

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/255950036>

Singularidades de las obras hidráulicas para abastecimiento de agua potable en medios volcánicos. El caso del archipiélago Canario. España

Conference Paper · January 2008

DOI: 10.13140/RG.2.1.1.2737.3681

CITATIONS

6

READS

437

2 authors:



Juan Carlos Santamarta
Universidad de La Laguna

327 PUBLICATIONS 694 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Jesica Rodríguez-Martin
Universidad de La Laguna

93 PUBLICATIONS 245 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

SINGULARIDADES DE LAS OBRAS HIDRAULICAS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN MEDIOS VOLCANICOS. EL CASO DEL ARCHIPIELAGO CANARIO. ESPAÑA.

Santamarta Cerezal, Juan Carlos¹ / Rodríguez Martín, Jessica²

1. Ingeniero de Montes e Ingeniero Técnico de Obras Públicas, Hidrología. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil e Industrial. Universidad de La Laguna. Tenerife. Islas Canarias. España.
Avenida. Astrofísico Francisco Sánchez s/n. La Laguna 38200 Tenerife. (+34) 699 69 06 07
jcsantamarta@caminos.upm.es
2. Ingeniera de Caminos Canales y Puertos. SATOCAN SA. Urbanización Jardines de Guajara, s/n
Autopista Santa Cruz - La Laguna, km 7 - 38205 La Laguna Tenerife. (+34) 661213268
jrodriguez@satocan.com

RESUMEN

Las Islas Canarias es un archipiélago de origen volcánico situado en el océano atlántico y cercano a la costa africana, particularmente del desierto del Sáhara, perteneciente al reino de España. En el continente Europeo las aguas subterráneas constituyen, una de las mayores reservas de agua dulce continental. Presentan una amplia distribución territorial y son asequibles de forma relativamente fácil, económica y segura ya que, en general, están libres de gérmenes patógenos pero se da la circunstancia que en España, el agua subterránea sólo supone el 22%, pero en Canarias básicamente supone un 85%, de ahí la importancia de este recurso, el otro porcentaje lo está asumiendo poco a poco la desalación por osmosis inversa más un mínimo porcentaje la captación superficial principalmente destinado a la agricultura. Los recursos hidráulicos en Canarias son muy difíciles de aprovechar, acuíferos muy profundos, barrancos con aguas torrenciales y de difícil represamiento, el agua en Canarias es costosa, lo que ha originado una ingeniería hidráulica para captar el recurso única en el mundo, siendo este conocimiento transferible a otras islas oceánicas de origen volcánico. En el presente trabajo se hace un estudio de las singularidades de las obras más importantes para la captación de aguas incluyendo las primeras obras hidráulicas antiguas que ha conocido el archipiélago, de las cuales algunas siguen en funcionamiento, para ello se ha visitado las principales a lo largo de las siete islas de las que se compone el archipiélago indicando como afectan al balance, gestión y planificación hidráulica de cada una de ellas, por último se estudia la desalación, sus costes, ventajas e inconvenientes, indicando conclusiones sobre su viabilidad frente a la captación del recurso subterráneo en algunas circunstancias.

PALABRAS CLAVE; Obras hidráulicas, abastecimiento, islas volcánicas, desalación, planificación hidráulica

ABSTRACT

The Canary Islands is an archipelago of volcanic origin located in the Atlantic Ocean and near the African coast, particularly the Sahara Desert, belonging to the kingdom of Spain. Groundwater is one of the largest freshwater reserves mainland. They have a wide geographical distribution, and are relatively easily affordable, economical and safe as they are generally free of pathogens but given the fact that in Spain, groundwater

accounts for only 22%, mainly reflecting an Canarias 85%, hence the importance of this resource, the other percentage is gradually assuming desalination by reverse osmosis plus a minimum percentage uptake surface mainly for agriculture. The water resources in the Canarias are very difficult to build, very deep aquifers, ravines with torrential waters and difficult embalming. Water is expensive in the Canary Islands, which has resulted in hydraulic engineering to capture the action only in the world, this knowledge being transferred to oceanic islands of volcanic origin. In this paper is a study of the peculiarities of the most important works for the catchment including the first waterworks old who has known the archipelago, some of which are still in operation, for which we had visited the major over the seven islands that make up the archipelago indicating as affecting the balance sheet, management hydraulic and planning of each, finally explores desalination, their costs, advantages and disadvantages, indicating conclusions about its viability compared to the acquisition of the resource underground in some circumstances.

KEYWORDS; Hydraulic, supply, volcanic islands, desalination, water planning

INTRODUCCIÓN. EL AGUA EN CANARIAS.

Las Islas Canarias están situadas entre los 27° y 29° de latitud norte y los 13° y 18° de latitud oeste, por la que debería tener una climatología subtropical-desértica con pocas precipitaciones. En realidad está compensada por la influencia oceánica, el régimen de alisios, las corrientes marinas y por su orografía, altitud y vegetación. Su origen es netamente volcánico. Su discontinuidad insular, con diferentes grados de aridez, orientación, topografía y vegetación entre islas, causa de pluviometrías muy diversas y con frecuencia escasas. Condiciones meteorológicas que empeoran de Oeste a Este y de mayor a menor altitud. Su población, muy variable de una isla a otra, que supera en su conjunto los 1,9 millones de habitantes con una tasa de crecimiento anual positiva y por encima de la media nacional, con una creciente calidad de vida de sus habitantes que demandan cada vez más agua para uso doméstico y urbano. Su afluencia turística anual de unos 10 millones de personas, en continuo crecimiento, con una estancia media del orden de 10 días y cuya demanda de agua por persona quizá sea superior al resto de la población residente, unos 500 litros por habitante y día.

ISLA	Uso urbano	Uso turístico	Uso industrial	agricultura	pérdidas
Lanzarote	26	40	3	23	7
Fuerteventura	29	48	4	11	9
Gran Canaria	32	11	4	43	9
Tenerife	27	10	5	49	9
La Gomera	9	9	0	69	13
El Hierro	23	3	1	63	9
Las Palmas	8	2	0	77	13

Tabla 1 Distribución sectorial del agua en Canarias.(datos en %).Fuente: Centro Canario del Agua y elaboración propia.

Tradicionalmente se recurría sólo a las aguas superficiales de manantiales y arroyos para satisfacer la demanda de agua. En la actualidad prácticamente no existen corrientes permanentes, salvo en la Isla de La Palma o La Gomera , con una pluviometría cercana a la media peninsular, Aunque algunos manantiales crean arroyos, el régimen pluviométrico y la demanda de aguas subterráneas, no facilita la presencia de aquellos.

Desde mediados del siglo pasado, la implantación de la agricultura de regadío, principal motor económico de Canarias hasta su sustitución por el turismo en los años 60, hizo que se iniciara a partir de 1910 una política de construcción generalizada de presas. La Presa de Pinto, en el municipio de Arucas, en Gran Canaria, es la construcción hidráulica, con categoría de Gran Presa, más antigua. Data su terminación de 1910 y con unos 33 m. de altura, sólo almacena 120.000 m3. La "Edad de Oro de las Presas" se extiende desde la década de los "60 hasta finales de los 70" en la que se construyeron unas 46, dándose la circunstancia de que la Isla de La Gomera es el primer lugar del mundo con mayor número de presas por kilómetro cuadrado.

El archipiélago Canario obtiene sus recursos hidráulicos principalmente del subsuelo , en creciente importancia y cantidad cuanto más nos acercamos a las islas occidentales, en las islas orientales , por la escasez del recurso, erosión y la evapotranspiración se abastecen principalmente por desalación de aguas de mar, de hecho la primera desaladora se instaló en Lanzarote en los años 60.

ISLA	PLUVIOMETRIA	EVAPOTRANSPIRACION	ESCORRENTIA	RECARGA
Lanzarote	134,00	129,40	1,30	3,30
Fuerteventura	183,70	164,60	4,90	14,20
G. Canaria	466,00	304,00	75,00	87,00
Tenerife	865,00	606,00	20,00	239,00
La Palma	518,00	238,00	15,00	265,00
La Gomera	140,00	69,00	8,00	63,00
El Hierro	95,20	69,50	0,30	25,40
Totales	2.401,90	1.580,50	124,50	696,90

Tabla 2 Datos hidrológicos del archipiélago Canario. Fuente PHI de los diferentes Cabildos. (Datos en Hm³).

ACUÍFEROS EN LAS ISLAS VOLCÁNICAS.

Brevemente se pueden establecer dos tipos de acuíferos en el archipiélago, principalmente, en las islas occidentales , tenemos los acuíferos de las vertientes que se establecen en la cota 400 hasta cerca de las zonas más elevadas de las islas, este acuífero se aprovecha mediante galerías principalmente , con pozos en Gran Canaria, con cotas de unos 500 metros. En otras islas y circunstancias, se capta el recurso también mediante pozos. El otro tipo de acuífero, más explotado , debido principalmente a que los núcleos de población y los aprovechamientos agrícolas se establecían cerca del mar , es el denominado acuífero costero, este presenta una diferencia importante con respecto aquel , le afectan las mareas , por lo tanto estamos hablando de una masa de agua dulce, que por su densidad "flota" encima de la masa de agua salada , más densa, cuya frontera entre las dos fases es una frágil zona de mezcla (interface). Este último acuífero, está más explotado que el primero y aquí es donde principalmente se producen los efectos de la intrusión marina. La interface Ghyben-Herzberg, está , según el modelo de acuífero estratificado propuesto por Carlos Soler Liceras en 1991 más profunda en un terreno volcánico que en uno sedimentario , pero añadimos a ese modelo propuesto , por ejemplo que en el caso del Golfo de Frontera , tenemos unas formaciones geológicas recientes , lo que nos

implica una permeabilidad mayor y esto se traduce en que esta interface será más vulnerable en el momento que las captaciones extraigan reservas en vez de recursos (Santamarta JC , 2007).

GALERIAS

Las galerías excavadas en Canarias se estiman en unas 1500 con un total aproximado de 2000 km. Las galerías se pueden asemejar a túneles con una reducida sección transversal. Las galerías poseen una única entrada que se adentra hacia la montaña con una ligera pendiente ascendente para poder extraer el agua por gravedad.

Durante el siglo XIX, las galerías comenzaron a excavar por agricultores en aquellas zonas donde había síntomas evidentes de agua como pueden ser manantiales. En Tenerife, a finales de los sesenta, más del 90% de las galerías actuales estaba construido. La mayor cantidad que se llegó a obtener fue de 7000 l/s a finales de los sesenta. A continuación hubo un gradual descenso de la cantidad de agua suministrada hasta ahora .

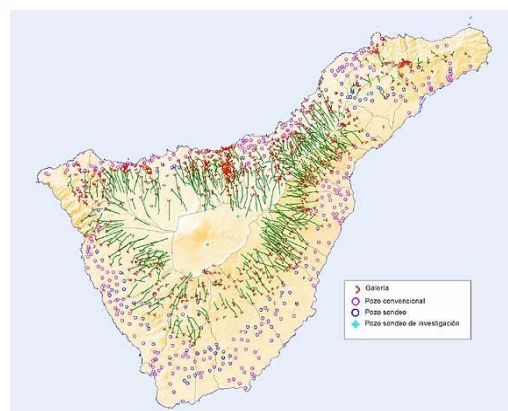


Figura 1 Situación de las galerías y pozos en la Isla de Tenerife unos 1.600 Km , prácticamente el 80% de todo el archipiélago se encuentra en esta isla. Fuente: Consejo Insular de Aguas de Tenerife.



Figura 2 Interior de una galería de agua en la Isla de El Hierro.(Santamarta,2005).

El coste para esta infraestructura viene siendo 1.526 € por metro lineal de avance de la excavación (Santamarta J, 2006) y el rendimiento suele ser de 4 metros a 6 metros por día a turnos de 24 horas, galería de 2 por 2 de sección, la longitud media de estas infraestructuras suele ser de unos 1.000 metros, aunque obviamente depende de la zona que pretendamos drenar del acuífero y lo que tardemos en encontrarlo, el rendimiento es menor en la fase húmeda (una vez que encontramos el acuífero, las condiciones son de humedad) que en la inicial seca. Por lo que el precio medio de estas infraestructuras ronda los 1.526.000 euros con un caudal medio de 35 a 75 litros por segundo, que se obtienen sin ningún bombeo posterior.

El problema que plantean estas infraestructuras es que drenan en continuo el acuífero, por lo que no pueden parar de obtener agua, para ello se han creado las balsas de agua, las cuales mediante impermeabilización por lámina bituminosa, regulan las captaciones debido a que se almacena agua que se usa en verano que es la época de mayor carestía de la misma.

La calidad del agua de esta infraestructura es generalmente excelente y mejor que la de los pozos y sondeos ya que estos últimos están influenciados por la intrusión marina y tienen más cantidad de sales, por tanto mayor conductividad eléctrica, a modo de ejemplo la Galería de los Padrones en la Isla de El Hierro tiene una conductividad media cercana a los 400 μ siemens por centímetro, con un caudal medio de 90 litros por segundo, abasteciendo la demanda de prácticamente toda la Isla de El Hierro (Santamarta J, 2007). En el caso de la galería de Ipalán la conductividad desciende a 250 μ siemens por centímetro, con un caudal de aproximadamente 45 litros por segundo, solucionado el abastecimiento a la capital de la isla.

POZOS Y SONDEOS

Las islas oceánicas suelen tener un abrupto relieve como corresponde a su proceso de formación a golpe de erupciones que discurriendo por los relieves preexistentes, aumentan la altura y la superficie de la isla. Por esta razón, los pozos generalmente se sitúan en las proximidades de la costa. Si se separan más, las profundidades donde se sitúan los acuíferos costeros de bajo gradiente hidráulico, obligarían a perforar centenares de metros. No obstante, hay islas como Gran Canaria, que presentan, en sus zonas de cumbres, pozos con profundidades que superan ampliamente los cuatrocientos metros. Otro caso de excepción lo constituye la mayoría de los pozos de Fuerteventura que se sitúan en el interior de la isla y que, por tanto, explotan acuíferos no costeros. Salvo éstos, la mayoría de los posiblemente más de 6.000 pozos que se han perforado en éste Archipiélago, extraen sus caudales de los acuíferos costeros. Así sucede en las cuatro islas de la Provincia de Santa Cruz de Tenerife, siendo éste un sistema que se mantiene en un equilibrio muy delicado y que, como veremos, basta una ligera acción perturbadora para que todo el sistema se desestabilice, provocándose en el acuífero una mezcla de aguas que degradará la calidad, generando los procesos de intrusión marina.



Figura 3 Entrada a pozo en la Isla de El Hierro (Santamarta, 2007).

La técnica canaria para perforar pozos, al igual que para las galerías, no tiene parangón en el Planeta por eso no es de extrañar que este problema de la intrusión no se hubiera intentado evitar. Y así es, en ocasiones se ven pozos en los que la bomba sumergida está metida dentro de un bidón metálico con fondo y anclado al suelo. Es una forma algo más rudimentaria pero no por ello menos eficaz, mientras dure el bidón, de lograr el mismo efecto que el conseguido en Los Padrones; de hecho éste es heredero del otro. El ingenio del canario resolvió el problema, la pena era que ese seguro de calidad restringía el caudal y se prefirió seguir bombeando caudales elevados que racionalizar el bombeo o en algunas situaciones se alarga la agonía perforando una galería de fondo huyendo de la parte del acuífero contaminada.



Figura 4 Ejecución de un sondeo en la Isla de la Gomera (Santamarta, 2008).

El coste aproximado de un metro de sondeo, en función del material que atraviese, está estimado en 583 € (Santamarta J, 2007) y es muy inferior al precio del metro de construcción de pozo, esta tecnología está desplazando a la antigua construcción de pozos por rapidez y economía, pero el problema que nos hemos

encontrado es que la correcta ejecución del sondeo depende en un porcentaje elevado, en la pericia del sondista, como rendimientos según el autor , Juan C. Santamarta si el material es suelto, sería de 8 a 10 metros al día con una jornada de 8 horas y usando la rotopercusión , sistema óptimo para este tipo de material volcánico, de lo contrario los rendimientos pueden descender de 4 a 6 metros, con un momento en la cabeza de la perforación de 50 kilogramos multiplicado por metro.

APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES. PRESAS Y BALSAS

La obtención de los recursos hidráulicos mediante infraestructuras superficiales, se hace especialmente difícil, salvo en casos puntuales como en la isla de Gran Canaria y en La Gomera, en el caso de la isla de Tenerife existió un plan de construcción de balsas para captar los recursos superficiales de los barrancos pero estos se sobredimensionaron , y las balsas construidas, han quedado como depósitos de excedentes de galerías principalmente. En la Isla de El Hierro prácticamente la escorrentía es muy escasa, por lo que su aprovechamiento es nulo , y en el caso de la Isla de La Palma existen los aprovechamientos de los nacientes como en el Barranco de Las Angustias. En el caso de Fuerteventura el aprovechamiento de estos recursos se efectúa mediante presas de embalse, presas secas o charcas, gavias, nateros y aljibes.



Figura 5 Presa de las Peñitas en la Isla de Fuerteventura , se observa que está totalmente aterrada por acarreo de materiales volcánicos en los barrancos. (Santamarta 2008).

En el caso de las presas y embalses estos son de mucha menor capacidad (de uno a 3 Hm³),en relación a los embalses continentales a igualdad de volumen de material de la presa, otros problemas que presentan las presas en este tipo de terreno son los siguientes , La poca estanqueidad del vaso, por lo que se ha comentado de la alta permeabilidad de los materiales volcánicos, salvo en islas de mayor edad y con materiales en superficie muy erosionados y alterados, el régimen torrencial de las precipitaciones, con un gran poder erosivo, lo cual hace colmatar los embalses en un periodo de tiempo muy corto como el de la figura 5.

DESALACIÓN EN EL ARCHIPIELAGO CANARIO. COSTES Y FUTURO

Como se ha comentado la primera planta desaladora de agua de mar de Canarias y de España se instaló en la isla de Lanzarote en 1964. Producía 2.500 m³/día de agua potable utilizando como proceso la MSF. El esfuerzo de las distintas

administraciones públicas y de la iniciativa privada ha permitido una producción actual de 588.057 m³ /día, en todo el archipiélago El crecimiento económico experimentado en las islas orientales no se hubiese producido sin la desalación de agua de mar. Gracias a ello el agua deja de ser un factor limitativo del desarrollo. Las previsiones del Gobierno de Canarias fijan una producción de agua desalada de 188 Hm³ en el año 2.012. Los datos actuales más relevantes sobre desalación son los siguientes (fuente Gobierno de Canarias , Dirección General de Aguas, 2008):

Isla	Nº Desaladoras	Públicas	Privadas	Producción
Tenerife	44	5	36	118.143
Gran Canaria	137	11	126	336.195
Fuerteventura	64	4	60	65.049
Lanzarote	80	0	80	62.570
La Gomera	1	0	1	4.100
El Hierro	4	4	0	2.000
La Palma	0	0	0	0

Tabla 3 Datos de la producción de la desalación en el archipiélago Canario. Fuente Gobierno de Canarias Dirección General de Aguas 2008.

El coste para estas infraestructuras en el caso Canario se define de la siguiente manera, según la capacidad de producir agua de cada instalación tomando si la instalación produce menos de 1.800 m³ al día , tenemos que tener en cuenta la economía de escala por la que se rigen este tipo de instalaciones por los que el valor medio de ejecución de la instalación sin incluir la explotación sería 2.179 euros por metro cúbico desalado (Santamarta J, 2007) , en caso de que la instalación produzca mas de 4.000 m³ al día , el valor de referencia estaría entorno a los 781 euros por metro cúbico (Santamarta J, 2007).

En el caso de la explotación de este tipo de instalaciones los costes también evolucionan como una economía de escala así tenemos que en la isla de Tenerife la desalación de un metro cúbico cuesta 0.57 € (Consejo Insular de Aguas de Tenerife, 2005) no siendo así en islas menores y con instalaciones de menor producción donde tenemos una horquilla de valores de 0,69 a 1,65 € por m³ (Santamarta J, 2006). En la península Ibérica (España continental) se mantiene un precio estable de 0.47 € por m³ incluyendo un transporte del agua a 15 kilómetros de la explotación (Torres M.,2004) , cosa que no incluimos en el estudio Canario y es de suponer que este coste es mucho mayor que en la España continental debido a lo abrupto y características morfológicas de un archipiélago volcánico.

Aunque diversos estudios sobre desalación , han llegado a unas conclusiones claras que mostraban que el agua más cara de obtener era la desalada pero su curva de costes era decreciente y en el caso de los métodos convencionales era creciente.El hecho de que haya habido una mejora en los avances técnicos en la ósmosis inversa ha reducido los costes en desalación si bien hay que tener en cuenta el incremento del combustible (100 dólares actualmente, febrero 2008) que eclipsa en cierta medida esta mejora técnica, también hay que tener en cuenta la insularidad de este tipo de islas que hace que los recursos se encarezcan más que en un terreno continental.

CONCLUSIONES

Queda demostrado que el desarrollo de las infraestructuras hidráulicas en una isla volcánica viene totalmente influenciado por el terreno, y el éxito o no de la funcionalidad de la misma depende del estudio de las condiciones hidráulicas ,geológicas y geotécnicas , en algunos casos las hidrogeológicas con mención especial a la actividad volcánica ya que esta puede arruinar un alumbramiento del recurso hidráulico por contaminación volcánica siendo esta irreversible y sin

posibilidad actual de mejorar la calidad del agua contaminada por gases volcánicos.

Por lo general los costes de ejecución y mantenimiento de una infraestructura hidráulica en un terreno volcánico es más elevado que un terreno continental, tenemos las evidencias en las conducciones, que en su mayoría y por precipitación de carbonatos aportados por las condiciones geológicas y volcánicas del archipiélago acaban obstruyéndose. Los grandes barrancos y la escarpada orografía influyen de manera notable en el incremento de los costes para la búsqueda de la solución óptima y segura. Los materiales de construcción al tratarse de islas sufren un incremento en los costes de producción y muchas veces no se dispone de los mismos y tiene que ser importados desde terrenos continentales. Otro factor que influye en el incremento de los costes de ejecución y sobre todo de mantenimiento es la permeabilidad del terreno influye directamente en la impermeabilización de las obras hidráulicas en terrenos volcánicos, sobre todo las de almacenamiento de aguas como es el caso de las balsas, mas influencia si cabe en la explotación que en la ejecución ya que por ejemplo no es permisible una fuga de más de cinco litros por segundo, al contrario que en los grandes embalses continentales.

En la fase de diseño de las obras y la planificación hidráulica no es factible usar las fórmulas aplicadas a terrenos continentales, ya que estas no contemplan la heterogeneidad del terreno volcánico dando unos errores no admisibles como por ejemplo ocurrió en el primer estudio profundo que se hizo de la hidrología del archipiélago Canario SPA-15 donde se sobreestimó el valor de la escorrentía superficial, por lo cual se siguió una política de aprovechamiento de aguas superficiales que fue un desastre, con extradimensionamiento de balsas que nunca se han llenado completamente como por ejemplo la balsa de Barlovento en la Isla de La Palma con una capacidad de 3 Hm³ pero que nunca ha alcanzado ni 1 Hm³.

La capacidad de las islas en relación a sus recursos subterráneos, no ha alcanzado su límite, por ejemplo el caso de la Isla de Tenerife, y es posible todavía hacer un aprovechamiento eficiente de los mismos a un coste razonable, sin tener que recurrir a la desalación con los costes elevados de los que se ha hablado, incluso es posible que esa agua que obtenemos del mar, la estemos perdiendo por un mal mantenimiento de las conducciones las cuales en general en el archipiélago Canario se pierden alrededor de un 15% en algún caso como en La Guancha en Tenerife se ha llegado a un porcentaje de casi un 45%. Como ejemplo se plantea el balance hidráulico de la Isla de El Hierro la más pequeña del archipiélago y con el esquema más sencillo de estudio, se observa que prácticamente lo que se desala se pierde por el mal funcionamiento de las conducciones y aunque parte se incorpora nuevamente al acuífero esto es a costa de lixiviar por los estratos contaminados por actividades antrópicas.

Oferta (Hm ³)		Demanda (Hm ³)	
Subterránea	4,360	Urbana e industrial	1,256
Desalación	0,703	Agricultura	1,800
		Pérdidas en la red	0,455
Total	5,064	Total	3,511

Tabla 4 ; Balance hidráulico para la isla de El Hierro, incluyéndose pérdidas en la red. (J. Santamarta, 2007)

En el caso de la Isla de El Hierro otro punto que se puede extrapolar a las otras islas es el consumo energético es excesivo para una isla de 10.000 habitantes la

desalación contrata casi el 6% de la potencia eléctrica de la isla y consume el 10 % de la energía eléctrica (J. Santamarta , 2005) y

REFERENCIAS

Bethencourt, JD. (2004) : Desalación y gestión hidrológica en Tenerife. Jornadas el nuevo programa de la desalación. 116-150. Madrid. España.

Custodio, E. (1997) : Situación y necesidades de formación información, observación, datos de base y divulgación sobre el agua en Canarias. Las Aguas Subterráneas en la Planificación Hidrológica en las Islas Canarias. Asoc. Intern. Hidrogeólogos - Grupo Español. Las Palmas de Gran Canaria/Barcelona: 93-100. España.

Custodio G. et al (1992) : "Hydrology of the Canary Island "V Simposio de Hidrogeología de Alicante. España.

Custodio, E. y Cabrera, M. C. (2002): ¿Cómo convivir con la escasez de agua? El caso de las Islas Canarias. Boletín Geológico y Minero, 113 (3): 243-258.

Medina San Juan, JA. (1999) : Desalación de aguas salobres y de mar. Osmosis Inversa. Edt. Mundiprensa. Madrid. España.

Roque, F. (1997) : Los recursos de agua subterránea en Canarias en su contexto general. Las Aguas Subterráneas en la Planificación Hidrológica en las Islas Canarias. Asoc. Intern. Hidrogeólogos - Grupo Español. Las Palmas de Gran Canaria/Barcelona. España

Ruano, P. y Martínez, J. (1998) : Aguas Subterráneas, captación y Aprovechamiento. 54-67. Edt. Progenisa. Sevilla. España.

Santamarta Cerezal, JC. (2007) : Medidas destinadas a la prevención de la salinización de las aguas por intrusión marina. Jornadas Académico profesionales sobre desertificación y recuperación de suelos. 71-79. Tenerife. España

Santamarta Cerezal, JC. (2007) : Los acuíferos costeros : retos y soluciones. Publicaciones del Instituto Geológico Minero de España. Serie Hidrogeología y aguas subterráneas, nº 23. pag (1085-1093).

Santamarta Cerezal, JC. (2006) : El agua en la isla de El Hierro .Desalación versus captaciones subterráneas. Ponencia III; Modelos de Gestión del agua. Congreso Internacional del Agua. Universidad de Sevilla. España.

Santamarta Cerezal JC. (2006): Restauraciones hidrológicas-forestales en barrancos volcánicos. IV Jornadas Forestales de la Macaronesia, pag 101-104. La Palma Tenerife. España

Soler Licerias, C. (1999) : Modelo de acuífero costero volcánico estratificado por densidades. XXIII Congreso Internacional A.H.I "Sobreexplotación de acuíferos". Puerto de La Cruz. España

Soler Licerias, C. (1998) Intrusión marina en el archipiélago canario. estado actual para las islas occidentales. TIAC (Tecnología de Intrusión en Acuíferos Costeros). Granada. España

Soler Licerias, C. (2004): Hidrología superficial y subterránea. pag 28-49. Edt. Universidad de La Laguna. Tenerife. España

Soler Licerias, C. (2004) : Obras Hidráulicas. pag 26-41. Edt Universidad de la Laguna. Tenerife. España