

NOTA SOBRE LA INTRUSION MARINA EN LAS ISLAS CANARIAS

Resumen

1. Introducción

2. Fuentes de información

3. Origen de la salinidad costera

4. Comentarios sobre la problemática de intrusión marina

5. Aspectos administrativos y legales

6. Estudios y actuaciones especiales y de investigación

7. Agradecimientos

8. Bibliografía

TIAC'88, Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros
Almuñécar (Granada, España). 1988

NOTA SOBRE LA INTRUSION MARINA EN LAS ISLAS CANARIAS

Emilio CUSTODIO, Dr. I. I.
Cat. Hidrología Subterránea, Dep. Ing. Terr., ETSICCP
Dir. Curso Internacional de Hidrología Subterránea
Universidad Politécnica de Cataluña
Jordi Girona Salgado 31, 08034, Barcelona.

Resumen

A partir del Estudio Científico de los Recursos de Agua de las Islas Canarias, concluido en 1972, se han venido realizando diversos trabajos en relación con la hidrología subterránea y la ordenación de recursos de agua, pero en pocas ocasiones se ha tratado en algún detalle la problemática de las relaciones agua dulce-agua salada en las regiones costeras. Por un lado resulta sorprendente que así sea ya que una parte importante de la descarga del agua subterránea se realiza directamente al mar por el perímetro de las islas, pero por otro lado es explicable dado que el sistema principal de captación es de altitud media y elevada. No obstante se tienen ya algunas ideas generales de la situación, al menos para orientar futuras actuaciones.

1 - Introducción

Las Islas Canarias son enteramente volcánicas, salvo algunos depósitos de terraza marina, aluviones o de piedemonte, a su vez derivados de materiales volcánicos. Estos materiales toman contacto directamente con el mar y por ellos existen salidas difusas de agua subterránea.

La naturaleza y las circunstancias geohidrológicas de las distintas islas es muy variable. Unas islas son altas y reciben una importante recarga por precipitaciones causadas por la intercepción de los vientos alisios húmedos, mientras que otras, principalmente Lanzarote y Fuerteventura, aún teniendo un relieve accidentado, no llegan a recibir ese efecto y son marcadamente áridas, lo mismo que lo son las zonas de baja cota y en especial los lados de sotavento de las otras islas. Ello causa una recarga muy variable de una isla a otra, y de una zona a otra en la misma isla, que puede variar en promedio anual entre casi cero (entre 1 y 10 mm) a más de 250 mm.

También la permeabilidad es muy variable con el tipo de materiales, su edad y el grado de alteración (Custodio 1978, 1985, 1988). En la costa se pueden tener desde valores superiores a los 500₃ m/día a otros de rocas prácticamente impermeables, menores de 10⁻³ m/día (Custodio, 1985). No obstante, cerca de la superficie existe normalmente una zona alterada y descomprimida

que hace que las formaciones de baja permeabilidad resulten más conductoras hidráulicamente. Además en la costa tienden a dominar materiales jóvenes, más permeables.

Durante el Estudio Científico de los Recursos de Agua de las Islas Canarias (SPA-15, 1972; Fernandopullé et al. 1975, 1975) se sentaron las primeras bases de la hidrogeología insular, en ocasiones con notable detalle, que han servido de base a otros trabajos posteriores, algunos publicados, pero muchos otros inéditos en los organismos que los han realizado.

Dado que la mayor parte de las captaciones -- en galerías muy penetrantes y pozos profundos de gran diámetro con sondeos drenantes (catas) -- son de altitud media y alta, la mayor atención se ha puesto en el estudio de los cuerpos elevados de agua subterránea con escasa atención -- en cierta manera sorprendentemente -- a la situación costera. En las áreas costeras muchas veces los estudios se han limitado a simplemente constatar la existencia o no de salinización, sin detallada atención a su evolución y origen.

Diversos trabajos generales hacen especial referencia a Canarias (Custodio, 1975, 1976, 1978, 1988).

En las islas altas, las que tienen mayores recursos de agua (Gran Canaria, Tenerife y La Palma), y en menor medida Gomera), donde la demanda de agua es muy elevada por la elevada población y notable desarrollo de la agricultura de regadío, los balances hídricos señalan claramente que existen fugas difusas al mar importantes en el conjunto, que en el momento actual difieren poco de las existentes en estado natural dada la situación altimétrica de las obras de captación, y que por tanto buena parte del agua captada procede de disminución del almacenamiento de agua en el interior de las islas, con descensos acumulados que superan ampliamente 300 m en Gran Canaria y Tenerife.

2 - Fuentes de información

Las fuentes de información sobre la hidrogeología canaria, que pueden tener alusiones o datos sobre la situación en los acuíferos costeros, además de los mencionados en las referencias bibliográficas, son esencialmente los que corresponden a los siguientes organismos:

- Servicio de Recursos Hidráulicos (Las Palmas para la provincia oriental, y Santa Cruz de Tenerife para la provincia occidental), dependientes de la Dirección General de Aguas, y que reúnen los trabajos e informes internos realizados por la Delegación en Canarias (Las Palmas y Santa Cruz de Tenerife) del Servicio Geológico de Obras Públicas (existen copias en los servicios centrales de Madrid), del proyecto SPA-15 y de otros trabajos posteriores del mismo organismo o de los propios Servicios Hidráulicos. Incluyen el proyecto MAC-21 y CANHIDRO,

la planificación de aguas y los Modelos Matemáticos de simulación de Gran Canaria y Tenerife, además de un detallado estudio hidroquímico de Tenerife.

- Cabildos Insulares (de cada isla) y Mancomunidades de Cabildos. Poseen datos propios de inventarios, pero muchos de ellos están compartidos con los organismos antes mencionados.
- Instituto Geológico y Minero de España con oficina en Las Palmas y Santa Cruz de Tenerife (las centrales en Madrid), con toma sistemática de datos, de carácter incipiente y relativamente reciente, y algunos estudios propios, en rápido desarrollo.
- Eventualmente, Curso Internacional de Hidrología Subterránea, Barcelona, en cuanto ha intervenido en varios de los estudios anteriores.

3 - Origen de la salinidad costera

La simple constatación de una elevada salinidad, y aún un aumento progresivo de la salinidad en las áreas costeras no es señal inequívoca de intrusión marina en sentido clásico. Pueden presentarse situaciones muy diversas, pero en general se pueden reunir en cuatro tipos:

- 1.- Salinización por efecto climático. La aridez de las áreas costeras, en especial en algunas islas y porciones sur de las mismas, y la importancia del aporte salino con la lluvia (valores entre 15 y 50 mg/l de cloruro son frecuentes, además de la deposición sobre el terreno del aerosol marino), dada ventosidad de la costa, puede sobradamente justificar salinidades de hasta 1000 mg/l y a veces hasta más de 5000 mg/l cuando los aportes de agua del interior son pequeños (Custodio, 1978).
- 2.- salinización por captación de aguas salinas de escasa movilidad en las formaciones costeras profundas, residuales de épocas en que estuvieron mar adentro, antes de acumularse depósitos más recientes o por cambios relativos de la altitud mar-tierra. Se trata de un régimen transitorio de larga duración en materiales muy poco permeables y sometidos a escaso gradiente hidráulico.
- 3.- salinización por formación de conos salinos ascensionales bajo pozos sometidos a grandes descensos piezométricos, sobretodo aprovechando fisuras de orientación vertical, parte de las cuales pueden estar asociadas a diques. Puede ser muy importante en áreas costeras de materiales volcánicos jóvenes o de depósitos detríticos.
- 4.- salinización por desplazamiento tierra adentro de la interfaz (zona de mezcla) por bombeos (disminución del flujo

de agua dulce al mar) en medios permeables. Es la situación llamada normal, que aquí no es posiblemente la más frecuente en estado simple.

Por otro lado, la muy notable complejidad geológico-litológica, y más aún de distribución de permeabilidad, y el hecho de que las captaciones costeras (en su mayoría pozos de gran diámetro con catas horizontales) atraviesen y reunan varias formaciones, hace que el estudio sea muy dificultoso. Eso explica que algunos intentos hayan llevado al abandono de la interpretación al no encontrarse correlaciones claras; en realidad es un problema de observaciones inadecuadas y de falta de densidad de datos.

Posiblemente el único estudio publicado específico de un acuífero costero es el de Ecker y van Enk (1974), que hace referencia a la propagación del efecto de marea marina en el acuífero lávico de Gúimar, en Tenerife.

Es de tener en cuenta que muchas aguas salinas costeras, con elevado contenido en cloruros, están muy alteradas químicamente por reacción con el terreno, y a veces por incorporación de CO_2 de origen volcánico. Aunque los minerales de las formaciones volcánicas son muy alterables, determinadas modificaciones químicas son probablemente el resultado de muy largos tiempos de contacto en sistemas de muy lenta circulación (Fernandopullé et al. 1974; Custodio, 1978). Otras veces es el resultado de la incorporación de aguas de retorno de riego (Custodio et al., 1984), que pueden ser notablemente salinas.

4 - Comentarios sobre la problemática de intrusión marina

De forma sintética y muy resumida, a continuación se comentarán las características más sobresalientes de la intrusión marina en las siete islas, a nivel tentativo:

- 1.- Lanzarote. Es difícil distinguir entre aguas salobres de origen marino directo y las que son de origen climático (Custodio 1973, 1974, 1978). En cualquier caso, la salinidad es muy elevada a lo largo de toda la costa. En las áreas de lavas jóvenes saturadas, como en el área norte de Arrecife o en el NE, las aguas marinas ocupan el acuífero hasta más de 1 km tierra adentro ante la muy escasa recarga de agua dulce; se captan aguas marinas para refrigeración.
- 2.- Fuenteventura. La situación es muy similar a la de Lanzarote, aunque es posible recuperar aguas moderadamente salobres en los sedimentos de barrancos.
- 3.- Gran Canaria.
En la zona Norte, entre Calder y Las Palmas, se ha ido produciendo cierta salinización progresiva, si bien no queda

claro que parte es debida a mayor penetración marina, a formación de conos salinos ascensionales y a retorno de excedentes de regadío salinos por fuerte concentración. En todo caso, este último aspecto parece cuantitativamente importante. El aumento progresivo de salinidad es claro en ciertos pozos, algunos de los cuales han optado por introducir un pretratamiento del agua por osmosis inversa antes de distribuirla para riego.

El el área de Telde, en la costa E, parte de la salinización parece debida a penetración marina en materiales notablemente permeables (posiblemente correspondientes a coladas lávicas relativamente recientes y a depósitos de terraza marina), pero en otros casos el origen es mucho más oscuro, y podría tratarse de aguas antiguas marinas en proceso parcial de lavado. Un estudio de detalle está en curso.

La situación del área de Telde se repite hacia el Sur, en los llanos de Arinaga - Sardina - Vecindario, con la característica en todas ellas de que en muchos pozos la mayor salinidad se alcanza en invierno en vez de en verano, ya que se trata de explotación para el riego de plantaciones de tomate, que se produce en esa época (SPA-15, 1974; Custodio et al., 1984). No existen estudios de detalle.

En el área SE del abanico del barranco de Tirajana (Doctoral-Juan Grande-Castillo del Romeral) existen numerosos pozos afectados por aguas salobres, pero el origen de la salinidad es poco claro. En parte pudiera proceder de goteo desde recubrimientos superiores más permeables y fácilmente intrusionables, pero más bien cabe pensar en que la progresiva profundización de los pozos (los niveles de bombeo rebasan los -100 m de algunos pozos) va drenando niveles cada vez con aguas más antiguas, casi estancadas, y la salinidad sería pues de carácter residual.

Más hacia el Sur, en el macizo costero fonolítico de Amurga, donde existen ya estudios de detalle, aunque no del todo centrados en la intrusión marina, las aguas freáticas pueden tener salinidades de más de 5 g/l no relacionadas con intrusión marina, sino de origen climático y de largo tiempo de residencia, como se deduce de los estudios químicos e isotópicos (Gasparini et al., 1987). En la línea costera se está perforando un haz de sondeos para estudiar la relación entre el macizo fonolítico y el mar. El agua salobre de los pozos se trata por electrodiálisis para reducir su salinidad.

En el Sur, en el área del abanico de Maspalomas, el agua es salobre, salvo en los depósitos del propio barranco, pero poco se sabe de su naturaleza y origen.

En el resto de la isla, desde el Sur hasta el Norte a lo largo de toda la costa Oeste, las captaciones se sitúan sólo

en el borde de los profundos barrancos, a veces con notables penetraciones. A veces el agua es salina, pero tampoco está claro el origen de la salinidad, y es probable que se trate de conos salinos ascensionales.

4.- Tenerife

Las dos zonas con mayores problemas de agua salina son las Tejina-Bajamar, en el Norte, y la de Güimar en el Este. En la primera parece haberse desarrollado un esquema clásico de penetración de la cuña de agua marina, con aumento de los conos salinos ascensionales, en materiales volcánicos recientes relativamente permeables. En el área de Güimar existen también acumulaciones volcánicas recientes de permeabilidad, la relativamente elevada, la que produce una notable penetración natural de la cuña de agua salada, actualmente incrementado por las extracciones.

Las zonas llanas del SE no ha tenido desarrollado importante de pozos hasta recientemente, la mayoría perforados con máquina a retropercusión, con penetraciones elevadas. Con frecuencia han producido aguas salobres a salinas, pero no hay estudios sobre el origen de la salinidad ni de las condiciones hidrodinámicas de los acuíferos locales. En unos casos parece tratarse de aguas salinas residuales bajo los niveles de renovación rápida, y en otros puede tratarse de la penetración de la cuña marina por materiales volcánicos recientes. En cualquier caso se encuentran salinidades elevadas de tipo clorurado a distancia de varios km de la costa. La piezometría es mal conocida y no se sabe con certeza su posición respecto al nivel del mar.

No hay aspectos especiales a destacar en el resto de la periferia de la isla, en general costas muy abruptas, con escasas captaciones próximas al litoral, salvo en el área del Puerto de la Cruz-La Orotava, donde problemas moderados de salinización pueden, por lo menos en parte, ser debidos a infiltración de excedentes de riego (Custodio et al., 1984).

En otros puntos de la costa existen pozos casi en el mismo litoral que producen agua dulce.

El estudio hidroquímico de Tenerife (Custodio 1983, 1988) identifica zonas de descarga de agua dulce al mar, pero no los detalles en el acuífero costero.

5.- San Miguel de La Palma

No existen problemas conocidos importantes de salinización en acuíferos costeros, salvo en el área de Tazacorte (costa W) y posiblemente en el entorno de Santa Cruz de La Palma. Existen diversos estudios de relativo detalle en el área de Tazacorte-desembocadura del Barranco de las Angustias, realizados por el Servicio de Recursos Hidráulicos de Tenerife. Allí existen pozos que se han ido salinizando

progresivamente, pero los mecanismos son poco claros. Posiblemente el movimiento del agua salina por fisuras preferentes dificulta mucho la interpretación de resultados, además de que los pozos tienen numerosas galerías y catas que aún complican más la identificación del origen del agua sin observaciones sistemáticas detalladas. Los retornos de riego pueden tener una influencia significativa (Davis et al., 1984).

6.- Gomera

No existen problemas conocidos importantes de salinización en acuíferos costeros salvo en pozos en el fondo de barrancos y muy próximos al litoral en el entorno de San Sebastián de la Gomera y de Valle Gran Rey. En el área sur, notablemente árida, no parecen existir problemas graves.

7.- Hierro

Es una isla de materiales volcánicos jóvenes a lo largo de la costa, y por lo tanto cabe esperar una notable penetración de la cuña de agua salada en los mismos. Hay estudios de cierto detalle en El Golfo (Norte) realizados por el Servicio Geológico de Obras Públicas (Soler, 1982), que identifican la notable penetración de la cuña marina en coladas basálticas recientes. Sin embargo, la situación se complica al existir al mismo tiempo una línea fisural por lo que escapa CO_2 volcánico; éste posibilita una rápida alteración de la roca y que existan aguas muy salinas también muy bicarbonatadas, que al alejarse de la zona de incorporación de gas evolucionan hacia pH muy elevados, superiores a veces a 9,5.

En el extremo occidental del Golfo, en la zona costera de Sabinosa, existe un pozo de agua salobre muy bicarbonatada y rica en gas carbónico, que al parecer muestra el efecto de marea. Probablemente el gas crea un sistema convectivo que altera la normal estratificación por densidad.

5. Aspectos administrativos y legales

Canarias ha tenido tradicionalmente una legislación de aguas de carácter especial, dada la peculiaridad de su hidrología y el hecho insular. Esta legislación no considera especialmente el problema de la intrusión marina o las relaciones entre las aguas insulares y las marinas. No obstante, la administración en ocasiones ha considerado normas de explotación para áreas costeras, en especial en Gran Canaria. Además de considerar la distancia entre captaciones, se han impuesto limitaciones a la profundidad del pozo (pocos metros bajo el nivel del mar) y de colocación de la bomba (nivel del mar). No se basan en ningún estudio detallado, sino en apreciaciones, y si bien en unos casos

pueden ser consideradas acertadas, en otros pueden ser excesivamente conservativas, sobretodo para pozos modernos perforados con máquina.

6. Estudios y actuaciones especiales y de investigación

En lo que respecta a la intrusión marina, existen escasos estudios y actuaciones especiales, salvo los pocos ya comentados. La hidrogeología de las áreas costeras sigue siendo una notable incógnita. Los modelos matemáticos de simulación de Tenerife (López-García et al., 1981) y Gran Canaria (Anguita, 1973; INTECSA, inédita) sólo consideran al mar como un límite de nivel constante y por lo tanto no son válidos para reproducir la situación en las franjas costeras; el énfasis se ha puesto en las áreas interiores de las islas, donde actualmente están la mayoría de las captaciones y se obtienen la mayoría de los recursos de agua. Las técnicas isotópicas han tenido un apreciable desarrollo (Gonfiantini, 1974, 1976; Gasparini et al., 1987; Custodio et al., 1987; Custodio, 1988; Hoppe, 1987), en buena parte debido al impulso de A. Plata, del Cedex, hoy en el OIEA de Viena.

En lo que respecta a las investigaciones posteriores al estudio SPA-15, el estudio hidroquímico de Tenerife sólo consideró marginalmente las áreas costeras (Custodio, 1983, 1988). El estudio del macizo de Amurga, en el SE de Gran Canaria, en el que los estudios hidroquímicos e isotópicos ambientales han tratado de discernir el origen de la salinidad (Gasparini et al., 1987), ha tenido que dirigir sus esfuerzos más al origen atmosférico y residual de la salinidad que a la propia intrusión marina, aunque se están perforando sondeos para colocar en un emplazamiento costero en materiales fonolíticos piezómetros a diferentes profundidades.

Dentro de un proyecto del Comité Conjunto Hispano-Norteamericano para la Ciencia y la Tecnología entre la Universidad Politécnica de Cataluña, la Consejería de Obras Públicas de Canarias y la Universidad de Arizona, se está tratando de discernir mejor el origen del ión cloruro mediante un estudio fino de la relación Cl/Br y del débil fraccionamiento isotópico entre ^{37}Cl y ^{35}Cl , pero los resultados aún no están disponibles. Dentro del mismo proyecto se está llevando a cabo un estudio detallado del área de Telde, en Gran Canaria.

7. Agradecimientos

El presente trabajo se ha realizado con el apoyo del Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Parte de los datos proceden del proyecto CCA 8510/011 del Comité Conjunto Hispano Norteamericano para la Ciencia y la Tecnología y de un convenio dentro de la Universidad Politécnica de Cataluña y la Universidad

de Paris-Sud para el desarrollo de una tesis doctoral. El apoyo de la Dirección General de Aguas de Canarias y de los Servicios de Recursos Hidráulicos de ella dependientes, ha sido esencial para el desarrollo de trabajos y realización de estudios.

8. Bibliografía

- Anguita, F. (1973). Simulación analógica del sistema acuífero de Gran Canaria. Simposio Internacional sobre Hidrología de Terrenos Volcánicos. Gobierno de Canarias/Cedex. Las Palmas-Madrid. 1987. Tomo II, pp. 1005-1024.
- Custodio, E. (1973). Hydrology of Famara's volcanic block supply galleries (Lanzarote Island, Spain): Atti 2º Convegno Internazionale sulle Acque Sotterranee. Palermo (Italia), pág. 487-494.
- Custodio, E. (1974). Flujo de aguas subterráneas y existencia de un nivel de saturación en las formaciones volcánicas de la Isla de Lanzarote (Islas Canarias, España). Simposio Internacional sobre Hidrología de Terrenos Volcánicos. Arrecife de Lanzarote. Gobierno de Canarias-Cedex. Madrid, 1987. Vol. 1 pp. 185-215.
- Custodio, E. (1974). Contribuciones al conocimiento geohidroquímico de la Isla de Lanzarote (Islas Canarias, España). Simposio Internacional sobre Hidrología de Terrenos Volcánicos. Arrecife de Lanzarote. 1974. Gobierno Autónomo de Canarias y Cedex-Madrid. 1987. Vol. 1 pp. 463-510.
- Custodio, E. (1975). Hidrogeología de las rocas volcánicas en: Ponencia general y resumen de las comunicaciones presentadas. III Congreso Internacional de aguas subterráneas. Palermo, 14-4-1975.
- Custodio, E. (1976). La geohidrología de formaciones volcánicas: estado actual de conocimientos. Hidrogeología Recursos Hidráulicos. Vol. II. Grupo de Trabajo de Hidrogeología-AGE. Madrid pp. 848-870.
- Custodio, E. (1978). Geohidrología de Terrenos e islas volcánicas. Centro de Estudios Hidrográficos e Instituto de Hidrología. Madrid. Pub. 128. 303 págs.
- Custodio, E. (1983). Nuevas contribuciones al conocimiento hidrogeológico de las Islas Canarias. Hidrogeología Recursos Hidráulicos. Vol. I. Grupo de Trabajo de Hidrogeología AGE. Madrid, págs. 705-717.
- Custodio, E. (1985). Low permeability volcanics in the Canary Islands (Spain). Hydrogeology of Rocks of Low Permeability. Mémoires XVII. IAH Congress, Tucson, Arizona. pp. 533-544.

- Custodio, E. (1987): La ciencia del agua y su aplicación al problema de las Islas Canarias. Tecnología del Agua. Barcelona. Vol. 35, 1987, pp. 71-81.
- Custodio, E. (1988). Hydrogeochemistry of Tenerife islands. Revista Española de Hidrogeología (Asociación Española de Hidrología Subterránea). Nº 3, 1988 (en prensa).
- Custodio, E. (1988). Hydrogeology of volcanic terrains and environmental isotopes. Panel Meeting Int. Atomic. Energy. Vienna. (en prensa).
- Custodio, E., Guerra, J.L., Jiménez, J., Medina, J.A., Soler, C., 1984. The effects of agriculture in the volcanic aquifers of the Canary Islands (Spain): Environmental Geology. Vol. 5, n^o 4, pp. 225-231.
- Custodio, E., Hoppe, J., Hoyos-Limón, A., Jiménez, J., Plata, A., Udluft, P., 1987. Aportaciones al conocimiento geohidrológico de Tenerife utilizando isótopos ambientales. VI Asamblea Nacional de Hidrogeología. Palma de Mallorca, 1987. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. Vol. XI. pp. 263-280.
- Custodio, E., Gasparini, A., Fortes, J.Ch., Jiménez, J., Núñez, J.A., 1987. Primeros datos sobre las características químicas e isotópicas del agua subterránea del Macizo fonolítico de Anurga, Gran Canaria. VI Asamblea Nacional de Hidrogeología. Palma de Mallorca, 1987. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. Vol. XI. pp. 281-298.
- David, S.N., Jiménez, J., 1975. Chemical character or return irrigation water in tropical volcanic islands. Environmental Geolog. Vol., pp. 69-73.
- Ecker, A., van Enk, D.C., 1974. Hydrogeological study of a coastal volcanic aquifer: valley of Güimar, Tenerife (Canary Islands, Spain). Simposio Internacional sobre Hidrología de Terrenos Volcánicos. Gobierno de Canarias/Cedex. Madrid/Las Palmas, 1987. Vol. II. pp. 1087-1116.
- Fernandopullé, D., Vos, J., de la Moneda, E., Medina, L., 1974. Groundwater resources of the Island of Gran Canaria. Simposio Internacional sobre Hidrología de Terrenos Volcánicos. Gobierno de Canarias/Cedex. Madrid/Las Palmas, 1987. Vol. II. pp. 1119-1149.
- Fernandopullé, D., Sáenz-Oiza, J., Heras, R., Sahuquillo, A., Custodio, E., 1975a. Estudio científico de los recursos hidráulicos de las Islas Canarias. Dirección General de Obras Hidráulicas-UNESCO. Madrid. 3 vols.
- Fernandopullé, D., Heras, R., Sáenz-Oiza, J., 1975b. Water resources of volcanic islands: a pilot project in The Canaries. Nature and Resources. UNESCO. París. Vol. XI, n^o 1. pp. 8-12.

- Confiantini, R., 1974. Environmental isotope investigation in Canary Islands groundwater. Simposio Internacional sobre Hidrología de Terrenos Volcánicos. Gobierno de Canarias/Cedex. Madrid/Las Palmas, 1987. Vol. II. pp. 617-659.
- Confiantini, R., Gallo, G., Payne, B.R., Taylor, C.B., 1976. Environmental isotopes and hydrochemistry in groundwater of Gran Canaria. In: Interpretación env. isotop. hydrochem. data groundwater hydrol. Proc. advis. group. meet. IAEA. Vienna, 1975.
- Hoppe, J., 1987. Zur Hydrogeologie der Insel Tenerifa unter besonderer berücksichtigung der Isotopen-Hydrologie. Lehrstuhl für Hydrogeologie und Hydrochimie der Technischen Universität München. 157 pp.
- López-García, L., Amigó, E., Custodio, E., 1981. Planteamiento y ajuste de un modelo matemático de simulación de la isla de Tenerife (Statement and adjustment of a simulation mathematical model of Tenerife Island). Proc. IV Nat. Assem. Geodesy and Geophysics. Zaragoza. Nat. Com. Geodesy and Geophysics. Madrid. Vol. III. pp. 1643-1673.
- SPA-15, 1974. Estudio científico de los recursos de agua de las Islas Canarias. Preparado por D. Fernandopullé, J. Sáenz-Oiza, R. Heras, A. Sahuquillo y E. Custodio. UNESCO-Dirección General de Obras Hidráulicas. Las Palmas/Madrid. 3 Vols.
- Soler, C., 1982. Contaminaciones producidas en el acuífero costero del Golfo, Isla de Hierro, Tenerife. Jornadas sobre Análisis y Evolución de la Contaminación de las Aguas Subterráneas en España. Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona. Vol. I. pp. 567-572.