

Trabajo de Fin de Grado

**Caracterización de la composición mineral de aguas de
consumo de diferentes municipios canarios**

M^a Trinidad Rodríguez Martín

5º Grado en Farmacia

Curso 2017-2018

Tutores:

Miguel Ángel Rodríguez Delgado y Antonio V. Herrera Herrera

Departamento de Química

Área de Química Analítica

ÍNDICE

Abstract.....	1
Resumen	2
1 INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 Definición de agua de consumo	3
1.2 Importancia del agua y su composición mineral para la salud	3
1.3 Importancia del agua en Canarias	3
2 OBJETIVO	5
3 MATERIAL Y MÉTODOS	7
3.1 Muestras analizadas	7
3.2 Programas informáticos	9
3.3 Procedimientos experimentales	9
3.3.1 Determinación del residuo seco.....	9
3.3.2 Determinación de cloruros	10
3.3.3 Determinación de la dureza	12
3.3.4 Determinación de calcio y magnesio.....	13
3.3.5 Determinación de sodio.....	14
3.3.6 Determinación de potasio	16
4 RESULTADOS	19
5 DISCUSIÓN.....	23
6 CONCLUSIONES.....	33
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

Abstract

The consumption of water is essential for the human being to live. Due to this fact, it is necessary that the corresponding controls are carried out to ensure that water is potable and of adequate quality.

In order to characterize the mineral composition of drinking water from different municipalities of the Canary Islands, the dry residue, the chlorides, the total hardness, and the calcium, the magnesium, the sodium and the potassium concentrations were determined in a total of 60 samples: 40 from the island of Tenerife, 9 from La Palma and 11 from Gran Canaria.

The determination of chlorides, total hardness, calcium and magnesium was made by precipitation and complexometric titrations. The dry residue analysis was performed according to the official method at 180 °C while the quantification of sodium and potassium was obtained by flame photometry.

The results obtained were within the values set by RD 140/2003, so all the waters analyzed are suitable for consumption. To make a clearer study of the differences and similarities between the samples, bar charts were made for each parameter studied.

Key words: water, mineral composition, Canary Islands, dry residue, chlorides, hardness, calcium, magnesium, sodium, potassium.

Resumen

El consumo de agua es indispensable para la vida del ser humano. Debido a esto es necesario que se realicen los controles correspondientes para asegurar que esta sea potable y tenga la calidad adecuada.

Con el objetivo de caracterizar la composición mineral del agua de consumo de diferentes municipios canarios, se realizó la determinación de residuo seco, cloruros, dureza total, calcio, magnesio, sodio y potasio en un total de 60 muestras: 40 de la isla de Tenerife, 9 de La Palma y 11 de Gran Canaria.

La determinación de cloruros, dureza total, calcio y magnesio se realizó mediante volumetrías de precipitación y complexométricas. El análisis de residuo seco se llevó a cabo según el método oficial a 180 °C y la cuantificación de sodio y potasio se obtuvo mediante fotometría de llama.

Los resultados obtenidos se encontraron dentro de los valores fijados por el RD 140/2003 por lo que todas las aguas analizadas son aptas para el consumo. Para realizar un estudio más claro de las diferencias y semejanzas entre las muestras se realizaron diagramas de barras para cada parámetro estudiado.

Palabras clave: agua, composición mineral, Islas Canarias, residuo seco, cloruros, dureza, calcio, magnesio, sodio, potasio.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Definición de agua de consumo

El RD 140/2003 (1) en su artículo 2 define como aguas de consumo humano aquellas que en su estado original o después de un tratamiento específico sean utilizadas para usos domésticos, independientemente de su origen y de la forma en que son suministradas al consumidor. También se incluyen las utilizadas en la industria alimentaria y aquellas que son abastecidas como parte de una actividad comercial o pública.

1.2. Importancia del agua y su composición mineral para la salud

El agua es fundamental para los seres vivos. Debe de existir un equilibrio entre la ingesta y la pérdida ya que un exceso en cualquiera de estos puede llevar a estados de enfermedad llegando a la muerte (2). De manera general, se deben ingerir una media de 2 litros de agua al día viéndose alterada esta cantidad en diversas patologías como la diabetes insípida(2,3).

Por otra parte, hay que tener en cuenta las sustancias minerales que acompañan al agua consumida como son bicarbonato, cloruro, sodio, magnesio, potasio, nitrato, flúor... La normativa (1,4) fija unos valores máximos de diversos minerales para que el consumo no conlleve riesgos para la salud. Por ejemplo, el máximo establecido para nitrato es 50 mg/L mientras que para sodio es 200 mg/L. Aunque las aguas de consumo cumplan la normativa no significa que sean las ideales para todos los grupos de población ya que existen diferencias en el grado de mineralización. Por ejemplo, aquellas que tienen una mineralización muy débil son las ideales para hipertensos y para el uso en alimentación infantil (5), en cambio; las de mineralización fuerte, ricas en calcio son aconsejables para personas que presentan déficit de este mineral(5).

1.3. Importancia del agua en Canarias

Canarias es uno de los territorios españoles donde el agua cobra una gran importancia. Mientras que el consumo medio en España se sitúa en 132 L por persona y día, en Canarias es de 144 L por persona y día (6). Esto hace que sea imprescindible aprovechar y optimizar al máximo los recursos disponibles.

La escasez de los recursos hídricos tiene su causa en las pocas lluvias que se

registran. En el año 2017, la precipitación media estatal fue de 474 mm mientras que en Canarias este valor fue inferior al 25% de la cantidad citada (7). Debido a esto a lo largo de la historia se han realizado diversas infraestructuras para el aprovechamiento del agua como son las presas. Por otro lado, otra de las principales fuentes son los acuíferos existentes que son explotados mediante la creación de pozos y galerías. Esto hace que las aguas provenientes de estas infraestructuras adquieran minerales procedentes del suelo donde se almacenan. Es común en todas las islas encontrar valores altos de cloruros y sodio debido a la procedencia subterránea de las aguas y al origen volcánico del archipiélago (8).

2. OBJETIVO

El objetivo principal de este trabajo es determinar la composición mineral de aguas de consumo de diferentes municipios canarios, ya que interviene en la calidad del agua.

Para conseguir este objetivo principal, se han establecido diferentes objetivos secundarios que se muestran a continuación:

- Seleccionar el método de muestreo.
- Recolectar las distintas muestras.
- Obtener, mediante revisión bibliográfica, los diferentes métodos de análisis de los parámetros estudiados.
- Determinar el residuo seco y la concentración de cloruro, sodio, potasio, calcio y magnesio.
- Comparar la calidad del agua entre las islas de Tenerife, La Palma y Gran Canaria.
- Presentar adecuadamente los datos obtenidos y realizar un análisis estadístico de los resultados.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Muestras analizadas

Las muestras se recolectaron durante un periodo limitado de 30 días durante los meses de febrero y marzo de 2018. La toma se realizó abriendo el grifo y dejando fluir el agua durante unos minutos, tras los cuales se embotellan aproximadamente 500 mL en plástico. Se tomaron 40 muestras de agua de consumo en la isla de Tenerife. Para esto, se dividió la isla en cinco zonas geográficas (noreste, sureste, noroeste, suroeste y área metropolitana) tomando 8 muestras de cada zona y recogiendo como mínimo una de cada municipio. (Figura I).



Figura I Mapa de la localización de los puntos de toma de muestras en Tenerife

Además, se tomaron 20 muestras complementarias, nueve de la isla de La Palma y once de Gran Canaria, para realizar un estudio comparativo teniendo en cuenta las características minerales de las aguas de estas islas. (Figuras II y III).



Figura II Mapa con la localización de los puntos de muestreo de La Palma



Figura III. Mapa con la localización de los puntos de toma de muestras en Gran Canaria

3.2. Programas informáticos

Se hizo uso del programa *Microsoft® Office Excel 2016* para el cálculo, análisis y presentación gráfica de los datos.

Para la realización de los mapas geográficos con la localización de los puntos de muestreo se utilizó el visor territorial de *GRAFCAN* del Gobierno de Canarias.

3.3. Procedimientos experimentales

3.3.1. Determinación del residuo seco

El residuo seco es la cantidad de sales disueltas que presenta un agua y que varía dependiendo de las características del terreno por donde circule esta (9).

Para determinar este parámetro se pesó una cápsula de porcelana, previamente desecada a 120 °C, en la balanza. Luego se añadieron 25 mL de muestra y se introdujo en la estufa a 180 °C durante 24 horas (10,11). Una vez transcurrido este tiempo, se

mantiene en el desecador durante 2 horas hasta peso constante y se vuelven a pesar (Figura IV).



Figura IV. Estufa con cápsulas durante la determinación de residuo seco

El cálculo se realizó de la siguiente manera:

$$\text{Residuo seco} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(P' - P) * 1000}{25} * 1000$$

donde:

P'= peso en gramos de la muestra después de desecar

P= peso en gramos de la cápsula vacía

3.3.2. Determinación de cloruros

Para realizar la determinación de este parámetro se llevó a cabo una valoración por precipitación con nitrato de plata (AgNO_3). Se preparó una disolución patrón de AgNO_3 con una concentración igual a 0.0094 N y se utilizó como indicador cromato potásico (KCrO_4) 0.25M.

Para la valoración se añadieron en un matraz Erlenmeyer 25 mL de muestra y 2 mL de KCrO_4 , obteniendo un color amarillo (Figura V) que cambiará a ocre cuando la valoración llegue al punto final (Figura VI). Antes de analizar las muestras se realizó un blanco con agua destilada.(9)

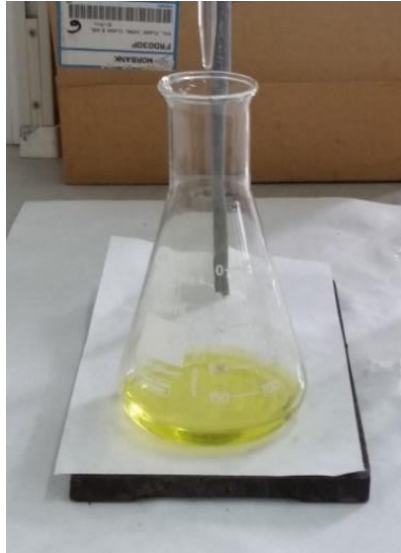


Figura V. Muestra con indicador antes del punto de equivalencia en la determinación de cloruro



Figura VI. Muestra con indicador después del punto de equivalencia en la determinación de cloruro

Para calcular la cantidad de cloruros se utilizó la siguiente fórmula, basada en el principio de igualdad entre equivalentes de valorante y valorado:

$$\text{Cloruro} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(V' - V) * 0,009411 * 35,45 * 1000}{25}$$

donde:

V'= mililitros de AgNO_3 utilizados en la valoración de la muestra

V= mililitros de AgNO_3 utilizados en la valoración del blanco

35,45= masa atómica del cloro en g/mol

3.3.3. Determinación de la dureza

Se denomina dureza del agua a la cantidad de sales de calcio y magnesio, principalmente en forma de bicarbonatos, que presenta el agua.

La determinación se realizó mediante una volumetría complexométrica con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) a pH 10 y en presencia de negro de eriocromo T como indicador. Con este fin, se preparó una disolución patrón de EDTA 0.02 M y se añadieron en un matraz Erlenmeyer 50 mL de muestra, 5 mL de tampón $\text{NH}_3^+/\text{NH}_4^+$ a pH 10 y una punta de espátula de indicador. Al realizar la valoración se observa el cambio de color de rojo (Figura VII) a azul (Figura VIII) indicando el final de esta(9).

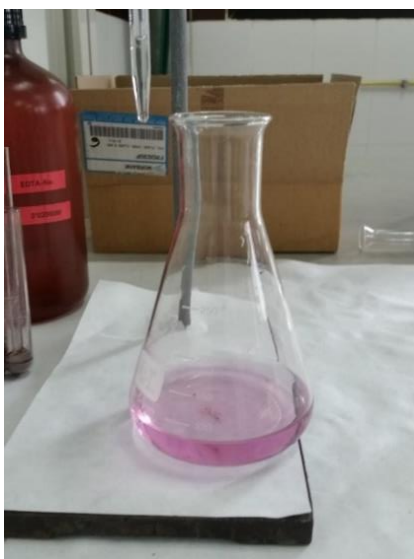


Figura VII. Muestra con indicador antes del punto de equivalencia en la determinación de la dureza

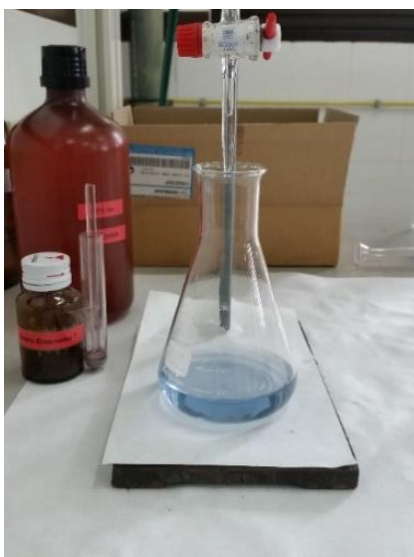


Figura VIII. Muestra con indicador después del punto de equivalencia en la determinación de la dureza

La dureza se expresa como carbonato cálcico (CaCO_3) y se utiliza la siguiente expresión para calcularlo

$$\text{CaCO}_3 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{V * 0,02 * 100 * 1000}{50}$$

donde:

V= mililitros de EDTA utilizados en la valoración de la muestra

100= masa molar del CaCO_3 en g/mol

3.3.4. Determinación de calcio y magnesio

Para realizar la determinación de calcio se realizó una valoración complexométrica con EDTA 0.02 M a pH 12 y utilizando como indicador la murexida. Para ello se tomaron 50 mL de muestra, 2.5 mL de NaOH 1 M y una punta de espátula de murexida en un matraz Erlenmeyer. La valoración termina cuando la muestra pasa de color rojo (Figura IX) a púrpura. (Figura X) (9)



Figura IX. Muestra con indicador antes del punto de equivalencia en la determinación de calcio

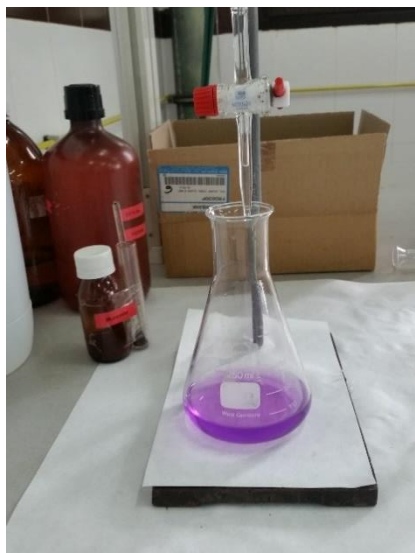


Figura X. Muestra con indicador después del punto de equivalencia en la determinación de magnesio

Los cálculos se realizaron siguiendo esta fórmula:

$$\text{Calcio} \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{V * 0,02 * 40 * 1000}{50}$$

donde

V= mililitros de EDTA utilizados en la valoración de la muestra

40= masa atómica del calcio en g/mol

El magnesio presente en agua se calcula por la resta entre la dureza total y la concentración de calcio. A partir de esto, se determinó este elemento mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Magnesio} \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(V - V') * 0,02 * 24,3 * 1000}{50}$$

Donde

V= mililitros de EDTA utilizados en la valoración de dureza de la muestra

V'= mililitros de EDTA utilizados en la valoración de calcio de la muestra

24,3 = masa atómica del magnesio en g/mol

3.3.5. Determinación de sodio

Para cuantificar el sodio se utilizó el método de fotometría de llama (Figura XI) (12).

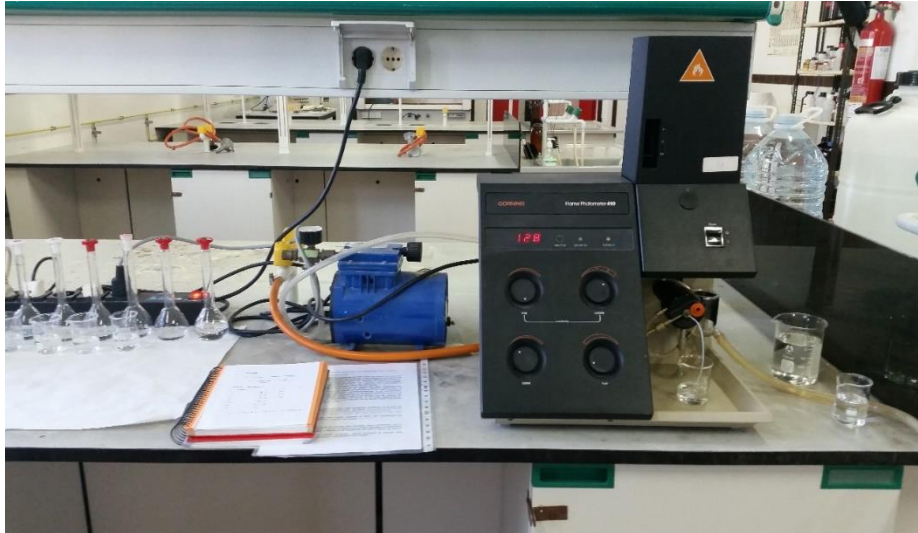


Figura XI. Fotómetro de llama

Se realizó una recta de calibrado utilizando disoluciones con concentraciones de sodio conocidas (1-100 mg/L) a partir de un patrón de 1000 mg/L y agua destilada. A partir de los resultados obtenidos con la medida experimental se hizo un análisis de datos obteniendo una recta de calibrado con un valor del coeficiente de determinación $R^2 = 0,9993$. El estudio de los residuales y de su correspondiente gráfico demostró que estos estaban distribuidos aleatoriamente, que sus valores estaban compensados y que no existía una tendencia en ellos. Por ello, la recta obtenida se podría utilizar con confianza (probabilidad $\alpha = 0,05$) para la cuantificación del sodio en muestras acuosas. La ecuación de la recta obtenida fue la siguiente:

$$y = (4,61 \pm 0,22)x + (2,85 \pm 11,80)$$

siendo la t para una probabilidad de 0.05 y 3 grados de libertad es igual a 3,18. (Figura XII).

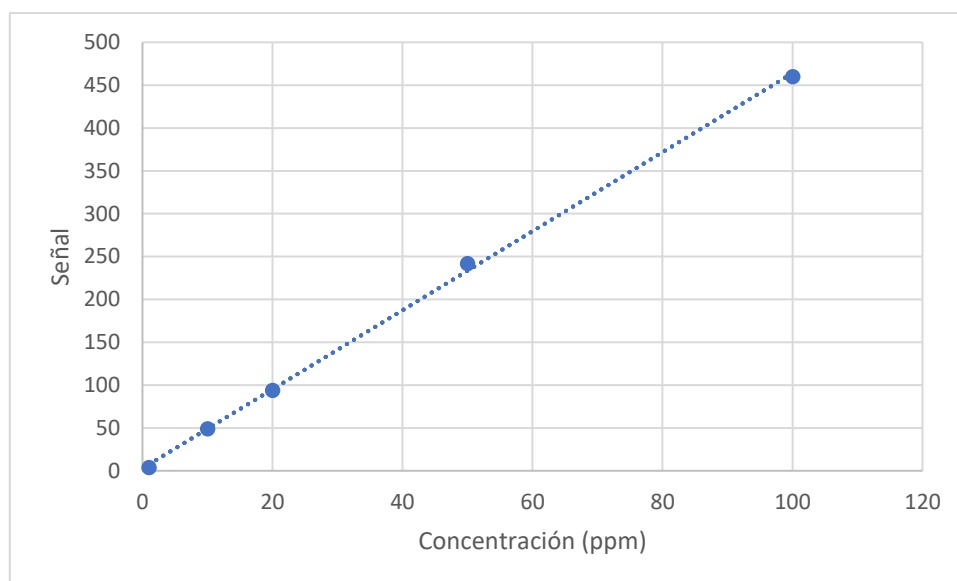


Figura XII. Recta de calibrado para Na

Una vez realizado esto se procedió a medir las muestras. Los resultados se obtuvieron a través de la siguiente ecuación:

$$Na \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(S - 2,85)}{4,61}$$

donde

S= señal obtenida de fotómetro

3.3.6. Determinación de potasio

La determinación se llevó a cabo mediante fotometría de llama (12). Primero, se elaboró una recta de calibrado empleando disoluciones con concentraciones de potasio conocidas (1-50 mg/L) a partir de un patrón de 1000 mg/L. Luego, se realizó un análisis de datos donde se obtuvo una recta de calibrado con un valor del coeficiente de determinación $R^2 = 0,9976$. El estudio de los residuales y de su gráfico señaló que estos estaban distribuidos aleatoriamente, que sus valores estaban compensados y no existía una tendencia en ellos. Por lo tanto, la recta obtenida se podría utilizar con confianza (probabilidad $\alpha = 0,05$) para la cuantificación del potasio en muestras de agua. La ecuación de la recta obtenida fue la siguiente:

$$y = (10,94 \pm 0,98)x + (7,54 \pm 25,06)$$

siendo la t para una probabilidad de 0.05 y 3 grados de libertad es igual a 3,18.

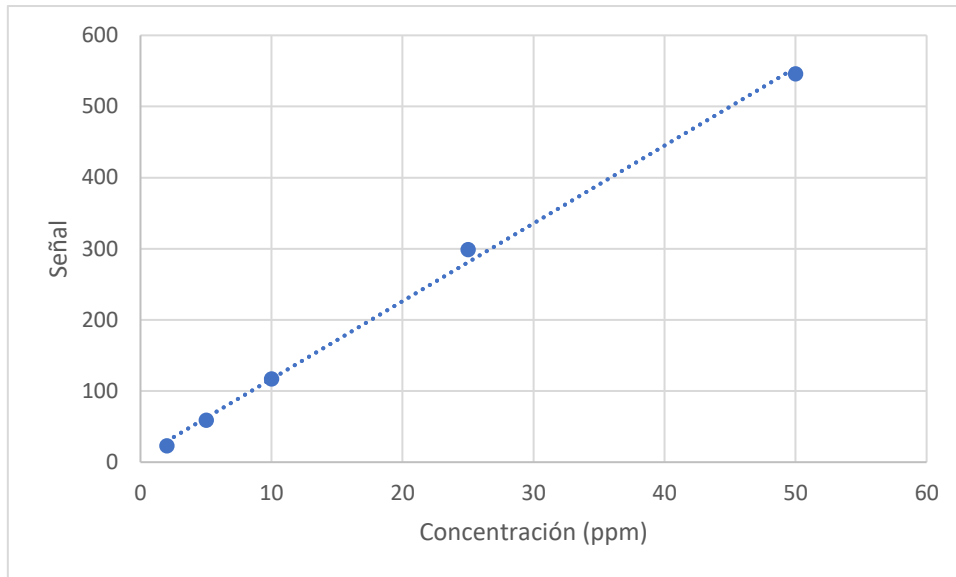


Figura XIII. Recta de calibrado para K

Los resultados de las muestras analizadas se obtuvieron mediante la ecuación siguiente:

$$K\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{(S - 7,54)}{10,94}$$

donde

S= señal obtenida de fotómetro

4. RESULTADOS

A continuación, se muestran en tablas los resultados obtenidos para las distintas muestras de la isla de Tenerife organizadas por zonas (Tablas 1 a 5) así como para las islas de La Palma (Tabla 6) y Gran Canaria (Tabla 7).

Tabla 1 Resultados área metropolitana

Localidad	Residuo seco (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	CaCO ₃ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)
Anaga (S/C de Tenerife)	112	49,38	82,07	19,20	8,26	21,06	2,69
Santa Cruz de Tenerife	444	124,77	168,15	31,20	21,87	56,84	9,82
El Tablero (S/C de Tenerife)	428	13,34	130,12	12,80	23,81	82,21	8,73
Bajamar (San Cristóbal de La Laguna)	272	80,07	114,10	24,80	12,64	40,15	5,53
San Cristóbal de La Laguna	556	24,02	280,25	16,80	57,83	81,78	27,93
La Esperanza (El Rosario)	320	30,03	136,12	17,60	22,36	55,33	12,11
Radazul (El Rosario)	440	85,41	154,14	19,20	25,76	79,18	13,94
Tegueste	376	76,07	200,18	23,20	34,51	56,41	13,02

Tabla 2 Resultados zona sureste

Localidad	Residuo seco (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	CaCO ₃ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)
Candelaria	344	122,10	164,15	16,00	30,13	52,51	13,21
Iguete (Candelaria)	72	14,68	54,05	7,20	8,75	20,85	5,98
Arafo	524	88,74	160,15	21,60	25,76	91,54	13,21
Güímar	444	85,41	176,16	22,40	29,16	73,11	13,48
Fasnia	632	14,01	188,17	18,40	34,51	68,77	33,23
Porís de Abona (Arico)	412	124,77	142,13	16,80	24,30	77,88	19,33
Granadilla de Abona	788	18,68	216,20	12,80	44,71	76,36	37,62
San Miguel de Abona	528	18,02	288,26	54,40	36,94	60,96	25,18

Tabla 3 Resultados zona suroeste

Localidad	Residuo seco (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	CaCO ₃ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)
Vilaflor	88	3,34	28,03	4,80	3,89	21,93	5,53
Los Cristianos (Arona)	320	169,48	86,08	13,60	12,64	77,23	8,45
Cabo Blanco (Arona)	660	66,06	304,28	30,40	55,40	92,19	29,48
Valle San Lorenzo (Arona)	520	16,01	184,17	33,60	24,30	82,65	26,92
Costa Adeje (Adeje)	328	176,15	68,06	13,60	8,26	74,41	6,26
Adeje	780	68,73	180,16	16,00	34,02	73,11	41,55
Guía Isora	836	18,02	244,22	35,20	37,91	86,12	48,68
Playa San Juan (Guía Isora)	968	21,35	314,29	40,00	52,00	88,29	50,51

Tabla 4 Resultados zona noroeste

Localidad	Residuo seco (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	CaCO ₃ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)
Santiago del Teide	1284	40,70	298,27	32,80	52,49	96,96	41,55
Buenavista del Norte	284	4,67	30,03	4,00	4,86	64,43	14,76
Los Silos	612	28,69	212,19	23,20	37,42	94,79	22,90
El Tanque	272	2,00	28,03	7,20	2,43	63,57	14,49
Garachico	792	26,69	270,25	34,40	44,71	68,77	31,31
Icod de los Vinos	420	4,67	84,08	7,20	16,04	82,21	24,00
La Guancha	332	1,33	38,03	4,00	6,80	62,91	12,29
San Juan de la Rambla	748	11,34	182,17	22,40	30,62	55,76	27,20

Tabla 5 Resultados zona noreste

Localidad	Residuo seco (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	CaCO ₃ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)
Los Realejos	456	16,01	146,13	16,80	25,27	17,81	24,00
La Orotava	448	15,35	92,08	9,60	16,52	57,93	8,45
Puerto de la Cruz	488	30,03	200,18	16,00	38,88	47,09	26,28
Santa Úrsula	448	50,04	200,18	16,80	38,39	49,90	19,42
La Victoria de Acentejo	584	12,01	238,22	10,40	51,52	64,43	27,47
La Matanza de Acentejo	960	10,01	448,41	17,60	98,17	96,96	48,31
El Sauzal	620	20,68	206,19	11,20	43,25	67,69	27,65
Tacoronte	388	23,35	228,21	24,80	40,34	68,77	13,02

Tabla 6 Resultados La Palma

Localidad	Residuo seco (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	CaCO ₃ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)
Mazo	148	12,68	20,02	6,40	0,97	18,90	3,70
Breña Alta	72	5,34	28,03	6,40	2,92	16,73	3,79
Breña Baja	48	6,01	32,03	5,60	4,37	16,73	2,88
Santa Cruz de la Palma	64	6,67	30,03	7,20	2,92	21,93	4,16
Puntallana	44	6,67	32,03	8,00	2,92	14,13	2,05
San Andrés y Sauces	40	4,67	32,03	7,20	3,40	14,56	2,69
El Paso	132	4,00	36,03	7,20	4,37	38,41	6,90
Los Llanos (Los Llanos de Aridane)	420	10,68	136,12	20,00	20,90	62,26	14,76
Las Manchas (Los Llanos de Aridane)	68	8,67	36,03	5,60	5,35	28,00	6,17

Tabla 7 Resultados Gran Canaria

Localidad	Residuo seco (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	CaCO ₃ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)
Firgas	280	32,69	138,13	34,40	12,64	53,16	8,09
Valleseco	192	20,68	96,09	15,20	14,09	27,57	2,97
Vecindario (Santa Lucía de Tirajana)	274	170,15	64,06	13,60	7,29	29,74	3,61
Teror	296	34,70	132,12	25,60	16,52	68,77	8,45
Arucas	210	100,75	72,07	15,20	8,26	76,36	2,69
San Mateo	112	24,69	80,07	18,40	8,26	36,24	3,88
Agaete	102	51,38	102,09	39,20	0,97	49,90	2,69
Triana (Las Palmas de G.C.)	206	142,79	68,06	17,60	5,83	92,62	4,80
7 Palmas (Las Palmas de G.C.)	242	142,79	106,10	24,80	10,69	90,89	5,62
Tafira (Las Palmas de G.C.)	236	141,45	74,07	20,80	5,35	33,64	5,25
Telde	244	187,49	100,09	20,80	11,66	35,38	5,16

5. DISCUSIÓN

El residuo seco permite clasificar las aguas en(13):

Tabla 8 Clasificación según residuo seco

Mineralización	Residuo seco (mg/L)
Muy débil	inferior a 50 mg/L
Débil	entre 50 y 500 mg/L
Fuerte	superior a 1500 mg/L

Si observamos la Figura XIV se puede concluir que ninguna de las aguas analizadas entra dentro de los requisitos de mineralización fuerte. Las que podemos clasificar como aguas de mineralización muy débil son las correspondientes a San Andrés y Sauces, Puntallana y Breña Baja. Las aguas del resto de La Palma y de Gran Canaria se consideran de mineralización débil.

Con respecto a la isla de Tenerife observamos que la mayoría se encuentra dentro del grupo de mineralización débil exceptuando las muestras de Valle San Lorenzo, Arafo, San Miguel de Abona, San Cristóbal de La Laguna, La Victoria, Los Silos, El Sauzal, Fasnia, Cabo Blanco, San Juan de la Rambla, Adeje, Granadilla de Abona, Garachico, Guía Isora, La Matanza, Playa San Juan y Santiago del Teide. Estas últimas poseen una mineralización superior, aunque no alcanzan valores de mineralización fuerte. (Figura XIV1). Es destacable que la mineralización del agua en Santiago del Teide (1284 mg/L) sea unas 30 veces superior a la más baja encontrada (San Andrés y Sauces con 40 mg/L).

A efectos del consumidor estas aguas no son perjudiciales, sin embargo; se recomienda que sean de mineralización débil o muy débil para aquellas personas que padezcan enfermedades renales, hipertensión y para la población infantil.

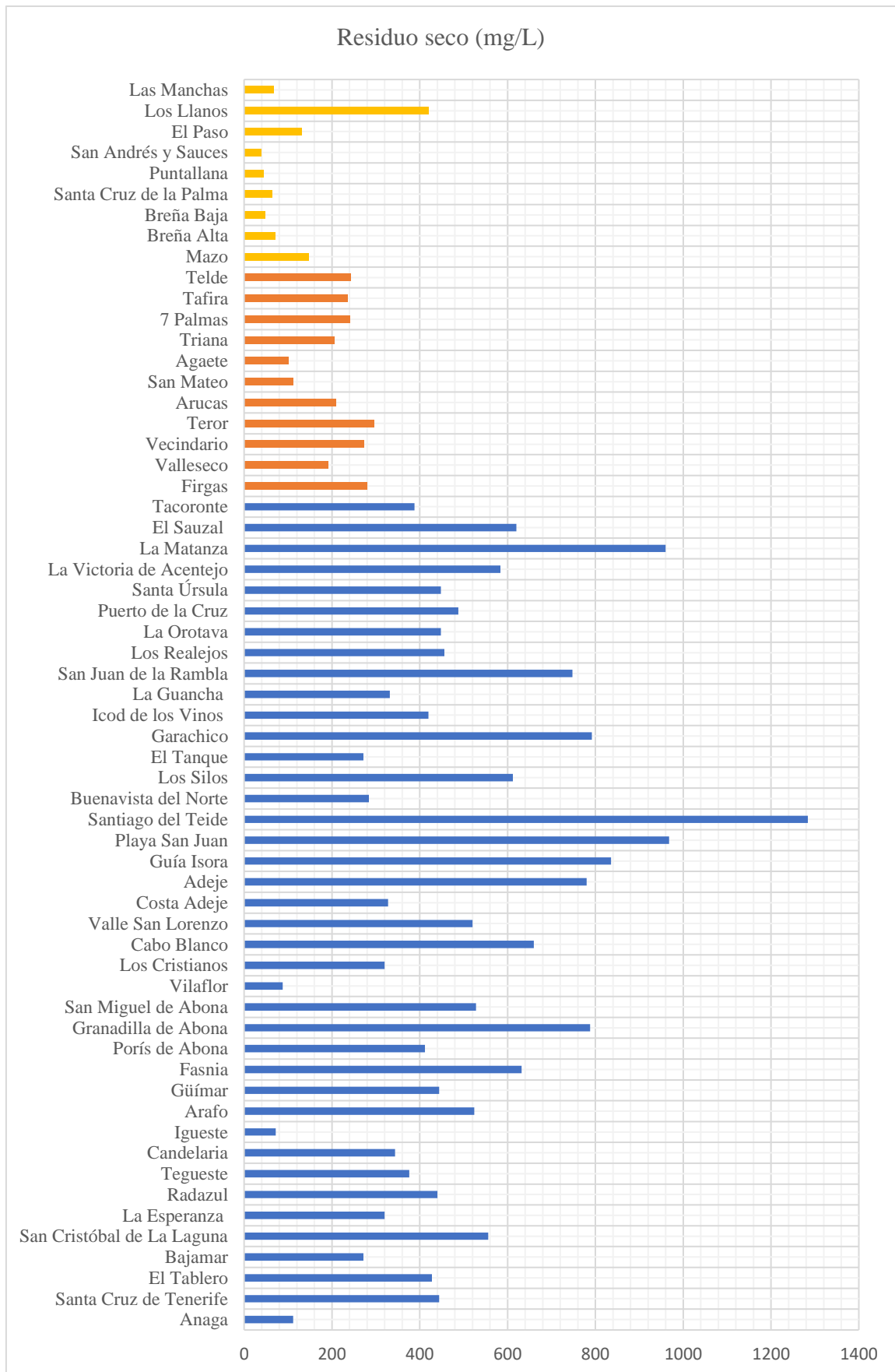


Figura XIV. Resultados residuo seco. En amarillo se presentan los resultados correspondientes a la isla de La Palma, en naranja los de Gran Canaria y en azul los de Tenerife

En lo referido a cloruros, según el RD 140/2003 (1), las aguas aptas para consumo humano deben tener un máximo 250 mg/L por lo que todas las muestras analizadas están dentro del valor legal establecido.

Es cierto que observamos valores muy bajos en la isla de la Palma y cantidades altas en Gran Canaria. En la isla de Tenerife se observa una variedad que no se correlaciona con las zonas geográficas, aunque se puede apreciar que en zonas costeras la cantidad de cloruros es mayor (Figura XV).

Estos valores no son perjudiciales para la salud, aunque los consumidores pueden percibir un cierto sabor salado en aquellas que posean mayor concentración (14).

Según la dureza el agua se clasifica como(15):

Tabla 9 Clasificación de aguas según dureza

Tipo	Grado de dureza
Aguas muy blandas	inferior a 7,9 °F
Aguas blandas	entre 8 °F y 14,9 °F
Semiduras	entre 15 °F y 32,9 °F
Duras	entre 33 °F y 54,9 °F
Muy duras	superior a 55 °F

Como podemos observar en la Tabla 10, la mayoría de las aguas analizadas son semiduras. Sólo se encontró un agua dura en la isla de Tenerife, concretamente el municipio de la Matanza con un valor de 44,84 °F. De hecho, la muestra tomada en La Matanza llega casi a quintuplicar el valor más bajo obtenido en la zona noreste (La Orotava) e incluso a multiplicar por 20 el valor más bajo obtenido en todas las muestras estudiadas (Mazo -La Palma-).

Dentro del grupo de aguas muy blandas, encontramos las muestras de La Palma a excepción de la procedente de Los Llanos. También dentro de esta categoría se encuentran las aguas de Vilaflor, El Tanque, La Guancha, Buenavista del Norte, Igueste y Costa Adeje pertenecientes a Tenerife. En Gran Canaria, las aguas muy blandas son Vecindario, Triana, Arucas y Tafira (Tabla 10).

Con respecto a la salud, la OMS señala que no existe ningún efecto perjudicial al consumir aguas muy duras (14).

Tabla 10 Clasificación de las muestras analizadas según su dureza

Aguas muy blandas	Aguas blandas	Aguas semiduras	Aguas duras
Mazo	San Mateo	Radazul	La Matanza
Vilaflor	Anaga	Arafo	
El Tanque	Icod de los Vinos	Candelaria	
Breña Alta	Los Cristianos	Santa Cruz de Tenerife	
Buenavista del Norte	La Orotava	Güímar	
Santa Cruz de la Palma	Valleseco	Adeje	
Breña Baja	Telde	San Juan de la Rambla	
Puntallana	Agaete	Valle San Lorenzo	
San Andrés y Sauces	7 Palmas	Fasnia	
El Paso	Bajamar	Tegueste	
Las Manchas	El Tablero	Puerto de la Cruz	
La Guancha	Teror	Santa Úrsula	
Igüeste	La Esperanza	El Sauzal	
Vecindario	Los Llanos	Los Silos	
Costa Adeje	Firgas	Granadilla de Abona	
Triana	Porís de Abona	Tacoronte	
Arucas	Los Realejos	La Victoria de Acentejo	
Tafira		Guía Isora	
		Garachico	
		San Cristóbal de La Laguna	
		San Miguel de Abona	
		Santiago del Teide	
		Cabo Blanco	
		Playa San Juan	

Actualmente, no existen valores máximos ni mínimos en la legislación para los elementos calcio y magnesio.

Observando el gráfico, podemos decir que las aguas de La Palma y de Gran Canaria tiene una concentración mayor de calcio que de magnesio. En Tenerife ocurre lo contrario, la mayoría de las muestras analizadas muestran una cantidad mayor de magnesio que de calcio; siendo el municipio de La Matanza con la concentración más

alta de magnesio. (Figura XVII)

A efectos del consumidor, no existen estudios que indiquen que altas concentraciones causen efecto perjudicial (14).

La legislación establece como cantidad máxima de sodio 200 mg/L (1), teniendo esto en cuenta podemos afirmar que todas las aguas analizadas se encuentran dentro de la legalidad.

Al observar la Figura XVIII, podemos decir que las aguas de Vilaflor, Igueste y Anaga, en la isla de Tenerife; y las de La Palma, exceptuando El Paso y Los Llanos; son las que poseen una concentración de sodio menor. El resto presentan una composición en sodio similar destacando La Matanza, en Tenerife y, 7 Palmas y Triana, en Gran Canaria, con una concentración superior. (Figura XVIII).

No existen estudios que relacionen la cantidad de sodio en agua con la hipertensión por lo que no hay un valor de referencia basado en los efectos sobre la salud (14).

En la actualidad no existe legislación que limiten la concentración de potasio en las aguas de consumo.

Observando los resultados podemos decir que las aguas de La Palma y de Gran Canaria presentan concentraciones más bajas de potasio (2,05-14,76 mg/L) mientras que en la isla de Tenerife vemos concentraciones mayores (2,69-50,51 mg/L). Cabe destacar por valor alto obtenido, las muestras de La Matanza (48,31 mg/L) en el noroeste; Guía Isora (48,68 mg/L), Playa San Juan (50,51 mg/L) y Adeje (41,55) en el suroeste; y Santiago del Teide (41,55 mg/L) en el noroeste (Figura XIX).

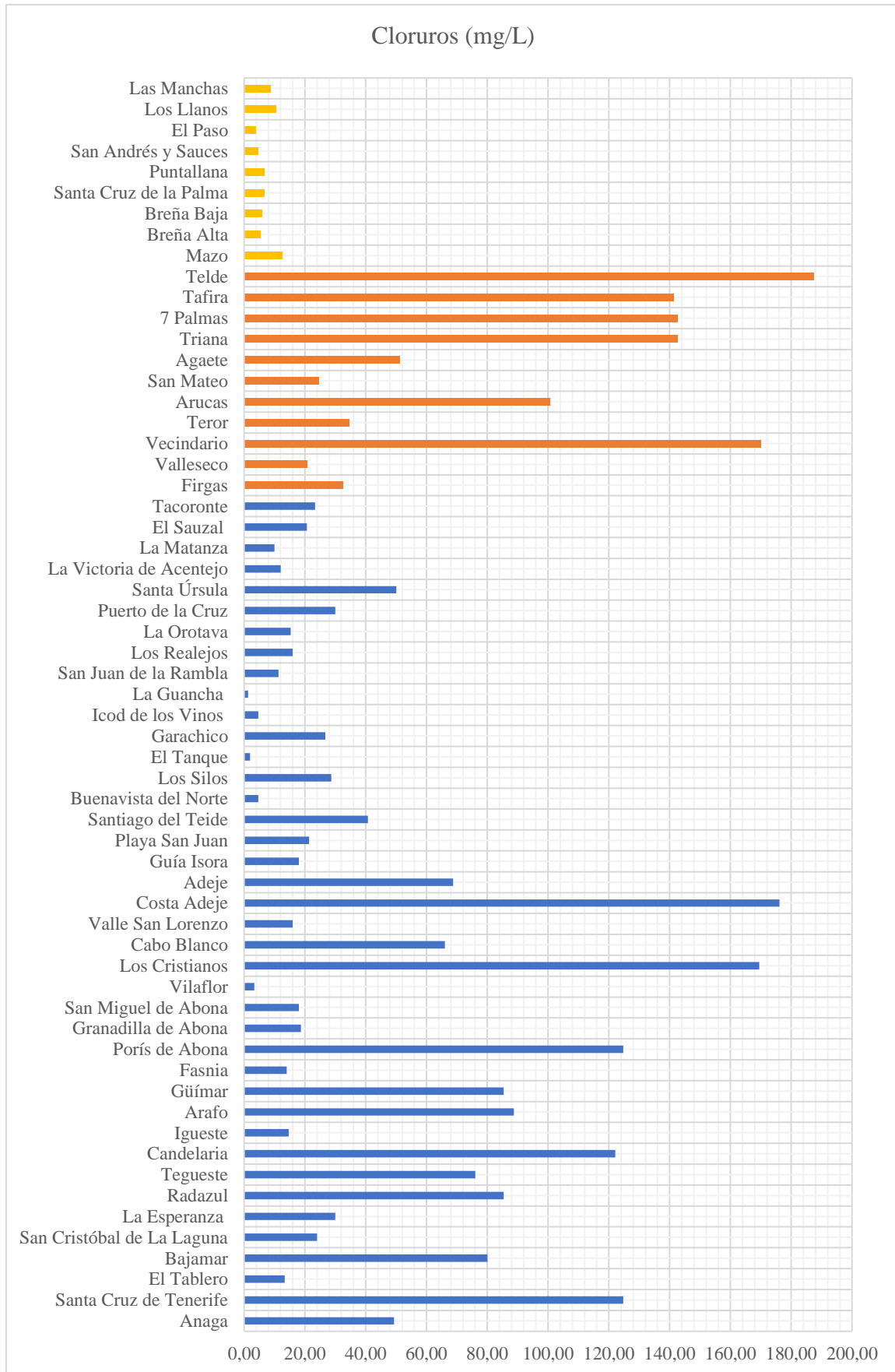


Figura XV. Resultados cloruros En amarillo se presentan los resultados para la isla de La Palma, en naranja los de Gran Canaria y en azul los de Tenerife

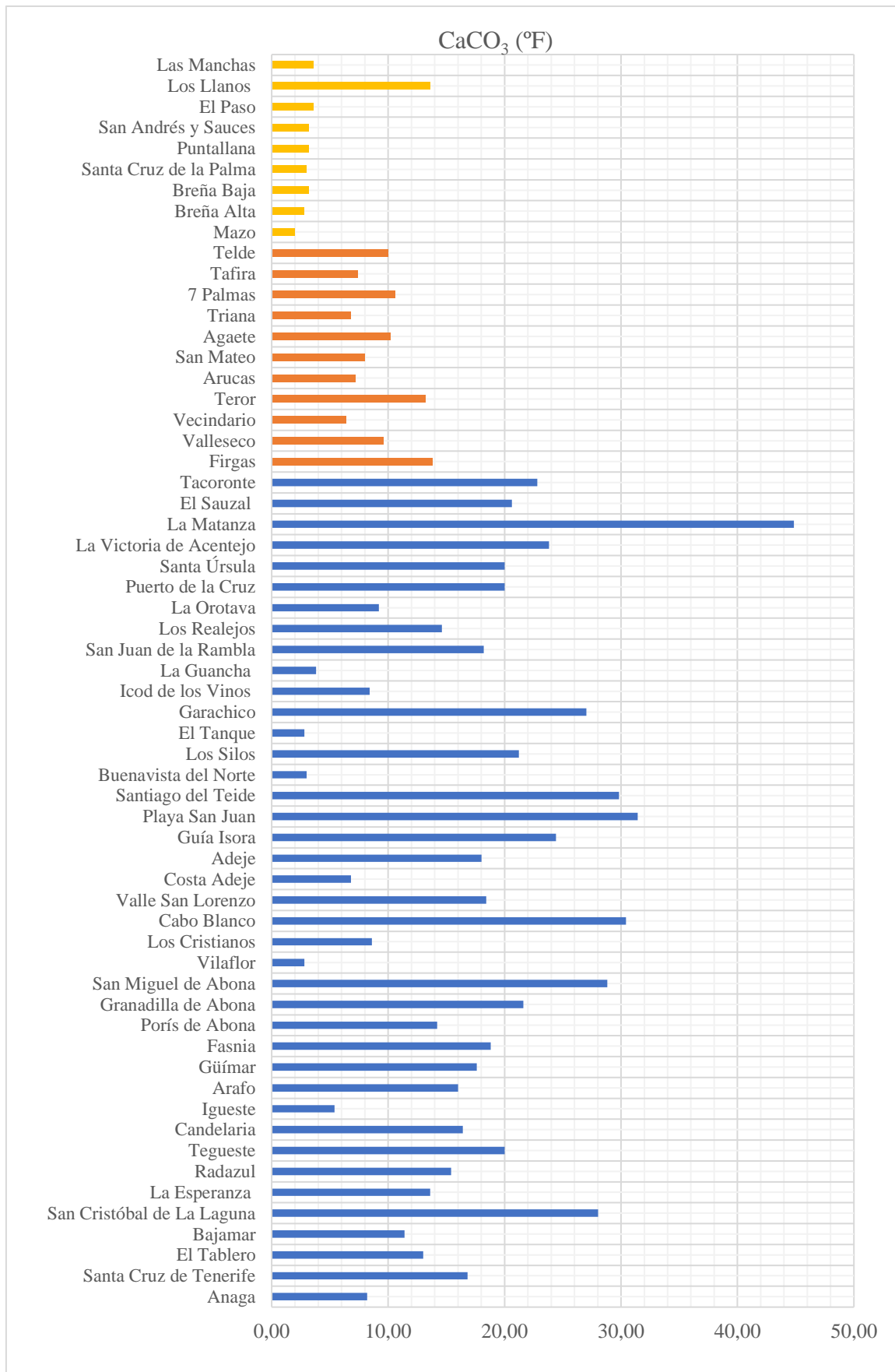


Figura XVI. Resultados dureza. En amarillo se presentan los resultados de La Palma, en naranja los de Gran Canaria y en azul los de Tenerife

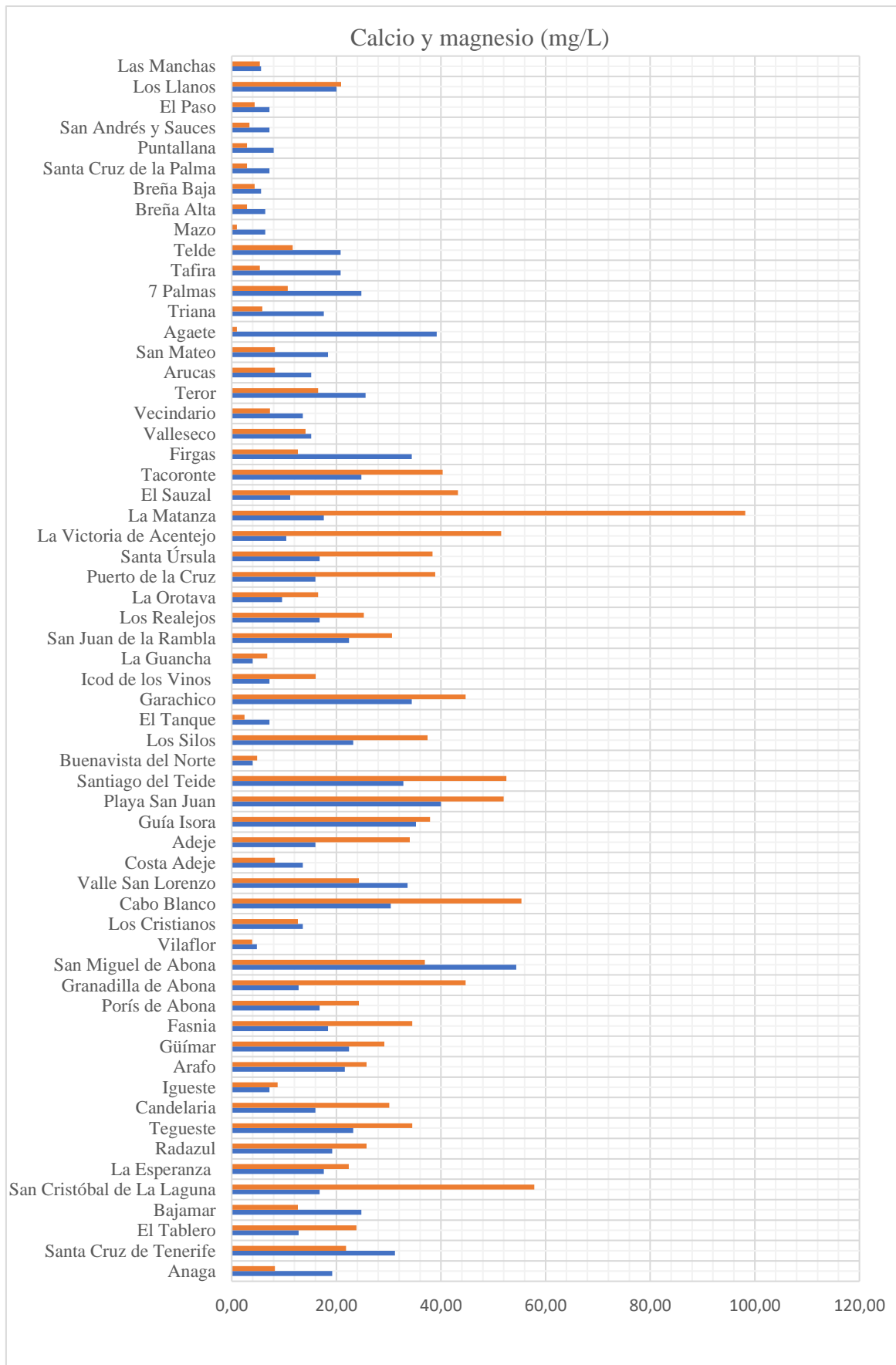


Figura XVII. Resultados calcio y magnesio. En naranja se presentan los resultados de magnesio y en azul los de calcio

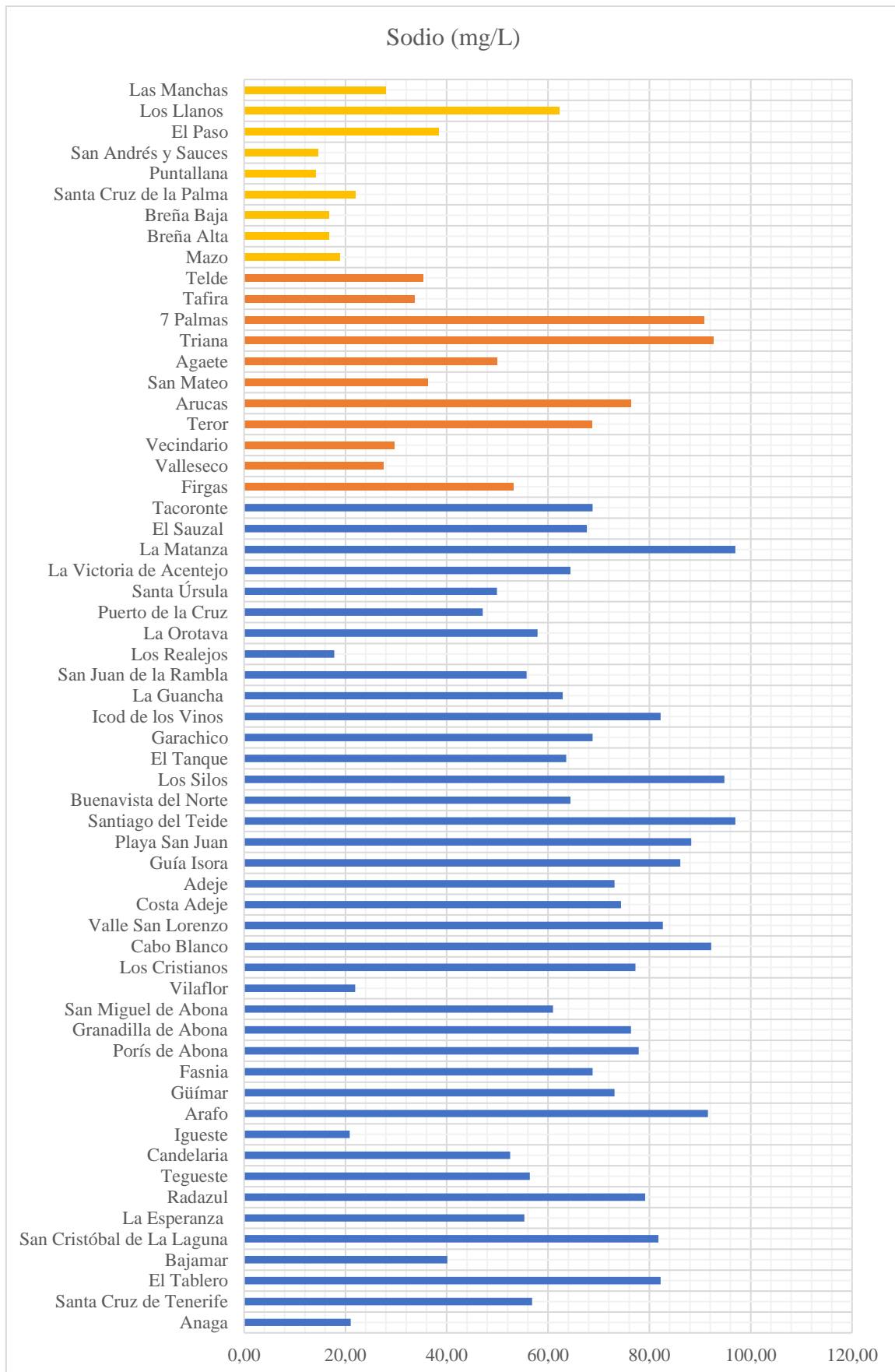


Figura XVIII. Resultados sodio. En amarillo se presentan los resultados de La Palma, en naranja los de Gran Canaria y en azul los de Tenerife

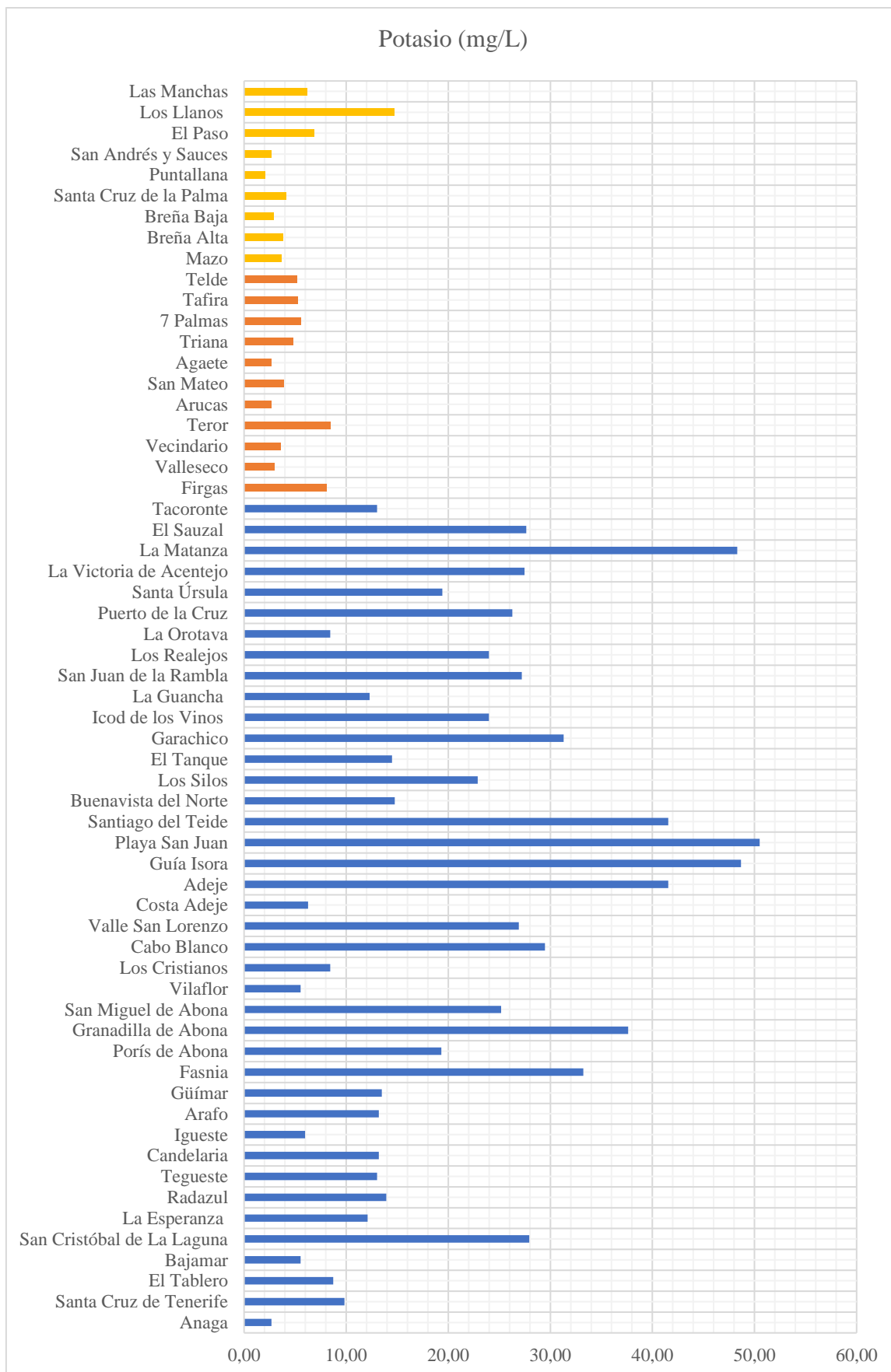


Figura XIX. Resultados potasio. En amarillo se presentan los resultados de La Palma, en naranja los de Gran Canaria y en azul los de Tenerife

6. CONCLUSIONES

Los resultados derivados de este Trabajo de Fin de Grado permiten confirmar que los parámetros para todas las aguas analizadas se encuentran dentro de los límites establecidos en el RD 140/2003, sin existir diferencias considerables.

Los parámetros químicos presentan variaciones entre muestras debido a las características geográficas de donde proceden, obteniéndose aguas de mejor calidad en la isla de La Palma mientras que, el resto presentan una calidad inferior.

En cuanto al residuo seco podemos decir que las mejores aguas son las de La Palma ya que es menor su contenido; mientras que las peores se encuentran en Tenerife, concretamente en La Matanza, Santiago del Teide y Playa San Juan.

Refiriéndonos a cloruros podemos indicar que las aguas del sur de Tenerife y de Gran Canaria son las que mayor concentración presenta de este elemento.

En relación con la dureza, encontramos que las aguas muy blandas se localizan en La Palma y las semiduras y duras en Tenerife. Además, cabe destacar que en Tenerife la concentración de magnesio es superior que la de calcio a diferencia de las otras islas estudiadas.

En lo que respecta a sodio y potasio podemos concluir, a partir de los resultados experimentales, que La Palma es la que menor concentración presenta de ambos elementos. Por otro lado, en Tenerife observamos que la concentración de potasio es mayor que en las otras islas estudiadas mientras que; en lo que respecta al sodio se presentan valores similares entre Gran Canaria y Tenerife.

Teniendo en cuenta que la calidad de las aguas mejora a medida que disminuyen cada uno de los parámetros analizados, se concluye que las aguas de mejor calidad son las de La Palma y las de Vilaflor, Igueste y El Tanque en Tenerife. Por otro lado, las de peor calidad son las correspondientes a Santiago del Teide, Playa San Juan y La Matanza.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ministerio de la Presidencia. Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. Boe [Internet]. 2003;45. Disponible en:
<https://www.boe.es/buscar/pdf/2003/BOE-A-2003-3596-consolidado.pdf>
2. Mcjunkin FE. Agua y Salud Humana. 1988;29-30.
3. EFSA sets European dietary reference values for nutrient intakes | European Food Safety Authority [Internet]. [citado 21 de mayo de 2018]. Disponible en:
<http://www.efsa.europa.eu/en/press/news/nda100326>
4. Consejo de la Unión Europea. Directiva 98/83/CE del Consejo [Internet]. Official Journal of the European Communities 1998 p. 32-54. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:31998L0083>
5. Agua mineral natural: beneficios según su composición [Internet]. [citado 13 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://institutoaguaysalud.es/agua-mineral-natural-beneficios-segun-composicion/>
6. Instituto Nacional de Estadística Consumo medio del agua de los hogares. [citado 21 de mayo de 2018]; Disponible en: <http://www.ine.es/prensa/np992.pdf>
7. Informe climático del año 2016. [citado 21 de mayo de 2018]; Disponible en:
http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/resumes_climat/anuales/res_anual_clim_2017.pdf
8. Porras Martín, Jorge; Nieto López-Guerrero, Pedro; EPTISA: Álvarez-Fernández, Ceferino; Fernández Uría, Antonio; Gimeno MV. Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en España. Informe de síntesis. Tomo ii. Anejos. [citado 21 de mayo de 2018]; Disponible en:
http://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/12_2.pdf
9. Ministerio de Relaciones con las Cortes y de la Secretaría del Gobierno. Orden de 1 de julio de 1987 por la que se aprueban los métodos oficiales de análisis físico-químicos para aguas potables de consumo humano. 1987;163:20911-9.
10. Análisis de aguas. [citado 22 de mayo de 2018]; Disponible en:
http://www4.ujaen.es/~mjayora/docencia_archivos/Quimicaanaliticaambiental/presentacion analisis de aguas.pdf

11. Panreac. Aguas potables de consumo público y aguas de bebida envasadas. Métodos Of análisis. 2001;112.
12. Franson MAH. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Díaz de Sa. Madrid;
13. Tipos de agua mineral | Aguas de Mondariz [Internet]. [citado 16 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.aguasdemondariz.com/tipos-de-aguas>
14. Apéndice P, La A, Edición Volumen T, Organización R, De La Salud M. Guías para la calidad del agua potable. [citado 27 de abril de 2018]; Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowsres.pdf
15. EMMASA - Empresa Mixta de Aguas de Santa Cruz de Tenerife, S. A. [Internet]. [citado 8 de mayo de 2018]. Disponible en: <https://www.emmasa.es/calidad-agua>