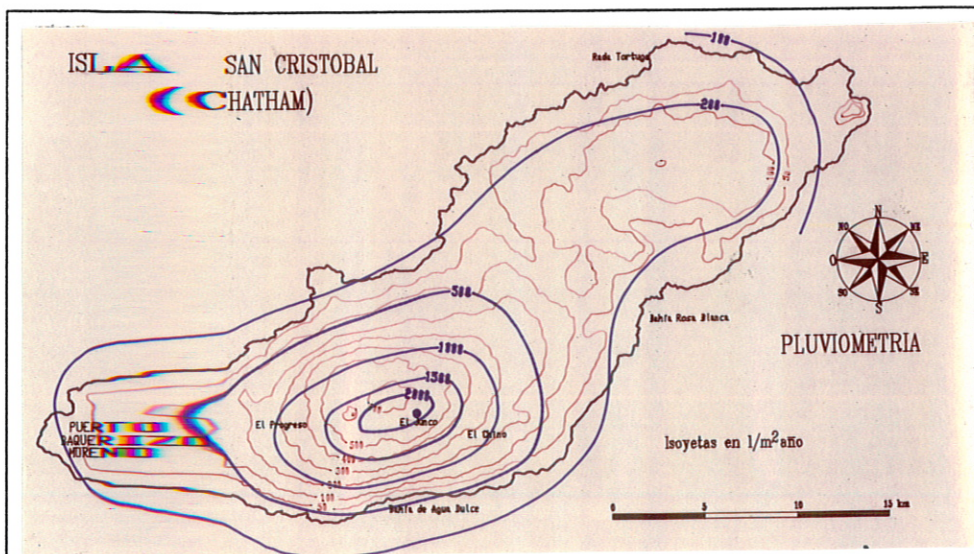
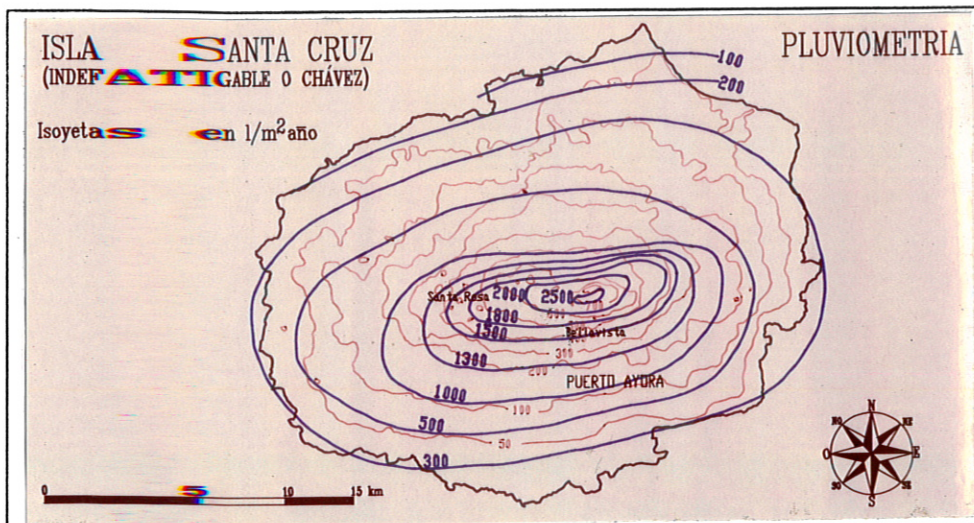
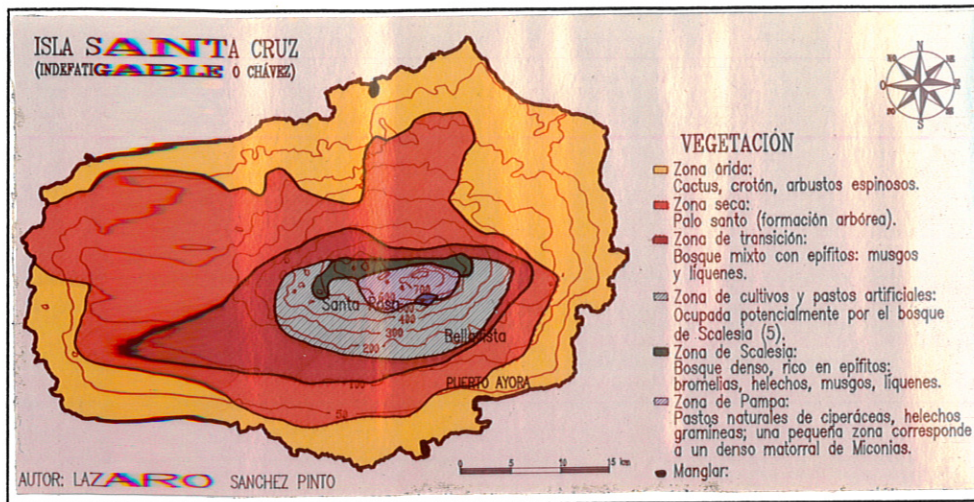


permitido conocer qué valores de pluviometría corresponden a cada franja vegetal, las cuales abarcan todo el perímetro insular. Una vez conocida esta isla, hemos extrapolado a las restantes

# ¿CUANTA AGUA HAY DISPONIBLE EN LAS ISLAS POBLADAS?

utilizando las mismas franjas vegetales y el control de los pocos pluviómetros disponibles.

Las figuras que se exponen, indican la variación de pluviometría en cada una de las islas.



## ¿CUANTA AGUA HAY DISPONIBLE EN LAS ISLAS POBLADAS?

A partir de estos datos se obtiene el volumen total de lluvia caída a lo largo de un año.

ISLA	PRECIPITACION Total m <sup>3</sup> /año	PRECIPITACION Media mm/m <sup>2</sup>	SUPERFICIE (km <sup>2</sup> )
Santa Cruz	685	700	986
San Cristóbal	316	560	560

### VI.4.Evapotranspiración

Una vez obtenidos los volúmenes de precipitación anual, se pueden obtener los valores de precipitación eficaz; esto es, aquella parte de la lluvia que, o bien va a circular sobre la superficie insular, o se va a infiltrar camino del acuífero. La precipitación eficaz es el resultado de restar a la precipitación calculada, la parte de agua de lluvia que vuelve a la atmósfera mediante procesos de evapotranspiración.

El coeficiente de evapotranspiración está sujeto a variaciones locales, estacionales y anuales; para su determinación es necesario conocer la variación de la temperatura y del grado de humedad. Al no disponer de estos datos, se ha procedido a su cuantificación por comparación con otras regiones de clima y precipitación más o menos similares. El resultado obtenido es suponer un valor medio del 50% para todas las islas.

### VI.5.Esorrentía

Una vez obtenida la precipitación eficaz, en forma de volumen anual caído sobre las islas, ésta se divide en esorrentía e infiltración. Cuanto mayor sea la permeabilidad de los terrenos mayor será la infiltración, en detrimento de la esorrentía y viceversa.

Los terrenos de las islas del Archipiélago de Galápagos se caracterizan por su elevada permeabilidad, que únicamente disminuye en las zonas de gran vegetación, por la formación de suelos. El reconocimiento de estas zonas indica la presencia de suelos limo-arenosos o limo-arcillosos que provocan la existencia de esorrentía al saturarse. Este proceso de esorrentía se localiza en las zonas altas ya que cuando se alcanzan cotas bajas se observa la inexistencia de cauces que lleguen hasta la orilla del mar. Este hecho ha sido puesto de manifiesto por los habitantes de la isla de Santa Cruz e Isabela, mientras que en la isla de San Cristóbal afirman que el agua llega hasta el mar, lo cual coincide con la presencia de barranqueras en la vertiente sur.

## ¿CUANTA AGUA HAY DISPONIBLE EN LAS ISLAS POBLADAS?

En base a todo lo expuesto y a la ausencia de datos de escorrentía, se ha evaluado que un valor mínimo de este coeficiente se puede cifrar en un 10%. Este porcentaje sobre la pluviometría es el que luego se usará para evaluar la cantidad de agua que se puede captar en las zonas altas, y que de acuerdo con las figuras 8 y 9 se puede cifrar entre 150.000 y 250.000 m<sup>3</sup>/año por km de cuenca.

### VI.6. Infiltración

Si a la precipitación eficaz se le descuenta el valor de la escorrentía se obtiene el valor de la infiltración. En el apartado anterior, se ha comentado que la escorrentía es prácticamente nula en las zonas de cota baja, por tanto, la infiltración a nivel global puede considerarse coincidente con dicha precipitación eficaz. Este valor de la infiltración es de fundamental importancia, ya que va a indicar cuál es la cantidad de recursos subterráneos disponibles en cada isla.

Por todo lo expresado hasta aquí, se puede concluir que la infiltración representa un valor próximo al 50% de la pluviometría total. Por tanto, los volúmenes anuales infiltrados en las dos islas más pobladas del Archipiélago de Galápagos son:

ISLA	PRECIPITACION (hm <sup>3</sup> /año)	INFILTRACION (hm <sup>3</sup> /año)
<b>Santa Cruz</b>	685	342
<b>San Cristóbal</b>	316	158



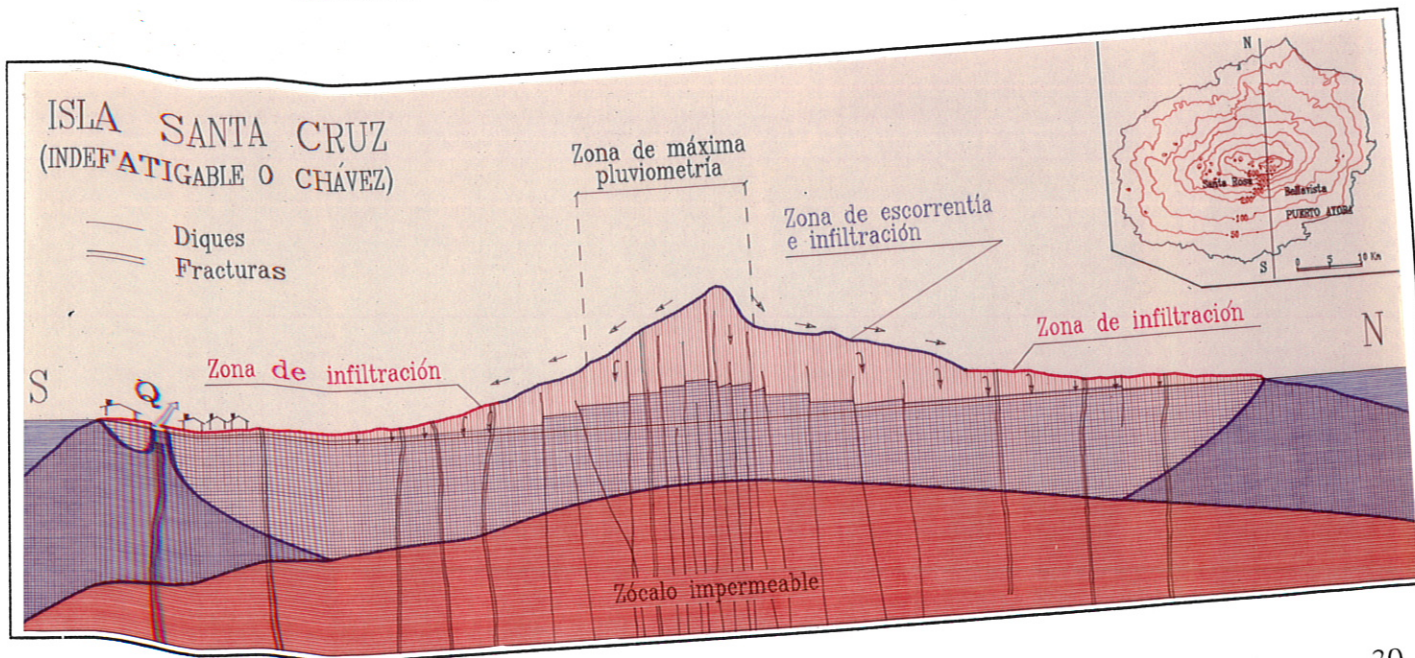
**VII. ¿COMO SE  
DISTRIBUYE  
EL AGUA  
SUBTERRANEA?**

## VII.1. Circulación del agua subterránea

Con el balance hídrico hemos estimado la cantidad media de agua que se infiltra cada año en cada isla; esta cifra es crucial porque equivale al volumen máximo de recursos subterráneos disponibles. Sin embargo, y dado que la extracción de estos recursos no debe hacerse al azar, hay que describir someramente cómo se verifica la circulación del agua en el subsuelo.

Al principio, en la parte alta del subsuelo, el agua desciende por los poros y grietas de las rocas siguiendo trayectorias no muy diferentes de la vertical. Más tarde, a mayor profundidad pero siempre sobre el nivel del mar, alcanza una zona en donde ya todos los huecos disponibles están llenos de agua, por lo que se denomina **zona saturada** o también **acuifero**. Una vez en ella, la **circulación** se hace más lenta y horizontal y el agua comienza a dirigirse hacia el océano por el **camino** que le resulta más fácil, que no siempre es el más corto al estar condicionado por las **irregularidades** geológicas del subsuelo.

En la línea de costa, la superficie del acuifero coincide con el nivel del mar, donde descarga;



es por ésto que en algunos lugares se observan salidas de agua dulce o salobre durante la marea baja. El techo del acuífero, denominado **superficie freática**, va ascendiendo suavemente hacia el interior de cada isla y alcanza su máxima altura en el área en que son mayores las precipitaciones. En el caso de Galápagos, la configuración concreta de la superficie freática no se conoce porque no existen apenas pozos o sondeos que la hayan intersectado.

Independientemente de cuál sea la geometría de la zona saturada, el hecho esencial es que el tamaño del acuífero tiende a mantenerse constante o a sufrir variaciones estacionales ligeras, constituyendo el **volumen insular de reservas hídricas**. Esta constancia es debida a que en la zona saturada se verifica un incesante intercambio de agua, y la cantidad que se infiltra anualmente viene a ser compensada por una cantidad igual que se descarga en el mar o que es extraída por las captaciones: el acuífero actúa solamente como depósito regulador. El agua circulante es lo que se conoce como **recursos hídricos renovables**, ya que pueden ser explotados sin que se modifiquen las reservas.

Aparte de cómo circula y dónde se almacena el agua en el subsuelo, es necesario hacer algunos comentarios sobre las características químicas del agua, pues la calidad del líquido puede variar de una captación a otra. El agua que circula por el subsuelo nunca es esa sustancia pura que se representa con la fórmula  $H_2O$ , ya que en su recorrido disuelve e incorpora elementos que proceden de las rocas atravesadas. La cantidad de sales disueltas depende, por una parte, del tiempo que haya permanecido el agua en el acuífero - a mayor tiempo, más sales -, pero por otra, y en mucha mayor medida, es consecuencia de la propia capacidad del agua para reaccionar con la roca. Esta capacidad de reacción, que usando un término expresivo podemos denominar "agresividad", aumenta notablemente con la presencia de gases magmáticos ( $CO_2$ , en particular), los cuales son mucho más abundantes en las zonas de actividad volcánica reciente o latente.

La existencia de  $CO_2$  repercute muy desfavorablemente sobre la calidad del agua, pues, al combinarse con ésta, se transforma en ácido carbónico, el cual, a su vez reacciona en corto tiempo con la roca para dar bicarbonatos. Estos últimos permanecen en disolución y pueden llegar a alcanzar tal proporción que hacen inviable el uso del líquido para consumo doméstico o agrícola. Por esta razón, no sólo es importante saber cómo circula el agua y en qué cantidad, sino también qué calidad cabe esperar en cada zona; como norma práctica, hay que evitar situar pozos en la proximidad de centros volcánicos recientes.

Hay que mencionar, finalmente, que en el subsuelo no sólo hay agua dulce: en la franja litoral, el acuífero se encuentra flotando sobre agua salada de procedencia marina, y el bombeo excesivo en cualquier pozo hará ascender de forma irreparable el agua salada, contaminando el acuífero y deteriorando su calidad por un largo periodo de tiempo. Esta es la razón de que el régimen de extracciones de una determinada zona deba ser planificado para adaptarlo a la disponibilidad real de recursos, de modo que éstos ni se agoten ni se deterioren de forma irreparable.

### VII.2. Condicionamientos geológicos.

A grandes rasgos, la circulación del agua en la zona saturada debe tender a ser radial en cada isla, es decir, divergente hacia el mar desde la zona en que el acuífero está más alto, que es precisamente la proyección vertical del área de mayor pluviometría. Más en detalle, el camino seguido está condicionado por las irregularidades geológicas del subsuelo.

Los factores geológicos que influyen en la circulación en el interior de islas volcánicas pueden llegar a ser extremadamente complejos si la historia del volcanismo abarca períodos de tiempo muy dilatados, con alternancia de fases de actividad e inactividad. Esto es así porque los materiales, muy porosos cuando son jóvenes, van perdiendo progresivamente permeabilidad por compactación y alteración, de forma que, después de algunos millones de años, pueden convertirse en terrenos completamente estancos. En este caso, la distribución aleatoria en el subsuelo de unidades de muy variada permeabilidad, complica el esquema hidrogeológico hasta el punto de convertir la exploración hidráulica en una operación costosa que requiere numerosos sondeos de reconocimiento.

En el caso de Galápagos, las cosas parecen ser más simples a causa de la juventud de los terrenos, que en su porción emergida no superan los 3 millones de años en las islas más antiguas, como San Cristóbal. Los terrenos volcánicos de esta edad que existen en Canarias conservan una buena permeabilidad, y no hay razón física para que no ocurra lo mismo en Galápagos. En consecuencia, podemos suponer que en este último archipiélago hay una permeabilidad extremadamente alta en superficie (materiales muy jóvenes), lo cual concuerda con la ausencia de esorrentía, y que esta permeabilidad tiende a decrecer ligeramente con la profundidad.

En ausencia de basamento impermeable, dos son los factores a tener en cuenta en el



movimiento horizontal del agua dentro de la zona saturada: los diques y las fracturas tectónicas abiertas. Ambos son verticales, pero mientras que los primeros actúan como pantallas impermeables o semipermeables que dificultan el flujo lateral del agua en dirección perpendicular a ellos, las segundas son exactamente lo contrario, pues funcionan como vías preferentes de circulación.

Teniendo todo esto en cuenta, el mecanismo hidrogeológico de las islas visitadas puede ser esquematizado como sigue:

### VII.2.1.San Cristóbal.

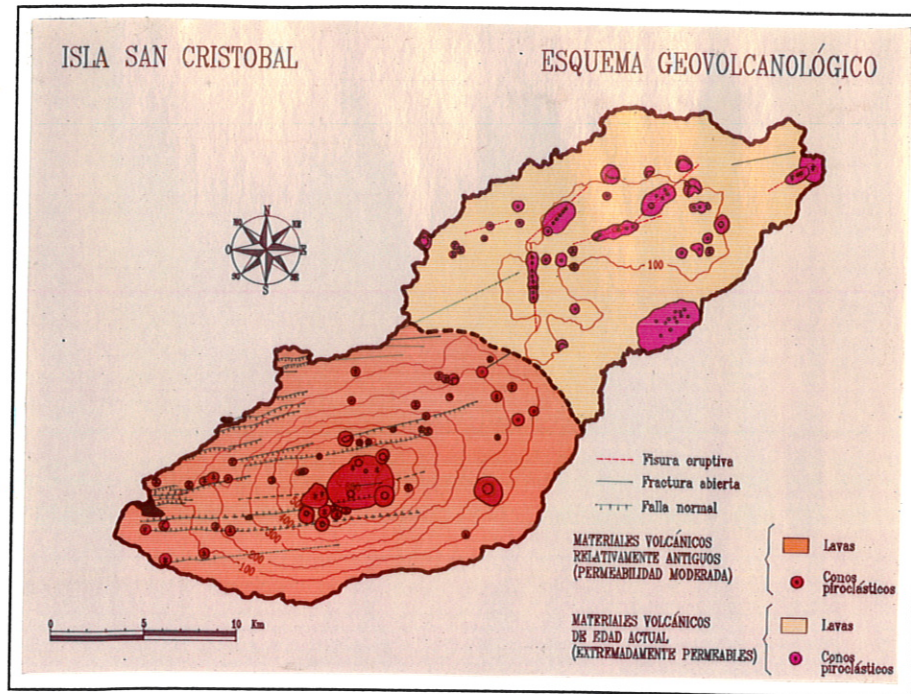
Aparte de la planicie septentrional, constituida por las lavas actuales, es una de las islas consideradas como más antiguas; de hecho, la morfología volcánica de superficie es difícilmente reconocible. Esta antigüedad, unida a las circunstancias climáticas, ha favorecido la alteración de los terrenos, lo que a su vez ha inducido una cierta pérdida de permeabilidad. El recubrimiento de suelo es mayor que en otras islas, al menos en la zona de cumbres, afectada durante la época de garúa por una humedad permanente que estimula la meteorización.

Todos los factores mencionados repercuten en un aumento del índice de escorrentía en las partes más elevadas, con establecimiento de una red hidrográfica incipiente por la que circula una cierta cantidad de agua durante el periodo de lluvias, si bien una porción considerable se infiltra antes de alcanzar el mar. Estas aguas superficiales son las que se aprovechan para abastecimiento de la población.

La isla parece haberse construido por emisiones volcánicas sucesivas desde una dorsal análoga a la de Santa Cruz. El cese de la actividad eruptiva no ha estado acompañado de la paralización de la actividad tectónica, de forma que las mismas fracturas que inicialmente permitieron el ascenso de magma ahora continúan operando "en seco", como se aprecia en los escarpes de falla que cortan los viejos centros de emisión.

El esquema hidrogeológico más probable es, por tanto, el de un subsuelo con permeabilidad global moderada, interrumpido por un sistema de fracturas longitudinales que actúan como vías de drenaje preferente para el flujo de las aguas subterráneas; la calidad de éstas últimas es probablemente buena, ya que en el caso del volcanismo ha debido quedar muy limitado el ascenso de CO<sub>2</sub>.

La configuración estructural y la menor permeabilidad de los terrenos sugieren que la estrategia de captación de aguas subterráneas en San Cristóbal debe ser la opuesta a Santa Cruz. En efecto, si en esta última había que eludir el sistema de fracturas (excesiva permeabilidad), en San Cristóbal es conveniente aprovecharlo con algún dispositivo subterráneo transversal que, cerca de Pto. Baquerizo Moreno, capte de manera pasiva el flujo que circula por el sistema múltiple de fracturas. Aunque, como ya se ha mencionado, en San Cristóbal se aprovechan los recursos superficiales, en principio es más conveniente garantizar una parte



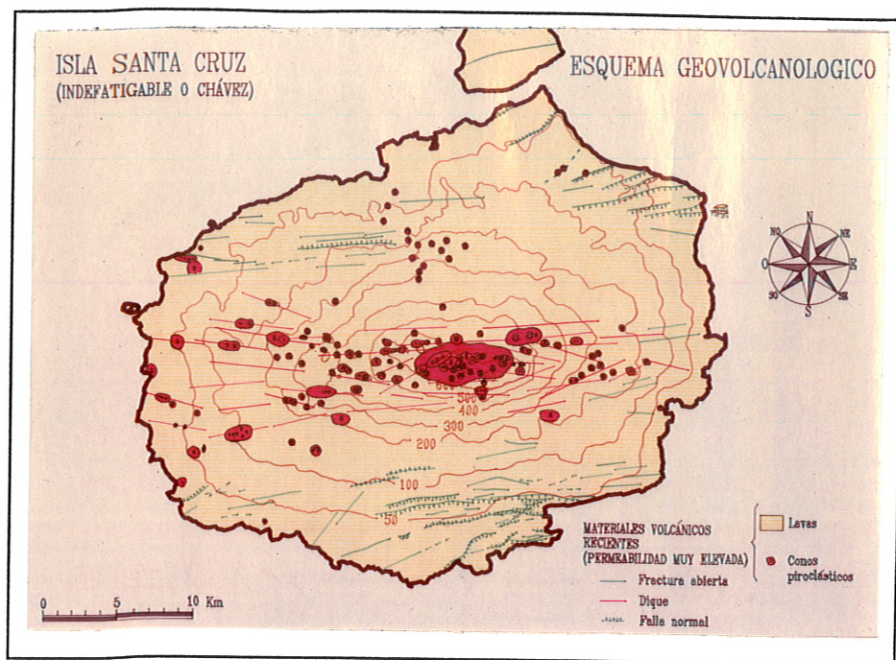
sustancial del suministro con recursos subterráneos pues éstos no se agotan en situación de sequía prolongada.

## VII.2.2.Santa Cruz.

Es una isla de edad muy reciente, pero sin erupciones históricas conocidas: la permeabilidad vertical puede considerarse muy alta.

Los centros eruptivos están dispuestos en una amplia franja de dirección E-W que se corresponde precisamente con la dorsal topográfica de cumbres; desde ella, las lavas parten hacia el norte y el sur. Las erupciones de la dorsal se han verificado a través de fisuras cuya orientación coincide con la dorsal E-W, por lo que cabe esperar un subsuelo dominado estructuralmente por un enjambre de diques de tal dirección. Por esta razón, las aguas que se infiltren en la zona de cumbres tenderán a fluir hacia el este y el oeste, controladas por la pantalla múltiple de diques verticales. Hay que señalar que, por lo reciente del volcanismo, es posible que en la dorsal se verifique un ascenso de CO<sub>2</sub> que tal vez contribuye a incrementar al contenido en bicarbonatos de las aguas subterráneas.

Fuera de la dorsal de cumbres, el número de diques disminuye sensiblemente y la circulación subterránea del agua tenderá a dirigirse hacia el mar por el camino más corto. A ambos lados de la dorsal eruptiva, pero muy cerca de la línea de costa, hay dos franjas de fracturas abiertas que constituyen ámbitos hidrogeológicos de permeabilidad excepcionalmente elevada; en la franja meridional es donde está situado el actual sistema de captación de agua potable para Pto. Ayora, principal núcleo de población de la isla. Considerando la buena permeabilidad global de la isla, la presencia de estas fracturas debe considerarse un factor



negativo, pues del mismo modo que favorecen el flujo de agua subterránea procedente de la cumbre, también favorecen la intrusión de agua marina si se bombea excesivamente en ellas.

Todo lo anterior permite orientar la estrategia de explotación hidráulica: las futuras captaciones deberán estar alejadas de la dorsal eruptiva para evitar la obtención de agua con excesivo contenido en bicarbonatos, y también deberán situarse fuera de las zonas de fracturas abiertas porque la excesiva permeabilidad aumenta el peligro de intrusión marina.

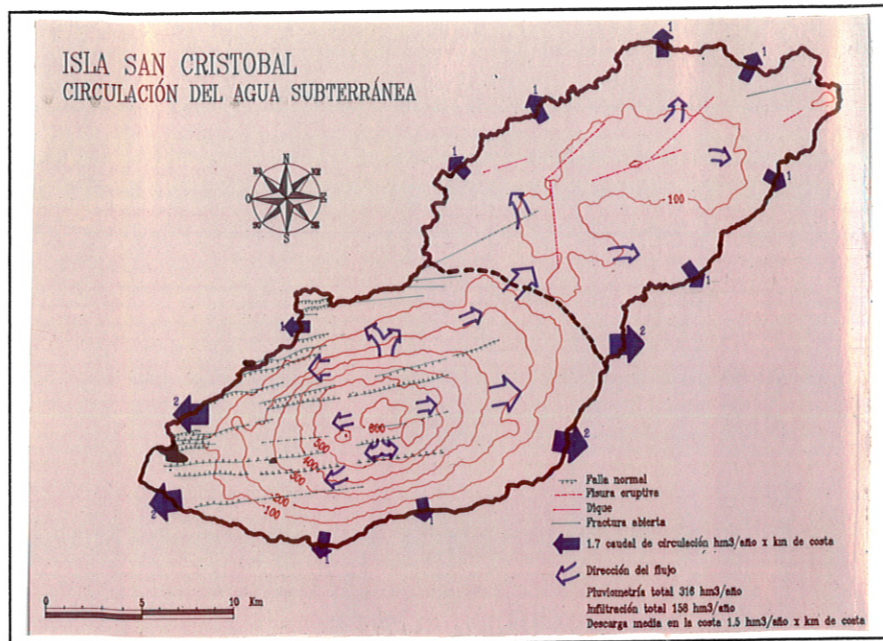
### VII.2.3. Isabela.

Pto. Villamil, único centro de población de la isla, se sitúa en la falda de un gran estratovolcán activo, caracterizado por una caldera terminal de más de 10 km de diámetro y un sistema radial de diques. La edad reciente/actual de los terrenos garantiza una permeabilidad elevadísima del subsuelo, y el flujo subterráneo del agua debe ser radial (como los diques) desde la cumbre del estratovolcán, que es la zona de máxima pluviometría. Es muy posible que la calidad del agua no sea excesivamente buena, ya que el volcanismo activo aporta sin duda algo de CO<sub>2</sub> al acuífero.

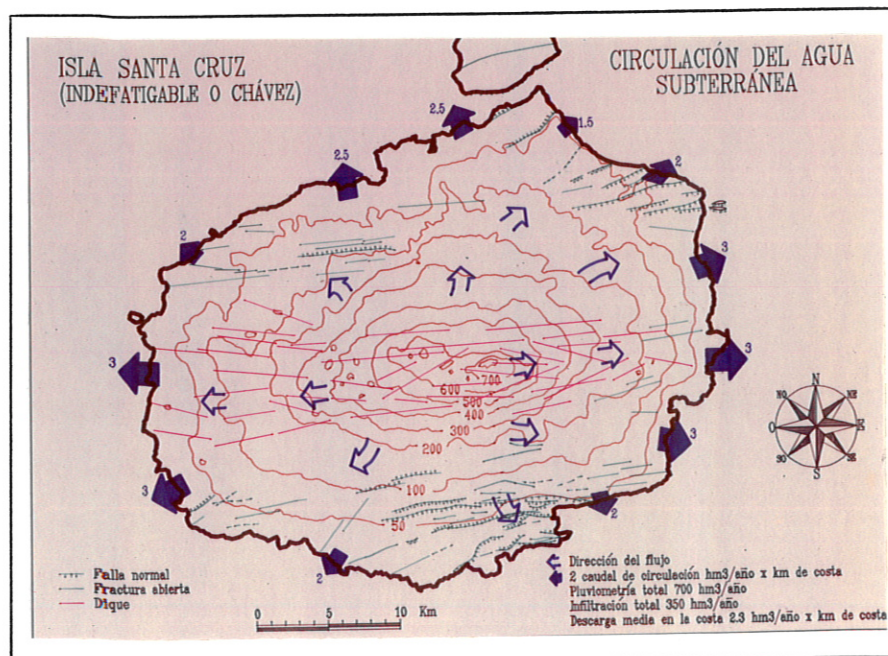
Las copiosas precipitaciones de la zona aseguran un buen caudal de extracción en cualquier captación que se realice; la única precaución a tomar reside en situar la obra a una distancia de la costa lo suficientemente grande, de modo que se eliminen o atenúen los riesgos de intrusión marina.

## VII.3. Cálculo de los recursos hídricos subterráneos.

Los acuíferos insulares son sistemas en equilibrio dinámico, y el volumen de agua que entra es igual al que sale, esto es, la recarga por infiltración coincide exactamente con la descarga del acuífero al mar. Por este motivo, y dado que la circulación es prácticamente radial,



el volumen de agua que circula por el subsuelo se va incrementando hacia la costa, a la vez que la sección que atraviesa también aumenta. En la zona costera, el caudal de descarga al mar será





## ¿COMO SE DISTRIBUYE EL AGUA SUBTERRANEA?

igual al volumen total anual infiltrado en la isla dividido por la longitud de la línea de descarga (envolvente de la línea de costa).

De esta forma se obtiene el caudal de descarga al mar por unidad de longitud transversal al flujo. Este valor, que para las dos islas más pobladas se indica en el cuadro siguiente, proporciona también un límite máximo del caudal de bombeo que se puede extraer del acuífero sin que por ello se produzcan procesos de intrusión marina. Con objeto de asegurar aún más que estos procesos de intrusión no se puedan producir, y que con ello se preserven las características químicas de las aguas extraídas, es más recomendable emplazar las captaciones en zonas alejadas de la costa.

A partir de los valores de la descarga al mar, suponiendo radios de influencia del bombeo de 300 metros, se pueden determinar los caudales máximos de bombeo de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$Q_{\text{máx}} = D \times R \times \mu$$

Siendo:

D = descarga al mar o flujo de circulación subterránea

R = radio de influencia del bombeo

$\mu$  = coeficiente de rendimiento de la captación

De acuerdo con esta fórmula, los valores que se obtienen son:

ISLA	INFILTRACION (hm <sup>3</sup> /año)	DESCARGA AL MAR (hm <sup>3</sup> /año x km de costa)	CAUDAL MAX. DE EXTRACCION POR CAPTACION
San Cristóbal	158	1-2	7-15 l/s
Santa Cruz	342	2-3	15-25 l/s

Los caudales máximos de extracción indicados corresponden al caudal máximo de bombeo para cada pozo, siempre que su separación sea superior a los 600 metros (dos veces el radio de influencia). El hecho de limitar este caudal deja completa libertad al régimen de producción. Estos datos deben considerarse como orientativos, y el valor final de los caudales máximos de bombeo, se deberán fijar una vez perforado el pozo, efectuando un ensayo de bombeo de larga duración.

**VIII. DEFINICION DE LAS  
OBRAS DE  
CAPTACION  
QUE PUEDEN  
SATISFACER LA  
DEMANDA DE AGUA  
ACTUAL**

## DEFINICION DE LAS OBRAS DE CAPTACION QUE PUEDEN SATISFACER LA DEMANDA

### VIII.1.Necesidades y disponibilidades

En principio y a falta de estudios que lo aseguren, las necesidades de agua del Archipiélago de Galápagos son:

DEMANDA ISLA	URBANA (m <sup>3</sup> /año)	TURISTICA (m <sup>3</sup> /año)	AGRICOLA (m <sup>3</sup> /año)	TOTAL (m <sup>3</sup> /año)
San Cristóbal	266.450	47.250	500.000	813.700
Santa Cruz	386.900	110.250	600.000	1.097.150
Isabela	73.000	27.000	130.000	230.000

La disponibilidad de agua subterránea, esto es, el volumen de recursos que anualmente circulan por el subsuelo, y a partir del cual se determina qué producción anual es posible obtener de un pozo de gran diámetro, es, para cada una de las islas:

ISLA	DESCARGA AL MAR (hm <sup>3</sup> /año x km de costa)	CAUDAL MAX. EXTRACCION (l/seg)	PRODUCCION ANUAL POZO (m <sup>3</sup> /año)
San Cristóbal	1 - 2	7 - 15	200.000-400.000
Santa Cruz	2 - 3	15 - 25	400.000-700.000

## **DEFINICION DE LAS OBRAS DE CAPTACION QUE PUEDEN SATISFACER LA DEMANDA**

### **VIII.2. Captación de agua para abastecimiento y turismo.**

De ambos cuadros, se deduce que la demanda de agua para el abastecimiento urbano y turístico de las islas, se puede cubrir con la explotación de un solo pozo de gran diámetro en cada una de ellas. El cálculo teórico realizado tiene que ser comprobado con un ensayo de bombeo, ya que estos valores deben ser considerados aproximados y como valores medios, sujetos a variaciones locales que pueden disminuir o aumentar esta aproximación. Tal sería el caso en el que el nivel freático captado por el pozo coincidiera con un cono enterrado, donde por alteración disminuyera la permeabilidad, o con la presencia de fallas que la aumentarían. Por este motivo y una vez efectuado el ensayo de bombeo, se podría acondicionar el pozo realizando una galería de fondo, si es que el caudal máximo de extracción fuese insuficiente; o limitar la profundidad del pozo, por encima del nivel del mar, si hubiese un exceso de disponibilidad de caudal.

El pozo a ejecutar debe ser entonces de tres metros de diámetro, tal y como se realizan en Canarias, ya que este diámetro permite la posibilidad de trabajar en el fondo. En el caso de que se optase por sondeos de gran diámetro, habría entonces que pensar en 2 ó 3 sondeos para cada una de las islas más pobladas y separados entre ellos alrededor de 1000 metros.

Los lugares de emplazamiento estarían en las proximidades de los núcleos de Puerto Ayora y Puerto Baquerizo Moreno, próximos a las carreteras que se dirigen a las cumbres y por encima de la cota 100. En principio, la profundidad del pozo debe fijarse para que alcance, y nunca supere, la cota cero correspondiente al nivel del mar. Con estas premisas y fijando el caudal máximo de bombeo después del imprescindible ensayo, se asegura que las características químicas del agua del pozo, y con ellas su calidad, permanecerán sin modificación alguna. Tal y como se deduce de lo expuesto en este informe, la calidad del agua del subsuelo debe ser excelente debido a su baja mineralización. Esto es el resultado de la alta permeabilidad de los materiales y de que, por tanto, la circulación del agua en el subsuelo debe presentar una velocidad alta, con lo que el grado de mineralización debe ser muy bajo. No obstante, debe tenerse en cuenta la posibilidad de la existencia de aportes de dióxido de carbono que - como ya se ha comentado - pueden provocar la presencia de aguas carbonatadas. Para evitar esta posibilidad, antes de comenzar la perforación del pozo definitivo, debería ejecutarse un sondeo de pequeño diámetro con el que se determinen las características químicas del agua.

Esta última recomendación cabe extenderla a todas las islas, y una vez determinados los parámetros, el emplazamiento del pozo deberá fijarse a unos 100 o a lo sumo 200 metros del

## **DEFINICION DE LAS OBRAS DE CAPTACION QUE PUEDEN SATISFACER LA DEMANDA**

sondeo de pequeño diámetro, para que éste sirva como piezómetro de control.

Cabe mencionar que para la demanda urbana de la isla de San Cristóbal se ha optado por la construcción de un pozo en vez de la posibilidad de aumentar la captación actual de aguas superficiales. Esto ha sido debido a un doble motivo: uno es que hacer depender el abastecimiento urbano y turístico de un acuífero, es más seguro que no la captación de aguas superficiales dependientes de la pluviometría, tan sujeta a variaciones como las que se producen en la época del Niño; el otro es un factor económico, pues el coste de un pozo de algo más de 100 metros de profundidad (entre 10 y 20 millones de pesetas) es mucho más barato que una balsa de almacenamiento como las de Canarias (200 millones para almacenar 200.000 m<sup>3</sup>).

### **VIII.3. Captación de agua para la agricultura.**

En el presente informe se ha comentado que la demanda de agua para la agricultura puede verse satisfecha a partir de las aguas superficiales. Se ha evaluado cuál puede ser esta demanda, aunque como se comenta en el Anejo correspondiente, son cifras estimativas, debido a diferentes motivos, entre ellos cabe citar:

- Los datos meteorológicos son claramente insuficientes para estimar con exactitud las necesidades de los cultivos en las distintas zonas climáticas.
- La demanda agrícola no es continua, pues su mayor necesidad de agua está originada por la ausencia de riegos de apoyo en la época seca.
- El paulatino abandono del sector agrícola por emigración de mano de obra hacia el sector turístico.

Según se ha definido en el apartado correspondiente, la aportación a partir de la escorrentía por encima de la cota 300 y en las vertientes sur de las islas, puede oscilar entre 150.000 y 250.000 m<sup>3</sup>/año por kilómetro cuadrado de cuenca (cálculo basado en un coeficiente de escorrentía del 10%). La forma de aprovechamiento de estas aguas es a partir de tomaderos en los barrancos y conducción hasta un depósito de almacenamiento. La técnica constructiva de este último, se podría realizar de forma similar a la de las balsas construidas en Canarias; es decir, con una lámina de recubrimiento impermeable que asegure la estanqueidad que no tiene el terreno de las islas Galápagos.

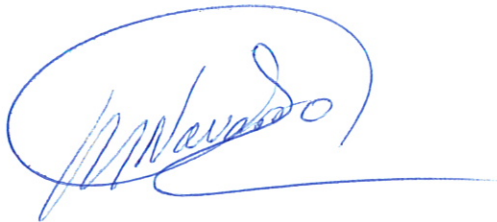
Teniendo en cuenta los valores obtenidos para satisfacer las necesidades agrícolas de agua,

## **DEFINICION DE LAS OBRAS DE CAPTACION QUE PUEDEN SATISFACER LA DEMANDA**

serán necesarias unas cuencas de aportación de 2,5 - 4 km<sup>2</sup> para la isla de Santa Cruz, de 2-3,5 km<sup>2</sup> para San Cristóbal y de menos de 1 km<sup>2</sup> para Isabela.

Santa Cruz de Tenerife (España), a 4 de Noviembre de 1.991

### **LOS AUTORES DEL INFORME**



Fdo.: J.M. Navarro Latorre  
Geólogo



Fdo.: Carlos Soler Licerias  
Ingeniero de Caminos,  
Canales y Puertos.

### **Vº Bº EL DIRECTOR GENERAL DE AGUAS**



Fdo.: J. Jiménez Suárez.  
Ingeniero de Caminos,  
Canales y Puertos.