

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1.- Introducción

La presente investigación es el resultado del convenio suscrito entre la Universidad Politécnica de Cataluña, el Instituto Tecnológico Geominero de España y el Cabildo Insular de Fuerteventura para un estudio hidrogeológico de la isla de Fuerteventura.

Esta investigación surge a partir de los numerosos interrogantes relacionados con la elevada salinidad y la mala calidad de las aguas subterráneas en la isla de Fuerteventura. La investigación parte del conocimiento previo estudiado por el Dr. Emilio Custodio en la vecina isla de Lanzarote y en la porción Sur de Gran Canaria (Macizo de Amurga), los cuales presentan características climáticas e hidrogeológicas similares a las observadas en Fuerteventura.

La investigación se centró en la parte central de la Isla de Fuerteventura, en el Macizo de Betancuria, al ser una de las zonas con mayores problemas en la calidad química del agua subterránea. Como un camino de solución para resolver las distintas incógnitas respecto del origen de la salinidad, esta investigación se planteó desde la perspectiva de la realización de un estudio hidrogeoquímico detallado del ciclo hidrológico del agua. El estudio se inicia con la caracterización hidrogeoquímica de las precipitaciones y continúa con la evolución hidrogeoquímica del agua subterránea en su recorrido en el subsuelo hasta las zonas de descarga. Para la realización del estudio hidrogeoquímico se utilizaron distintas técnicas hidroquímicas, isotópicas y de modelación hidrogeoquímica. En esta caracterización se incluye el estudio de las variaciones espaciales de la salinidad y evolución de la salinidad del agua subterránea con el tiempo.

1.2.- Objetivos

De acuerdo al conocimiento hidrogeológico actual que se tiene de la isla de Fuerteventura y del Macizo de Betancuria en particular, el objetivo principal de esta investigación es la caracterización hidrogeoquímica del sistema hidrogeológico, con énfasis en los siguientes puntos:

- Realizar una caracterización química e isotópica de las aguas subterráneas y reproducir las reacciones mediante modelación hidrogeoquímica.
- Caracterización general de la precipitación mediante técnicas químicas e isotópicas.
- Definir los orígenes de la salinidad de las aguas subterráneas

- Realizar una estimación preliminar de la recarga
- Establecer un modelo hidrogeológico conceptual de la zona a partir de los datos geológicos, hidrogeológicos e hidrogeoquímicos obtenidos en esta investigación.

A partir de estos objetivos se espera establecer un modelo conceptual que explique las causas de la salinidad del agua y que según los resultados obtenidos sirva como base para una mejor gestión de los recursos hídricos respecto a la calidad del agua subterránea.

1.3.- Situación

La isla de Fuerteventura forma parte del Archipiélago de Canarias y es la más próxima a África, de la que dista sólo 100 km (Figura 1.1). La Isla presenta una forma alargada en dirección NE-SW, con una longitud aproximada de 100 km desde su extremo más septentrional, Punta de la Tiñosa, hasta el más meridional, Punta de Jandía. Su superficie es de unos 1650 km², a la que se añaden otros 15 km² de la Isla de Lobos (pequeño islote situado al noreste de Fuerteventura).

La investigación se ha centrado en el Macizo de Betancuria, ubicado en la parte central de la isla y caracterizado por un relieve accidentado, que alcanza una altitud máxima de 724m. Dentro del área de estudio quedan incluidas las localidades de Betancuria, Pájara, Tuineje, Tesejerague, Tiscamanita, Pozo Negro y Gran Tarajal.

1.4.- Uso del agua y del agua subterránea en Fuerteventura

El agua en Fuerteventura la utilizan tres grupos de consumo principales:

- Abastecimiento de la población (incluye el abastecimiento a la actividad turística)
- Usos agrícolas y ganaderos
- Industria

Una parte importante de los recursos hídricos de la isla están destinados para el abastecimiento de la población, la cual es de aproximadamente cuarenta y cinco mil habitantes. Sin embargo la creciente actividad turística de la isla, que muestra un incremento sostenido desde la década de 1970, ha hecho que la demanda de agua para el abastecimiento de la población sea creciente. Estas necesidades de agua se cubren básicamente con la desalinización de agua de mar (86-88%), la cual se complementa con desalinización de agua subterránea (10-11%) y en menor cantidad por el abastecimiento directo de agua subterránea en algunas localidades del interior (ITGE, 1991). En la actualidad el método utilizado mayoritariamente para la desalinización del agua de mar es la osmosis inversa y la fuente de energía utilizada es la eléctrica. La principal planta desalinizadora de agua de mar se localiza en la ciudad de Puerto del Rosario y le siguen en importancia las de Gran Tarajal, Corralejo y Morro Jable. En total se desalinizan aproximadamente 25.000 m³ día⁻¹ de agua de mar (HIDROTECNIA, 1998).

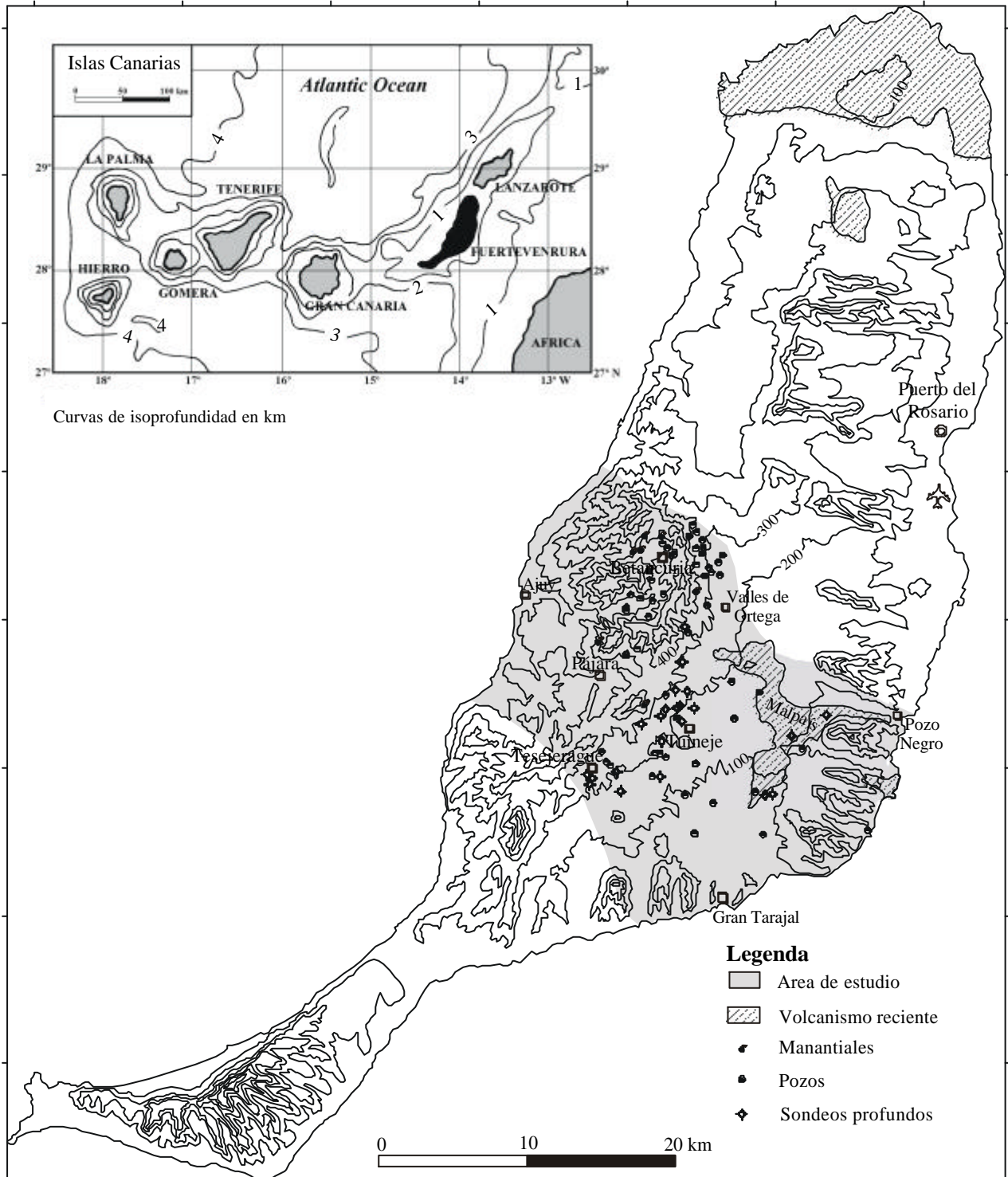


Figura 1.1- Situación de la isla de Fuerteventura y límites del área de estudio. Los contornos muestran la elevación en m.

La actividad industrial tiene muy poco desarrollo en la isla, destacando la producción de energía eléctrica, la fabricación de materiales de construcción y pequeñas industrias alimentarias. El abastecimiento principal de agua a estas pequeñas empresas se hace a través de la red de distribución urbana y de captaciones de agua subterránea.

El uso del agua subterránea en Fuerteventura esta destinado principalmente para la actividad agrícola y ganadera. Para su explotación se utilizan sondeos y pozos de gran diámetro. Tradicionalmente en la isla la explotación del agua subterránea se ha realizado por medio de pozos de gran diámetro, excavados a mano o con explosivos. Un medio muy extendido para la extracción de aguas de este tipo de captaciones es la utilización de molinos de viento, los cuales ponen en movimiento un pistón que lleva el agua hacia la superficie. La principal dificultad de este mecanismo de explotación es el reducido caudal, así como la incertidumbre asociada a la disponibilidad de los vientos. Desde comienzos de los años ochenta se ha extendido en la isla la construcción de sondeos profundos para la explotación del agua subterránea. La mayoría de estas obras han sido construidas por métodos de percusión y rotopercusión, y alcanzan profundidades de hasta 300 m. Para la explotación de agua de los sondeos se requiere un aparato logístico importante que incluye una bomba sumergible y equipo electrógeno. En todas las explotaciones de agua subterránea el agua es canalizada hacia depósitos de almacenamiento situados, por lo general próximos a las zonas de cultivo.

Debido a lo accidentado del relieve, en gran parte de la isla, en períodos de fuertes precipitaciones se produce una escorrentía importante que se canaliza por los barrancos y que en muchos casos se pierde en el mar. Para evitar estas pérdidas de agua en la isla se han construido gran cantidad de presas de tierra, las cuales tienen como objetivo detener la escorrentía y producir una recarga artificial a los acuíferos. En algunos casos el agua acumulada en las presas es directamente explotada para el regadío.

Dada la mala calidad de las aguas subterráneas, los tipos de cultivos en la isla se reducen a aquellos que toleran aguas con mayor salinidad; entre estos se destaca por su extensión el tomate de exportación. No obstante, también tuvo importancia en su día el cultivo de cereales (ITGE, 1991). En algunos casos, para mejorar la calidad del agua de regadío los agricultores mezclan el agua subterránea con agua obtenida de la red de abastecimiento. También muchos agricultores son propietarios de pequeñas plantas de desalinización por osmosis inversa y tratan el agua subterránea para el uso agrícola. En estos casos pueden realizar cultivos que requieren aguas de mejor calidad, como es el caso de plátanos y sandías.

1.5.- Datos básicos sobre Fuerteventura

La isla de Fuerteventura forma parte del grupo de las Canarias Orientales. Administrativamente pertenece a la Provincia de Las Palmas. Se divide en seis municipios correspondientes a: Antigua, Betancuria, La Oliva, Pájara, Puerto Rosario y Tuineje.

- Población

La población de Fuerteventura es una de las más bajas en comparación a las principales islas del archipiélago, y en la actualidad alcanza los 45.000 habitantes. No obstante, los datos indican que el número de habitantes sólo se ha incrementado a partir de la década de 1970, ya que entre los años 1900 y 1970 la población de la isla osciló sólo entre las 12.000 y 18.000 habitantes respectivamente (HIDROTECNIA, 1998).

Tradicionalmente la mayor parte de la población se dedica a labores agrícolas, ganaderas y a la pesca artesanal. Debido a las condiciones de aridez que dominan en la isla, el desarrollo de la actividad agrícola esta muy condicionado a factores climáticos. Bajo estas circunstancias en muchas oportunidades una parte importante de la población de Fuerteventura ha debido migrar a otras islas del archipiélago para poder trabajar en el campo (Valverde, comunicación verbal). Sin embargo, migraciones importantes ya no suceden desde la década de 1970, cuando las actividades laborales en la isla comienzan a diversificarse y mejoran las tecnologías de explotación y tratamiento de aguas subterráneas.

En la actualidad el ritmo creciente de la actividad turística ha permitido diversificar las fuentes laborales en la isla y ello a generado toda una revolución en el desarrollo de la isla. Así, de recibir en la década de 1970-1980 una media de 42.000 turistas se ha pasado a recibir a más de 330.000 turistas el año 1988 (ITGE, 1991). Así el sector económico de mayor relevancia es el terciario (servicio, comercio, transporte y comunicaciones), debido al progresivo desarrollo impuesto por la actividad turística.

- Clima

La característica climatológica más importante de la isla de Fuerteventura es la aridez. La orientación de la isla y la escasez de alturas topográficas importantes con respecto a la trayectoria de los vientos alisios, son hechos poco favorables a la generación de lluvias. Esto se traduce en que las precipitaciones medias anuales en las partes más altas de la isla apenas superan los 200 mm anuales, mientras que en las partes bajas en algunos casos no alcanzan los 70 mm/año. Las precipitaciones más importantes se concentran entre los meses de noviembre y marzo.

Las precipitaciones en el área de estudio son muy variables de un punto a otro, siendo mayores en las partes más altas del Macizo de Betancuria y muy reducidas en la parte sur. Así, en la localidad de Betancuria el valor medio anual de la precipitación alcanza los 202 mm, mientras que en la localidad de Gran Tarajal sólo llega a 62,6 mm. La Tabla 1.1 presenta los valores medios mensuales y la media anual de los distintos pluviómetros localizados en el

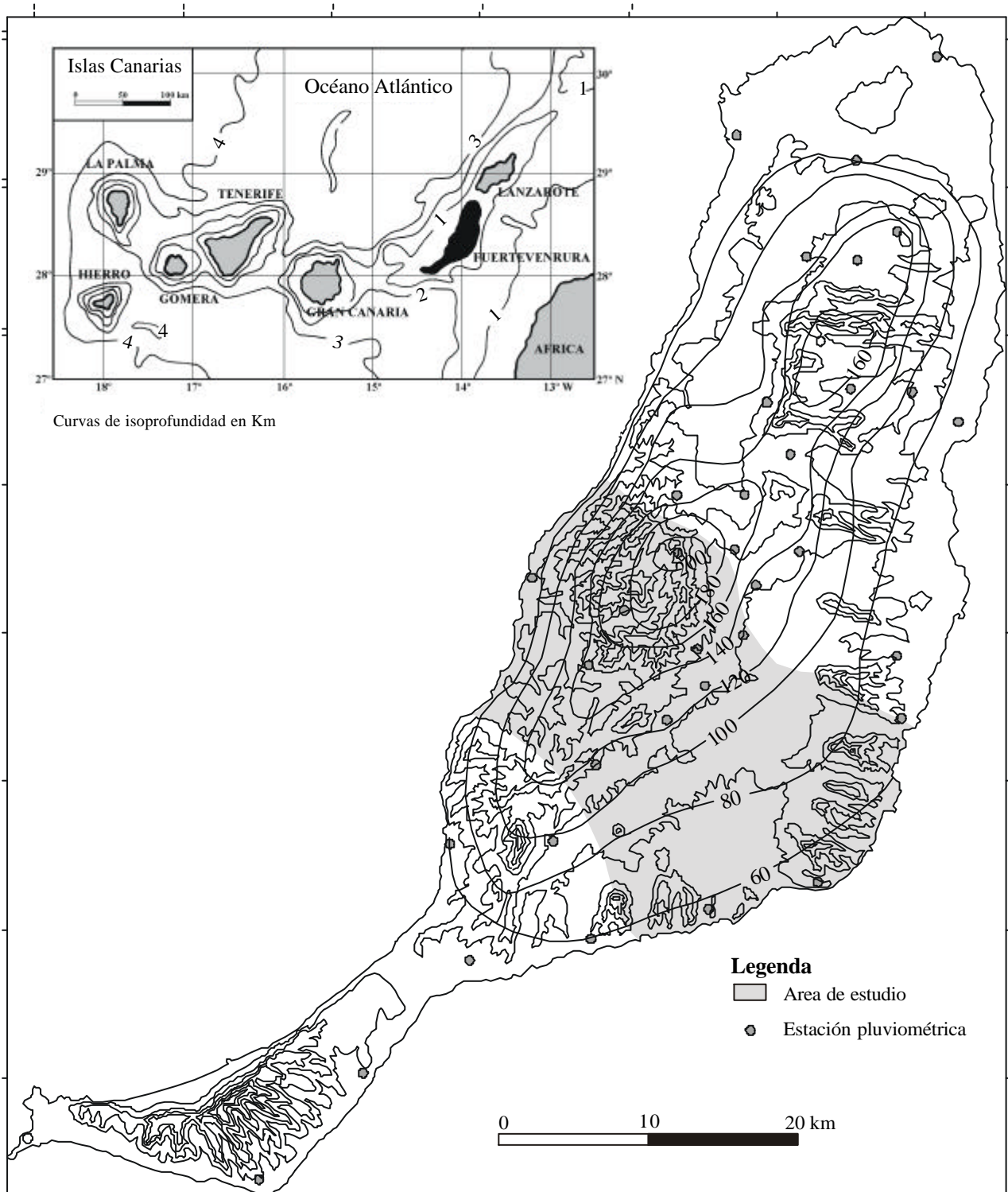


Figura 1.2.-Mapa de isoyetas medias anuales de la isla de Fuerteventura elaborado a partir de datos pluviométrico correspondientes al período 1954-1972 (modificado de SPA-15, 1973)

área de estudio y que corresponden a los datos de precipitación media anual obtenidos entre 1970 y 1987 (ITGE, 1991). En la Figura 1.2 se presenta el mapa de isoyetas medias anuales de la isla, elaborado a partir de los datos indicados anteriormente. Se observa que la parte sur de área de estudio es la más árida de la isla, mientras que las partes más altas coinciden con las zonas de mayores precipitaciones.

Estación pluviométrica	Cota (ms.n.m.)	Nº de años disponibles	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Media anual
Antigua	240	17	25,1	24,9	20,4	11,3	2,9	0	0	0	4,1	6	17,2	33,1	145
Vega Río Palma	280	17	27	30,1	17,9	8,3	3,7	0,2	0,1	0,2	4,6	6,8	12,5	31	142
Betancuria	400	17	33,6	36,4	24,2	17,6	4,6	0,4	0,2	0,5	5,6	12,9	20,8	45,5	202
Pájara	200	17	23,5	21,1	16,8	6,9	3,5	0	0	0	3,3	3,9	11,3	25	115
Agua de Bueyes	265	17	23,1	27,6	21,5	8,8	1,8	0	0	0	3,8	5,2	13,3	30,6	136
Tiscamanita	235	8	7	27,3	19,7	9,5	2,8	0	0	0	1,6	2,6	14,5	48,2	133
Tuineje	195	17	19,3	20,4	16	9,7	1,3	0	0	0	4,3	3,1	9,6	29,4	113
Pozo Negro	10	17	18,9	12,6	13	5,1	0,8	0	0	0	2,2	3,1	7,9	16,3	79,9
Tesejerague	185	17	20,3	21,1	12,4	6,5	1,6	0,2	0	0	1,8	3,7	10,8	27,3	106
Gran Tarajal	10	17	12,7	10,7	7,4	4	0,4	0	0	0	1,8	2,7	5,9	17	62,6

Tabla 1.1.- Precipitación media mensual (mm) y precipitación media anual (mm) de los distintos pluviómetros del área de estudio.

Los datos de temperatura de la isla son muy escasos y se limitan a una serie continua medida en la localidad de El Matorral (20 ms.n.m.), situada al sur de la ciudad de Puerto del Rosario, y a una serie de 8 años medida en Los Estancos (216 ms.n.m.). Se desconocen datos representativos de la temperatura en las partes más altas del Macizo de Betancuria. La Tabla 1.2 presenta los valores medios mensuales de las temperaturas medidas en ambas estaciones, donde se observa una escasa variación de la temperatura media mensual a lo largo del año. En El Matorral las temperaturas medias mensuales más bajas se observan en los meses de enero y febrero y se sitúan en torno a los 17 °C, mientras que en El Estanco estas son más bajas y se aproximan a los 15,5 °C. Las temperaturas más altas se alcanzan en el mes de agosto y se sitúan en torno a los 23,5 °C en El Matorral y a los 23,0 °C en Los Estancos. Las temperaturas mínimas no bajan de los 12 °C, mientras que las máximas en raras ocasiones superan los 30 °C (ITGE, 1991).

Estación	Cota (ms.n.m.)	Fuente	Años disponibles	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Media anual
Los Estancos	216	ITGE (1991)	1961-1969	15,5	15,8	16,6	17,1	18,9	19,9	22,1	23	22,1	20,6	18,3	16,2	18,8
El Matorral	20	SPA-15 (1975)	1970-1986	17	17,1	17,8	18,4	19,5	21,1	23	23,4	23,2	22	20,1	17,9	20,04

Tabla 1.2.- Temperaturas medias mensuales y temperatura media anual de las estaciones termométricas de Los Estancos y El Matorral.

1.6.- Fisiografía del área de estudio

El área de estudio puede ser dividida en tres unidades fisiográficas principales correspondientes a: Macizo de Betancuria, Depresión Central y Sierras Orientales (Figura 1.3).

Macizo de Betancuria: es a la unidad fisiográfica más occidental del área de estudio y corresponde a un macizo montañoso elongado en dirección aproximada NE-SW. Esta unidad limita hacia el Oeste con el mar en acantilados verticales no muy elevados y con escaso desarrollo de playas, con la excepción de la desembocadura de los barrancos mayores. Hacia el Este limita con la Depresión Central, con un escarpe que eleva el Complejo Basal más de 500 m desde la base y que se encuentra fuertemente erosionado. La vertiente occidental de esta unidad es cortada por numerosos barrancos los cuales presentan pendientes altas. La altitud máxima de este Macizo corresponde a la cumbre de Betancuria, que alcanza 724 ms.n.m.

Depresión Central: abarca la parte central del área de estudio y corresponde a una zona deprimida de origen tectónico que presenta un declive general hacia el sur. En la parte occidental esta unidad es atravesada por algunos barrancos que descienden desde el Macizo de Betancuria y que confluyen en el Barranco de Gran Tarajal. En general los barrancos presentes en la Depresión Central tienen pendientes muy bajas.

Parte de la superficie llana de esta unidad es interrumpida por algunas calderas volcánicas que dieron origen a extensos campos de lavas llamados localmente “malpais”. Estas unidades volcánicas abarcan una parte importante de la Depresión Central y se concentran principalmente en el sector oriental de la misma.

Sierras Orientales: Corresponde a un relieve montañoso alargado en dirección aproximada NE-SW . Esta compuesto por numerosas serranías cuyos ejes principales se orientan en dirección aproximada E-W y que localmente reciben el nombre de “cuchillos”. Estas sierras presentan vertientes con relieves abruptos y desde ellas descienden numerosos abanicos aluviales hacia los barrancos que las separan. A partir de la interpretación de fotografías aéreas y observaciones de campo se deduce que los barrancos en su margen occidental se encuentran colgados respecto a la Depresión Central, lo que hace suponer que existe una tectónica activa que ha alzado todo el bloque correspondiente a las Sierras Orientales. No obstante, a partir del reconocimiento de fragmentos de basaltos antiguos y de rocas intrusivas del Complejo Basal presentes en los depósitos aluviales de estos barrancos se deduce que en algún momento estos barrancos estuvieron conectados con la Depresión Central y el Macizo de Betancuria, de tal manera que los depósitos erosionados en el Macizo de Betancuria eran arrastrados aguas abajo a través de estos barrancos hacia el mar. Sólo uno de estos barrancos aún conserva una conexión con la Depresión Central y corresponde al barranco de Pozo

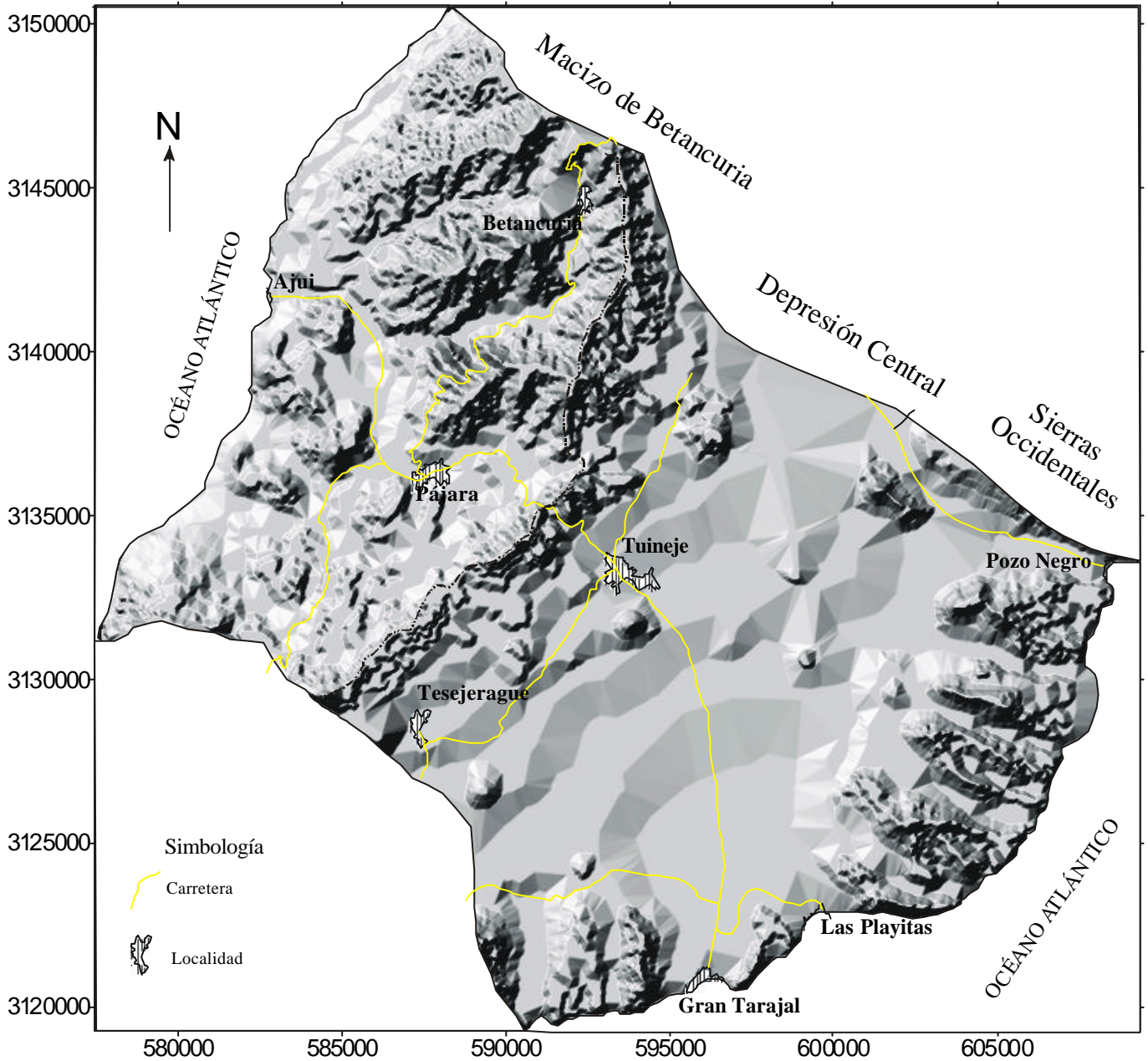


Figura 1.3.- Distribución de las principales unidades fisiográficas del área de estudio

Negro, a través del cual escurrieron en el Pleistoceno coladas de lava que emanaron de calderas situadas en la Depresión Central.

Hacia el norte, fuera de los límites del área de estudio, la erosión ha afectado fuertemente a estas serranías, dando lugar a cerros–islas de formas piramidales muy características.

1.7.- Investigaciones previas

La bibliografía de diversas temáticas existente sobre el área de estudio es numerosa y variada, si bien las específicas relativas a esta investigación son escasas. Fundamentalmente se consultó la relacionada con los estudios geológicos, hidrogeológicos y socioeconómicos.

Los primeros estudios hidrogeológicos que se conocen de la isla de Fuerteventura se remontan a principios de la década de 1970 y corresponden a una caracterización hidrogeológica muy general de la Isla que se incluyó dentro del Proyecto SPA-15 (MOPU-UNESCO, 1970-1974); que en general se centró en estudios hidrogeológicos más detallados en las islas de Gran Canaria y Tenerife. En este estudio se hace una caracterización regional de la calidad de las aguas subterráneas, así como una cuantificación muy preliminar del balance hídrico y se aportan algunos datos meteorológicos.

A principios de la década de 1980 el Cabildo Insular de Fuerteventura, en el marco del Proyecto MAC-21, realizó un inventario detallado de todas las captaciones de la isla, en la cual se contabilizaron más de 1700 pozos excavados. También se hicieron distintas determinaciones químicas en campo y laboratorio, además de medir los niveles freáticos y la profundidad de las captaciones. Sin embargo, en este reconocimiento no se realizó ninguna interpretación de estos datos y sus resultados se limitan a la puesta a disposición de las fichas de los pozos con sus respectivos análisis químicos.

Como parte de una serie de investigaciones hidrogeológicas que el Instituto Geológico y Minero de España desarrolla en las Islas Canarias desde 1979, en 1989 se inició un estudio hidrogeológico detallado de la isla que incluyó un completo inventario de todas las captaciones existentes, con énfasis en sondeos profundos, una caracterización química general de las aguas subterráneas, una estimación preliminar de la recarga y la evaluación de distintos parámetros hidráulicos de las distintas unidades volcánicas a partir de ensayos de bombeo.

1.8.- Metodología general de investigación

La metodología general seguida en esta investigación comprende labores llevadas a cabo en tres ámbitos distintos: gabinete, campo y laboratorio.

Gabinete

El estudio comenzó a desarrollarse a partir de octubre de 1997 con la recopilación bibliográfica de la información geológica e hidrogeológica existente de la isla de

Fuerteventura. Dentro de esta recopilación se incluyen inventarios anteriores de puntos de agua, datos meteorológicos, datos químicos del agua, la cartografía geológica de la zona, etc. Para esta recopilación fueron consultados los archivos del Consejo Insular de Aguas de Fuerteventura, la Biblioteca Pública de Fuerteventura, la sede del Instituto Tecnológico Geominero de España en Las Palmas de Gran Canaria y la biblioteca de la Universidad Politécnica de Cataluña.

La parte final de esta etapa comprende el trabajo e interpretación de los datos obtenidos en campo más los resultados químicos de laboratorio.

Campo

En abril de 1998 se inició el trabajo de campo con la ubicación de las distintas captaciones de agua subterránea citadas en inventarios anteriores y la ubicación de nuevas captaciones de agua. En cada uno de los puntos de agua se procedió a la medición de las distintas características constructivas de las captaciones de agua, obtención de medidas de nivel freático, medición de parámetros físicos y químicos del agua en campo y toma de muestras de agua subterránea para análisis químicos e isotópicos. En total se realizaron cuatro campañas de campo, en intervalos de aproximadamente seis meses, contabilizándose aproximadamente 2 meses efectivos de trabajo. En noviembre de 1999 se realizó una búsqueda minuciosa de manantiales en el Macizo de Betancuria, localizándose 8 nuevos puntos de agua donde se realizó un muestreo para análisis químicos e isotópicos. Para la obtención de muestras de ^{13}C del suelo se procedió a la toma de muestras de aire del suelo

Laboratorio

Se realizaron las determinaciones analíticas en laboratorio de las muestras tomadas en campo y corresponden a análisis químicos completos de las muestras de agua más la determinación de algunos elementos trazas de interés. Todos los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de Aguas de Instituto Tecnológico Geominero de España, ITGE (actualmente de nuevo Instituto Geológico y Minero de España, IGME), a excepción de las determinaciones de bromuro, las cuales fueron realizadas en los laboratorios de Aguas de Barcelona y en el CIEMAT en Madrid.

También se determinaron en algunas muestras los contenidos y relaciones isotópicas de ^{18}O , ^2H , tritio, ^{13}C , ^{34}S y ^{14}C . Las determinaciones de ^{18}O , ^2H , tritio y ^{13}C fueron realizadas en el Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas en el CEDEX; los análisis de ^{34}S fueron realizados en Facultad de Geología de la Universidad de Barcelona y en el Instituto de Física Maria Curie de la Universidad de Sklodowska en Polonia y las determinaciones de ^{14}C fueron realizadas en el Leibniz-Labor en Alemania.