

Trabajo Fin de Grado

**Indicadores químicos generales
de calidad de las aguas de
consumo humano.**

Daniel Niebla Canelo



Curso 2017-2018



Departamento de Química
Universidad de La Laguna

AUTORIZACION

María Jesús Sánchez Sánchez y Teresa María Borges Miquel , Profesoras Titulares de Química Analítica de la Universidad de La Laguna,

INFORMAN:

Que **D. Daniel Niebla Canelo**, alumno de Química de la Universidad de La Laguna, ha realizado bajo nuestra dirección el Trabajo de Fin de Grado en Química con el título **“Indicadores químicos generales de calidad de las aguas de consumo humano”**

Revisado el presente trabajo, autorizamos su presentación para que proceda a su lectura y defensa pública para optar al Grado en Química.

San Crsitóbal de La Laguna a cinco de septiembre de dos mil dieciocho.

Fdo: María Jesús Sánchez Sánchez

Fdo: Teresa María Borges Miquel

AGRADECIMIENTOS

Agradecer en primer lugar como no podía ser de otra manera, a toda mi familia, los que están y a los que no están o no quieren estar, pero especialmente a mis padres, que sin ellos esto no hubiera sido posible, por aguantar mis malas formas, mientras uno estudiaba o en general.

Como no agradecer también a mis dos tutoras del trabajo, ya que sin su ayuda y tutorización este trabajo no hubiera tomado forma ni contenido, gracias María Jesús y Teresa. Aprovechar este párrafo para dar las gracias también a todos los profesores que a lo largo de estos años han fomentado mi gusto por la ciencia en general y por la química en particular, que ya venía de serie en mí, pero ha aumentado de forma exponencial, en especial al departamento de química analítica al completo (profesores, técnicos ...) y en particular a los profesores Luis Galindo, Mayte y Guillermo, por sus consejos a lo largo de estos años y por la ayuda en este trabajo.

Por ultimo y no por ello menos importante, agradecer a todos los amigos, tanto a los de toda la vida (María, Vane, Luis...), como a esos compañeros de clase, que, con el paso de los años (Carla, Iliana, Blanca...), o de un par meses y muchas horas de laboratorio y estudio se han convertido en amigos como los de toda la vida (Claudia, Judit...), ya que sin ellos llegar hasta este punto hubiera sido mucho más difícil de lo que de por sí ha sido.

En general agradecer a todo aquel que a lo largo de estos años ha sumado a esta aventura que es sacarse una carrera.

GRACIAS.

RESUMEN

Desde el principio de los tiempos el agua ha sido uno de los recursos más importantes del ser humano, su utilización tiene diversos ámbitos en la actualidad siendo uno de los más importantes el uso para el consumo humano, que se entiende como, aquellas aguas ya sea en su estado original o después del tratamiento, utilizadas para beber, cocinar, preparar alimentos, higiene personal y para otros usos domésticos, o aquellas aguas utilizadas en la industria alimentaria para fines de fabricación, tratamiento, conservación o comercialización de productos o sustancias destinadas al consumo humano, así como, a las utilizadas en la limpieza de las superficies, objetos y materiales que puedan estar en contacto con los alimentos.

Como se ha explicado en las líneas anteriores, el uso de las aguas para el consumo humano conlleva que estas entren en contacto con las actividades humanas, y por ello es necesario realizar un control estricto de la calidad de estas para evitar el contagio de enfermedades y de distintas patologías como pueden ser enfermedades gastrointestinales, cólera, fiebre tifoidea, meningitis, hepatitis, diarrea, entre otras.

Por tanto, la idea principal de esta Trabajo de Fin de Grado es realizar un estudio de los parámetros indicadores químicos generales de la calidad de las aguas de consumo humano, analizando parámetros como son la dureza del agua, cloruros, sulfatos, pH y algunos metales como Hierro, Manganeso, etc. entre otros descritos en el Real Decreto 140/2003 de distintas muestras de agua tomada a lo largo de toda la isla de Tenerife. Además, se realiza un estudio comparativo para comprobar la eficacia de realizar una filtración previa al consumo del agua y una clasificación de las aguas en función de la zona de toma de muestra.

ABSTRAC

Since the beginning of time, water has been one of the most important resources of the human being, its use has various areas at present being one of the most important use for human consumption, which is understood as, those waters either in its original state or after treatment, used for drinking, cooking, preparing food, personal hygiene and for other domestic uses, or those waters used in the food industry for manufacturing, treatment, conservation or commercialization of products or substances destined to the human consumption, as well as those used in the cleaning of surfaces, objects and materials that may be in contact with food.

As explained in the previous lines, the use of water for human consumption means that it comes into contact with human activities, and therefore it is necessary to strictly control the quality of these to avoid the spread of diseases and diseases of different pathologies such as gastrointestinal diseases, cholera, typhoid fever, meningitis, hepatitis, diarrhea, among others.

Therefore, the main idea of this Final Degree Project is to carry out a study of the general chemical indicator parameters of the quality of the water for human consumption, analyzing parameters such as the hardness of water, chlorides, sulfates, pH and some metals as Iron, Manganese, etc. among others described in Royal Decree 140/2003 of different water samples taken throughout the island of Tenerife. In addition, a comparative study is carried out to verify the efficiency of filtering prior to water consumption and a water classification according to the sampling area.

ÍNDICE.

1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1. Contexto actual.	1
1.2. Importancia del agua.	2
1.3. Clasificación de las aguas dependiendo de su uso.	3
1.4. Problema del agua en Canarias.	4
1.5. Legislación sobre el agua de consumo humano.	4
1.6. Control de calidad de las aguas de consumo humano.	5
1.7. Parámetros indicadores de calidad de las aguas de consumo humano.	6
1.8. Otros parámetros de interés.	12
2. OBJETIVOS.	15
3. PARTE EXPERIMENTAL.	17
3.1. Reactivos, estándares, disoluciones y patrones de calibrado.	17
3.2. Material, aparatos, instrumentos, dispositivos y programas informáticos.	21
3.3. Muestras.	25
3.4. Toma de muestra.	26
3.5. Métodos de análisis.	27
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	36
4.1. Presentación y discusión de los resultados obtenidos.	36
4.2. Estudio de los parámetros estadísticos.	60
4.3. Clasificación de las muestras por zonas de la isla de Tenerife.	63
5. CONCLUSIONES	67
6. GLOSARIO DE TERMINOS	68
7. DOCUMENTOS ANEXOS.	69
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	70

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Contexto actual.

En la actualidad la problemática causada por la contaminación del medio ambiente ha alcanzado unos de sus puntos más elevados de la historia, en mayor medida promovida por efecto de las acciones de los seres humanos en el planeta, estas acciones provocan en el entorno donde vivimos y realizamos nuestras actividades diarias un desarreglo en el ciclo natural del medio ambiente, que causan cambios en el clima, el deterioro de los suelos, la pérdida de especies, el incremento de los accidentes medioambientales graves y episodios de contaminación de las aguas, aire y suelos entre otras consecuencias.

Este desarreglo en el ciclo natural de nuestro entorno esta debido a diversos factores como pueden ser, el tipo de desarrollo de las sociedades que se ha implementado en el primer mundo y en consecuencia también en el tercer mundo, la concentración de las urbes e industrias en un mismo espacio, las exigencias que supone el avance tecnológico y sobre todo la demanda de recursos energéticos derivados del petróleo y combustibles minerales.

Como consecuencia de este desequilibrio se producen diferentes efectos no deseables en nuestro entorno como son, la presencia de sustancias que tienen efectos negativos en nuestro día a día (sustancias tóxicas, radiactivas), sustancias con efectos nocivos a largo plazo para el medio ambiente (compuestos clorofluorcarbonos, CFC's), el aumento en la concentración de sustancias naturales generando un efecto negativo (dióxido de carbono, CO₂ generando efecto invernadero) y la aparición de fenómenos producidos por la evolución de los contaminantes en el medio (lluvia ácida, problemas con el ozono troposférico...). [Ref. 1]

Por ello en el presente Trabajo de Fin de Grado se ha escogido una de las 5 esferas del medio ambiente, la Hidrosfera, para realizar un estudio de la calidad de las aguas de consumo humano de la isla de Tenerife a partir de los parámetros indicadores químicos.

1.2. Importancia del agua.

El agua es esencial para los seres humanos y para la vida en general, sin ella seguramente la vida no se hubiera iniciado y desarrollado tal y como la conocemos hoy en día, ya que sirvió como caldo de cultivo para generar las primeras especies, es indispensable para diversos procesos biológicos de los seres vivos y en el ser humano alrededor del 70 % de su cuerpo está compuesto por agua, entre otros datos de interés y propiedades que demuestran su gran importancia.

La cantidad de agua dulce existente en la tierra es limitada, y su calidad está sometida a una presión constante. La conservación de la calidad del agua dulce es importante para el suministro de agua de bebida, en procesos industriales (alimenticios, farmacéuticos, síntesis de productos ...) y el uso en actividades diarias (consumo, higiene, uso recreativo) y esta puede verse comprometida por la presencia de agentes infecciosos, productos químicos tóxicos o radiaciones, por ello es de gran relevancia conocer tanto el origen y sobre todo la calidad de las aguas que se utilizan a diario. [Ref. 1]

De toda la cantidad de agua que existe en nuestro planeta, el 97% se encuentra en los océanos y mares de agua salada, únicamente el restante 3% es agua dulce (**Ilustración 1-a**). Del total de agua dulce en el mundo, el 79% se encuentra en los polos y en las cumbres de las montañas más altas y se encuentra en un estado sólido, por tanto no puede estar disponible para el consumo humano, lo mismo ocurre con el 20% restante del agua dulce, que se encuentra en la humedad del suelo y en los acuíferos profundos, por lo que solo el 1% del agua dulce en el mundo, que se desplaza por las cuencas hidrográficas en forma de arroyos y ríos y se depositan en lagos, lagunas y en otros cuerpos superficiales de agua, como en acuíferos es accesible para el consumo humano (**Ilustración 1-b**).

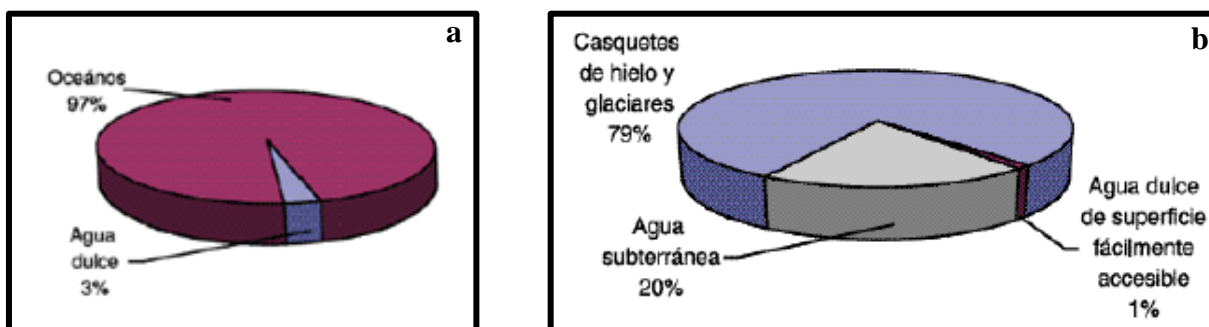


Ilustración 1. Distribución del agua de la Tierra (a), distribución del agua dulce de la tierra (b).

Del 1 % del agua dulce que es accesible esta, se encuentra en un 52 % en lagos, en un 38 % en la humedad del suelo (acuíferos, galerías ...), en un 8% en agua atmosférica, y en un 1% en ríos y en agua accesible en plantas (**Ilustración 1-c**).

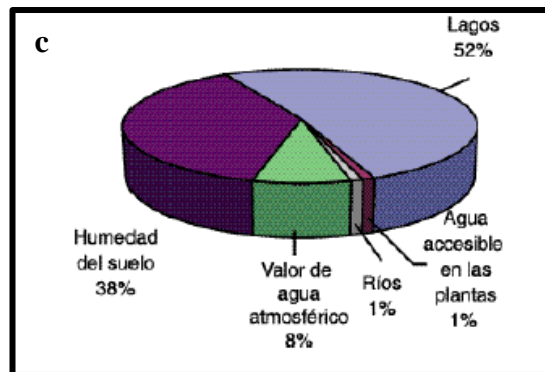


Ilustración 2. Distribución del agua dulce accesible (c).

Dado que de la totalidad del agua de la tierra, menos del 1 % es aprovechable para el consumo humano, es de importancia saber cuidar de esta, de forma natural, gracias al ciclo hidrológico del agua, se realiza una purificación de la misma, a través de procesos de evaporación, precipitación, filtración en montañas y suelos u otros procesos que permiten la distribución de los contaminantes en las diferentes esferas del medio ambiente, purificándose de esta manera el agua previamente contaminada, este ciclo es continuo por lo que se consigue renovar el agua de forma indefinida.^[Ref. 2]

1.3. Clasificación de las aguas dependiendo de su uso.

Existen muchas formas de clasificar las aguas, ya sea dependiendo de su naturaleza (dulces, saladas, oceánicas ...), de su procedencia, (subterráneas, superficiales...), pero es importante tener en cuenta los diferentes usos que se le da al agua por parte del ser humano, ya que tiene una gran relevancia a la hora de valorar la contaminación que presente y en consecuencia su calidad. De acorde a su uso se pueden clasificar como:

- **Uso consuntivos:** Se trata del consumo del agua tras haber modificado su calidad, como son los usos urbanos, domésticos, abastecimiento, industrial, agropecuario, entre otros.
- **Otros usos:** Se utiliza el agua sin importar la calidad de esta ya que no influye en actividades humanas directas, como, por ejemplo, la generación de energía eléctrica, uso recreativo y estético o en la navegación.^[Ref. 2]

1.4. Problema del agua en Canarias.

Contextualizando el problema en la zona de estudio, cabe mencionar de forma breve, que en canarias existe un problema con el agua, debido a las escasas precipitaciones que tiene lugar a lo largo de todo el año, las islas donde llueve menos son Lanzarote y Fuerteventura, debido a que son las más áridas y menos montañosas, por otro lado, las islas donde más llueve son las occidentales, La Palma seguida de Tenerife, pero aun así el problema es general en todo el archipiélago. Por estos motivos en Canarias el agua se aprovecha tanto la que circula por la superficie o por los barrancos (aprovechamiento superficial), como la que circula por el interior de la tierra (aprovechamiento subterráneo), formando galerías pozos y acuíferos. El aprovechamiento superficial se realiza con la construcción de presas en los barrancos o en el caso de no construir una presa el agua se encauza hacia un canal o tomadero que transporta el agua hasta un embalse. Además, también se obtiene agua para el consumo humano a partir de plantas desaladoras de agua de mar.

Las peculiaridades del suelo de las islas canarias y la obtención de parte del agua de consumo humano de pozos, galerías, acuíferos y del mar dan a las aguas unas características propias y propiedades fisicoquímicas que dependen del origen de estas, haciendo necesario llevar un control para que no se superen los umbrales límites de los parámetros de calidad de las aguas de consumo humano detallados en la legislación.

1.5. Legislación sobre el agua de consumo humano.

La legislación sobre el agua de consumo humano, está regulada por diversos organismos tanto a nivel mundial, como europeo, nacional e insular, que controlan el uso de esta y su calidad, así por ejemplo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) elabora normas internacionales relativas a la calidad del agua y la salud de las personas en forma de guías, en las que se basan reglamentos y normas de países de todo el mundo que son traducidas a todos los idiomas y se encuentran a disposición de todos en la página web de la OMS, en su sección sobre el agua. [Ref. 9] y [Ref. 10]

A nivel europeo existe la Directiva Marco Europea del Agua (DMA), que nace como respuesta a la necesidad de unificar las actuaciones en materia de gestión de agua en la Unión Europea, además de tener como objetivo establecer un marco para la protección

de las aguas superficiales continentales, las aguas de transición, las aguas costeras y las aguas subterráneas.^[Ref. 5]

En ámbito nacional, en España, existe el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, que tiene como objeto establecer los criterios sanitarios que deben cumplir las aguas de consumo humano y las instalaciones que permiten su suministro desde la captación hasta el grifo del consumidor y el control de estas, garantizando su salubridad, calidad y limpieza, con el fin de proteger la salud de las personas de los efectos adversos derivados de cualquier tipo de contaminación de las aguas.^[Ref. 6]

Finalmente, a nivel autonómico se crea el Programa de Vigilancia Sanitario del Agua de Consumo Humano, donde se pretende propiciar que la administración autonómica, administración local, gestores y demás agentes implicados en el suministro y control de la calidad del agua distribuida a la población, desarrollen su actividad en un marco de actuación ordenado, que facilite, por una parte, el cumplimiento de los criterios de calidad que garanticen un alto nivel de protección de la salud de la población, y por otra, que los consumidores puedan recibir información suficiente sobre la calidad del agua y de las instalaciones del abastecimiento.^[Ref. 7]

Hay que mencionar que nunca una normativa inferior a la europea podrá dar más libertad en cuanto a la calidad de las aguas, sino todo lo contrario, a medida que se pasa de una legislación a otra, cada vez son más restrictivas en lo referido al control de la calidad de las aguas de consumo humano.

1.6. Control de calidad de las aguas de consumo humano.

El control de la calidad de las aguas de consumo humano se puede realizar de diversas maneras, llevando a cabo diferentes tipos de análisis que engloban unos u otros parámetros de calidad, como pueden ser:

- **Análisis completo**, que engloba más de 250 parámetros químicos, físicos, microbiológico y sustancias tóxicas.
- **Análisis de control**, similar al análisis completo, pero descartando los parámetros referidos a sustancias tóxicas, analizando únicamente los parámetros químicos, físicos y microbiológico de las aguas.

- **Análisis del agua del grifo del consumidor**, análisis en el cual solo se analizan los parámetros indicadores de calidad de las aguas, que son los que se detallan a continuación en la **Tabla 1**:

Parámetros indicadores de calidad de las aguas de consumo humano			
Bacterias coliformes	Cloro combinado residual	Conductividad	pH
Recuento de colonias a 22 °C ¹	Cloro libre residual	Hierro	Sabor
Aluminio	Cloro total	Manganeso	Sodio
Amonio	Cloruros	Olor	Sulfato
Carbono orgánico total	Color	Oxidabilidad	Turbidez ¹

Tabla 1. Parámetros indicadores de la calidad del agua de consumo humano. ⁽¹⁾ Se deben realizar medidas a la salida de la ETAP y en la red de distribución.

- **Otros tipos de análisis**, existe una diversidad de tipos de análisis dependiendo de lo que se quiera estudiar en cada momento, como pueden ser análisis de autocontrol de las aguas de consumo humano, vigilancia sanitaria, análisis de contaminantes concretos en situaciones de emergencias medioambientales (parabenos, benceno, hidrocarburos policíclicos aromáticos, HAP's ...).

En el presente trabajo se realizará un análisis del agua del grifo del consumidor, estudiando los parámetros indicadores químicos de calidad de las aguas de consumo humano, escogiendo únicamente los físicos y químicos.

1.7. Parámetros indicadores de calidad de las aguas de consumo humano.

Como se ha mencionado en el apartado anterior, una de las muchas formas de llevar un control sobre la calidad de las aguas, es realizando un análisis en el agua del grifo del consumidor, a partir de los indicadores de calidad de las aguas de consumo humano (**Tabla 1**), dentro de ellos, solo serán estudiados los parámetros químicos, por lo que se descartan las bacterias coliformes y el recuento de bacterias a 22 °C , además por falta de instrumentación o problemas a la hora de realizar las medidas tampoco son determinados el carbono orgánico total y el aluminio, ya que al ser un metal traza la técnica no nos permite detectarlo, tampoco será estudiada la oxidabilidad.

A continuación, serán descritos los parámetros escogidos para la elaboración del presente trabajo:

Amonio.

El amonio está presente en el agua bruta debido a la agricultura, industria y por procesos de cloraminación. Los niveles en agua subterránea y superficial están alrededor de 0,2 mg/L y en aguas con anaerobiosis, pueden llegar a 3 mg/L. La presencia de niveles altos de amonio puede comprometer la eficacia de la desinfección o fallos en la eliminación del manganeso en los filtros dando problemas de sabor y olor, otro motivo de la presencia de amonio puede ser un indicador de contaminación fecal, agrícola o industrial. En el caso de utilizar cloraminación, puede detectarse como consecuencia de la desinfección.

El amonio solo tiene efectos tóxicos si se ingiere en altas dosis, pudiendo producir intolerancia a la glucosa y disminuyendo la sensibilidad a la insulina.

Cloro combinado residual.

Este parámetro es un indicador de la desinfección cuando se utiliza la cloraminación u otros métodos de desinfección con compuestos de cloro, la presencia de este indicador en agua de consumo significa que ha habido una deficiente desinfección, ya que se entiende que el cloro combinado residual es la cantidad de cloro que esta combinada químicamente con el amonio (formando cloroaminas) y con compuestos aminados orgánicos (formando cloroaminas orgánicas) que son perjudiciales, tiene propiedades desinfectantes, pero mucho menores que la del cloro libre.

En España la cloraminación es el método de desinfección utilizado en el suministro para el 13% de la población censada.

Cloro libre residual.

Se entiende como la cantidad de cloro en forma activa (cloro molecular, ácido hipocloroso e hipoclorito) que permanece en el agua, tras la reacción con las sustancias susceptibles de la demanda de cloro.

El cloro Libre Residual es un indicador de la desinfección con cloro o sus derivados. Los niveles de cloro libre residual por encima del valor paramétrico (VP), indican que ha habido un mal tratamiento por exceso de desinfectante. En humanos expuestos a cloro,

tanto cloro libre residual como cloro combinado residual en agua de consumo, no se han observado efectos adversos producidos por el mismo. El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC, International Agency Research on Cancer, sección de la organización mundial de la salud) ha clasificado al hipoclorito en el Grupo 3 (no carcinogénicos en humanos).

Cloro total.

El cloro total se define como la suma aritmética del cloro libre y el cloro combinado residual, y es la forma de expresar la totalidad del cloro que se encuentra en las muestras de agua, tanto el cloro activo como el que se encuentra unido a otras especies.

Cloruros.

La presencia de cloruro en agua de consumo es debida a causas naturales, efluentes industriales e intrusión marina entre otros motivos. Unos niveles excesivos de cloruro incrementan la corrosión de los metales en las tuberías, dependiendo de la alcalinidad del agua, además la aparición de cloruros acompañada de fosfatos y nitritos indican la existencia de episodios de contaminación residual doméstica.

En la última revisión de la OMS, no se ha considerado necesario proponer un valor recomendado desde un punto de vista sanitario. No se han observado efectos adversos en humanos excepto en los casos de compuestos como el cloruro sódico, en personas con patología de base renal o cardíaca, por ejemplo, con insuficiencia cardíaca congestiva.

Color.

El color del agua es debido a diferentes sustancias coloreadas que permanecen en suspensión, estas pueden ser tanto orgánicas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, ácidos grasos ...) o sustancias inorgánicas (hierro, manganeso...). En el agua de consumo puede ser debido a la disolución del hierro o cobre en las instalaciones interiores.

El hecho de que el agua presente algún tipo de coloración no tiene efectos adversos en la salud del consumidor, pero si es un factor de rechazo por parte de la sociedad.

Conductividad

Se trata de la medida de la resistencia que opone el agua al paso de la corriente eléctrica entre dos electrodos sumergidos en el agua, este parámetro es un buen indicador de la concentración de sales que contienen las aguas, ya que son estas las que generan el paso

de la corriente eléctrica, puesto que de por sí el agua es neutra y no permite el paso de corriente eléctrica. Es uno de los indicadores más sensibles para detectar posibles contaminaciones externas en la red de distribución, comparando la conductividad en distintos puntos de la red, por ejemplo, para conocer el buen mantenimiento de una instalación interior, se compara la conductividad en la acometida y en el grifo del consumidor.

En cuanto a su toxicidad a valores muy altos de conductividad superiores a 5000 $\mu\text{S}/\text{Cm}$, no se recomienda su consumo, debido al alto contenido en sales.

Hierro.

El hierro es un metal extraordinariamente común y se encuentra en grandes cantidades en suelos y rocas, aunque normalmente en forma insoluble, sin embargo, debido al gran número de complejas reacciones que se suceden de forma natural en el suelo, existen formas solubles del hierro que puede contaminar cualquier agua que atraviese este. La presencia en agua de consumo también puede ser debida al uso de coagulantes con sales de hierro o a la corrosión de las tuberías de acero y hierro en las instalaciones.

En cuanto a sus efectos adversos en los seres humanos, no se ha encontrado ninguno de gran relevancia, ya que es uno de los elementos que de forma natural se encuentra en nuestro organismo (hemoglobina, citocromos ...), además es de gran importancia en diversos procesos biológicos, grandes cantidades de hierro pueden producir problemas de sabor y turbidez, además de leves lesiones reversibles en ciertos órganos, conocidas como hemocromatosis, también puede acarrear problemas de decoloración en la ropa tras ser lavada.

Manganeso.

Como ocurría en el caso del hierro, el manganeso es un elemento que se encuentra ampliamente en minerales y rocas (formando carbonatos y sulfatos), aparece en las aguas subterráneas debido a las condiciones reductoras de los suelos, convirtiendo el manganeso en una especie soluble en el agua. La presencia en agua de consumo también puede ser debida al uso de coagulantes con sales de Manganeso, como ocurre con el hierro.

De manera similar al Hierro, es otro de los elementos que de forma natural se encuentra en nuestro organismo (procesos con flavoproteínas, síntesis del colesterol y de la hemoglobina, además de actuar como catalizador enzimático...), por lo que no supone

problemas de toxicidad, en concentraciones muy elevadas puede provocar daños al sistema nervioso, aunque estos efectos no están del todo confirmados. En tuberías y sistemas de distribución de aguas, produce incrustaciones de sales de este metal.

Olor y sabor.

Estos dos parámetros serán comentando en conjunto ya que están íntimamente relacionados entre sí, debido a que fisiológicamente las papilas linguales y olfativas detectan estímulos simultáneos y complementarios.

En su estado puro el agua es tanto inodora como insípida, sin embargo, cuando sustancias tanto orgánicas como inorgánicas (H_2S , metales como hierro, manganeso y zinc o aniones como Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) se disuelven en el agua comienza a adquirir un sabor y en ocasiones un olor característico. La presencia de olor y sabor en las aguas de consumo humano supone uno de los motivos más extendidos de rechazo de las aguas por parte de consumidor, por lo contrario, la falta de olor y sabor en las aguas supone uno de los indicativos de la ausencia de contaminantes, como por ejemplos compuestos fenólicos, por otro lado, en ocasiones, la presencia de olor y sabor en las aguas supone un buen proceso de desinfección, como por ejemplo con procesos de cloración. Otra causa de la presencia de olor y sabor en la muestra de agua son los organismos que puedan vivir en ella como pueden ser algas, hongos, bacterias... que se encargan de descomponer la materia orgánica.

Existen diversas clasificaciones en cuanto al olor y sabor de las aguas relacionado con la percepción del consumidor, pero de forma general se pueden clasificar las aguas como, ácidas, saladas, amargas y dulces. La presencia de olor o sabor en las aguas en sí misma no supone riesgo para la salud humano, pero debe ser estudiada por si deriva de otras sustancias o parámetros que si presenten toxicidad.

pH.

El pH o concentración de ion hidrógeno del agua puede afectar al grado de corrosión de los metales, así como a la eficiencia de algunos métodos de desinfección, por ello es importante controlar el pH de las aguas. Este parámetro nos indica el grado de acidez o basicidad de las aguas. La existencia de diferentes valores de pH en las aguas tiene su origen en la diversidad de sustancias que pueden existir disueltas en el agua y los equilibrios que ocurren, una de las especies más significativa es el ácido carbónico.

De forma directa el pH no produce efectos adversos sobre la salud humana, aunque de forma indirecta sí puede afectar a la salud debido a un aumento de algunos metales que provienen de las tuberías (normalmente a pH inferiores a 7) y a una inadecuada desinfección como se ha comentado con anterioridad.

Sodio.

El sodio de forma natural se encuentra en las aguas debido a sus disolución por parte de rocas y minerales, ya que es uno de los elementos más abundantes en la litosfera, de forma antropogénica el sodio puede aparecer en las aguas debido a la eliminación por parte de las industrias de residuos en ríos mares y océanos, que contienen sustancias con sodio.

Como ocurría en el caso del hierro y manganeso, el sodio es un metal que de forma natural se encuentra en nuestro organismo, por lo que su consumo no supone problemas en nuestro organismo, aunque se ha relacionado el consumo de sodio, en el agua de consumo con la aparición de hipertensión arterial, aunque no se ha podido confirmar dicha asociación. Por este motivo en la última revisión de la OMS, no se ha considerado necesario proponer un valor recomendado desde un punto de vista sanitario.

Sulfatos.

La presencia de sulfatos en el agua tiene su origen natural en la propia composición del terreno, normalmente de la disolución de yesos en causas de aguas, de manera antropogénica puede aparecer por procesos de contaminación por el uso de fertilizantes, jabones, detergentes..., además si se utilizan aguas con altos niveles de sulfatos en la construcción puede aparecer episodios, de lo que se conoce como el cáncer del cemento que produce la destrucción del hormigón.

Altos niveles de sulfatos en el agua de consumo producen efectos gastrointestinales, a concentraciones de 1000-1200 mg/l puede tener un efecto laxante.

Turbidez.

La turbidez en las aguas se origina por la presencia de partículas en suspensión o partículas coloidales, es decir partículas que por su tamaño o peso se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en mayor o menor medida, estas partículas pueden tener su origen en minerales, partículas orgánicas húmicas y partículas filamentosas entre otro tipo de sustancias

Aunque no se conocen efectos adversos para la salud humana de la presencia de turbidez en las aguas, como ocurría con la presencia de olor y sabor, debe ser estudiada por que puede deberse a sustancias que si generan un efecto nocivo.

1.8. Otros parámetros de interés.

Además de los parámetros indicadores de la calidad del agua de consumo humano, a la hora del planteamiento del presente trabajo, se consideró oportuno estudiar otros parámetros ya que debido al tema del trabajo y a la procedencia de las muestras de agua resultan parámetros interesantes para clasificar las aguas y estudiar su calidad. Estos parámetros se muestran a continuación (**Tabla 2**):

Otros parámetros de interés		
Alcalinidad	Flúor	Salinidad
Dureza total	Residuo seco a 180 °C	Potasio

Tabla 2. Otros parámetros de interés.

A continuación, como se hizo para los parámetros indicadores, se detallará brevemente los parámetros descritos en la tabla anterior (**Tabla 2**):

Alcalinidad

La alcalinidad es una medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos o lo que es lo mismo la capacidad de captar protones, se expresa en función de las bases que existen en el agua, estas son los iones hidróxidos (OH^-), procedentes del equilibrio de disociación del agua y los iones derivados del anhídrido carbónico (CO_2) y sus equilibrios en disolución acuosa, dando lugar a bases como son, los iones carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-).

Desde el punto de vista de la toxicidad no existen efectos adversos para los seres humanos en función de la alcalinidad de un agua, si tiene efectos negativos en las infraestructuras de distribución del agua pudiendo producir incrustaciones en cañerías y tuberías.

Dureza total.

La dureza del agua está causada por los cationes metálicos, siendo los más importantes el calcio (Ca^{2+}) y el magnesio (Mg^{2+}), aunque todos los cationes divalentes y algunos trivalentes aportan a la dureza total, estos reaccionan con aniones divalentes como son los sulfatos y carbonatos para formar precipitados. La dureza total se entiende como la

suma de los cationes calcio y magnesio, aunque se expresa como la concentración de carbonato cálcico (CaCO_3).

Diversos estudios realizados sobre todo en Estados Unidos relacionan enfermedades cardiovasculares con la ingesta de aguas muy blandas, mientras que por lo contrario la toxicidad de los contaminantes es menor en las aguas duras que en las blandas, el problema que presenta las aguas duras es que producen incrustaciones de carbonato cálcico y magnésico en las tuberías de la red de distribución.

Fluoruros

De manera natural los fluoruros se encuentra en las aguas subterráneas sobre todo en zonas de montañas, donde su concentración suele ser elevada, aparecen principalmente a partir de reacciones del medio con la Fluorita (CaF_2), dando lugar a especies solubles.

La toxicidad del flúor en los seres humanos está determinada por su afinidad a unirse al zinc (esencial en el aprendizaje, la memoria y la formación de anticuerpos) y al yodo (importante en el tiroides y en el sistema hormonal del cuerpo). Además, un exceso de flúor en el organismos produce un endurecimiento y fragilidad en los huesos facilitando su rotura. Otro síntoma de intoxicación por flúor fácilmente perceptible en la población es la presencia de manchas blancas en los dientes conocido como fluorosis.

Residuo seco a 180 °C.

Se trata de la cantidad de sales disueltas y materias orgánicas de tamaño muy pequeño que posee un agua, como consecuencia de las características del terreno en el que está ubicado la fuente de origen del agua o por el proceso de arrastre, en el caso de aguas de consumo, también puede deberse a la disolución de incrustaciones en el sistema de distribución del agua, este tipo de sustancias son por ejemplo HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ .

Desde el punto de vista de la salud, aguas de mineralización muy fuertes no son recomendadas, ya que estas tienen muchas sales, y pueden producir problemas de hipertensión en el organismo o piedras en el riñón, aparte de dar un sabor salino a las aguas, de la misma manera aguas de mineralización muy baja tampoco lo son recomendables, debido a que se produce un déficit de minerales en el organismo, que si no son contrarrestados con la dieta y alimentación, puede producir ciertas enfermedades en los seres humanos.

Salinidad

Representa el contenido iónico total del agua, es un parámetro utilizado habitualmente en las aguas salobres, se identifica con el parámetro total de sólidos disueltos, el aumento de la salinidad en las aguas de consumo puede deberse a efluentes industriales, a la cercanía de la toma de agua al mar entre otros.

En cuanto los problemas derivados de las aguas salinas están produciendo en los seres humanos los mismos efectos que el residuo seco, ya que ambos parámetros están muy relacionados entre sí, además la utilización de aguas muy salinas en el regadío produce desarreglos en el contenido de sales del suelo, disminuyendo las cosechas y empeorando la calidad de estas.

Potasio.

El potasio como elemento químico es uno de los más abundantes en el planeta, concretamente el séptimo más abundante, debido a su alta solubilidad es muy fácil de encontrar en las aguas, este se obtiene de minerales como la carnalita, la langbeinita, la polihalita y silvina.

Este metal no presenta efectos negativos para el ser humano ya que como ocurría en el caso del sodio es un componente esencial de nuestro organismo (sistema nervioso y muscular) y agente principal en diversos procesos biológicos.

Toda la información que aparece descrita para la descripción de cada uno de los parámetros indicadores de la calidad de las aguas de consumo humano, como otros parámetros de interés fue extraída de los distintos libros que aparecen descritos en la bibliografía [Ref. 1], [Ref. 2] y [Ref. 3], como de los informes técnicos sobre calidad del agua de consumo humano en sus diferentes ediciones. [Ref. 8]

2. OBJETIVOS.

Es de gran importancia conocer la calidad de las aguas, puesto que de ella depende que sea apta para el consumo humano, evitando de esta manera el contagio de enfermedades entre otros problemas, por tanto, los objetivos del presente Trabajo de Fin de Grado son:

- Llevar a cabo un estudio analítico multitecnica, para obtener los parámetros indicadores químico de calidad de las aguas de consumo humano y otros parámetros de interés de la isla de Tenerife.
- Realizar un estudio previo de cada uno de ellos, para optimizar los métodos utilizados en cada una de las muestras escogidas (cantidad de muestra a tomar, instrumentación a utilizar...).
- Una vez obtenidos los parámetros de calidad de agua de la isla de Tenerife, intentar concluir si las aguas presentan una calidad adecuada en base a la legislación vigente.
- Desarrollar una toma de muestra adecuada para obtener unos resultados que sean representativos del territorio de estudio.
- Tras tener los parámetros de interés, después de haber realizado el procedimiento experimental, intentar clasificar las aguas de la isla en función de ellos.
- Además, se pretende realizar un estudio comparativo con una serie de muestras tomadas en el mismo lugar, una de ellas directamente de la red de distribución (grifo del consumidor) y otra tras ser filtrada , normalmente por procesos de osmosis inversa.

A los objetivos comentados anteriormente para la realización de este trabajo hay que sumarles aquellos propios de la asignatura, ya que sin ellos no se podría realizar un trabajo como este, entre las competencias a adquirir tras haber superado esta materia, cabe destacar la resolución de problemas que surgen a la hora de la experimentación o redacción de la memoria (cambio de volúmenes de muestra, tipo de material a utilizar ...), capacidad de análisis y síntesis, capacidad de organización y planificación, razonamiento crítico y toma de decisiones, trabajo en equipo, aprendizaje autónomo, entre otras. Además, una de las competencias más importantes, en la actualidad, en cualquier asignatura de la carrera de química, entre otras, es la sensibilidad medioambiental ya que se debe avanzar hacia una química verde, aquella que cumple sus doce principios, como por ejemplo buscar metodologías donde se disminuya el uso de reactivos tóxicos, que genere menos residuos o que estos no sean contaminantes y se puedan tratar fácilmente.

Finalmente se debe realizar una revisión bibliográfica que nos permita aprender cómo realizar una correcta toma de muestra, obtener los métodos que mejor se ajusten a los parámetros de estudio, entre otros aspectos que ayudaran a la realización tanto de la parte experimental como a la hora de la elaboración de la presente memoria.

3. PARTE EXPERIMENTAL

La parte experimental se ha realizado basándose en el esquema general de cualquier proceso analítico (identificación del problema, elección del método, toma de muestra, preparación de la muestra, realización de medidas, evaluación de resultados y conclusiones) en este punto se detallará la parte experimental que engloba la elección del método, la toma de muestra, la preparación de esta y la realización de medidas, además se describirá el material, reactivos y toda la instrumentación utilizada.

3.1. Reactivos, estándares, disoluciones y patrones de calibrado.

Reactivos.

- Ácido Etilendiaminotetraacético, sal disódica 2-hidrato ($\text{EDTA-Na}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$). Pureza entre el 99 y 101 %, PA-CSS. (PANREAC QUIMICA SAU).
- Amoníaco (NH_3) al 25 % (v/v), Analar Normapur. (VWR INTRNATIONAL)
- Cloruro Amónico (NH_4Cl). Pureza 99,8 %, (p.a). ZA ACS-ISO. (MERCK)
- Nitrato de Plata (AgNO_3). (VWR INTRNATIONAL)
- Dicromato Potásico ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Pureza 99,5 %. (MERCK)
- Fluoruro Sódico (NaF). Pureza 99,5 % (p.a). (MERCK)
- Ácido Acético (CH_3COOH) al 96 % (p.a). (PANREAC QUIMICA SAU).
- Cloruro Sódico (NaCl). Pureza 99 %, para síntesis. (SCHARLAU)
- Ácido 1,2-diamino-ciclohexanotetraacético monohidrato (DCTA) Pureza superior al 98,5 %, para complexometrias. (HONEYWELL-FLUKA)
- Hidróxido Sódico (NaOH). Pureza 98 %, PA-ACS-ISO. (PANREAC QUIMICA SAU).
- Nitrato Potásico (KNO_3). Pureza superior al 99 %, extra puro. (SCHARLAU)
- Cloruro Potásico (KCl). Pureza superior al 99 % (p.a). (HONEYWELL-FLUKA)
- Ácido Sulfúrico (H_2SO_4), Pureza entre el 95 y 97 %, (p.a). ACS-ISO. (HONEYWELL-FLUKA)
- Ácido Oxálico dihidratado ($(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Pureza 99,5 %. (BDH CHEMICALS LTD)
- Permanganato Potásico (KMnO_4), Purísimo. (PANREAC QUIMICA SAU).
- Ácido Clorhídrico (HCl) al 37 %. Analar Normapur. (VWR INTRNATIONAL).
- Etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). Pureza 96 %, (v/v), grado análisis. ACS. (SCHARLAU)
- Glicerina ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$) al 87 %. Purísimo. (MERCK).

PARTE EXPERIMENTAL.

- Sulfato Sódico anhidro (Na_2SO_4). Pureza superior al 99 %, (p.a). ACS, ISO. (MERCK).
- Cloruro de Bario dihidrato ($\text{BaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$). Pureza superior al 99 %, (p.a). ACS, ISO (MERCK).
- Tartrato de Sodio y Potasio tetrahidrato ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). Purísimo, (p.a). (MERCK).
- Sulfato de Zinc heptahidratado ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$). Purísimo, (p.a). (HONEYWELL-FLUKA).
- Reactivo de Nessler, para determinaciones cualitativas de amonio y compuestos de amonio. (SIGMA-ALDRICH).
- Pastilla DPD N°1 para la determinación de cloro libre.
- Pastilla DPD N°3 para la determinación de cloro total.
- Reactivo Ortotolidina líquida, para la determinación de cloro Libre
- Negro de Eriocromo-T ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}\text{N}_3\text{O}_7\text{SNa}$), indicador para valorar metales. (MERCK)
- Fenolftaleína ($\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$), indicador ACS. (MERCK)
- Anaranjado de Metilo ($\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{NaO}_3\text{S}$), indicador. (PANREAC QUIMICA SAU).
- Bicarbonato Sódico (NaHCO_3). Pureza ente el 99 y 100,5 %, purísimo (PANREAC QUIMICA SAU).
- Piedra pómez.
- Agua destilada, obtenida del sistema de filtración por resinas de la facultad.
- Agua Mili-Q, resistividad de 18,2 M Ω , obtenida con un equipo Mili-Q Gradient A10 (MERCK MILLIPORE). (**Imagen 3.g**)

Estándares.

- Patrón de calibrado de pH 4,00 (20 °C), coloreado rosa. (SCHARLAU)
- Patrón de calibrado de pH 7,00, AVS TITRINORM. (VWR INTRNATIONAL)
- Patrón de calibrado de conductividad 147 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (25 °C), disolución 0,0010 M de Cloruro Potásico (KCl). (CRISON)
- Patrón de calibrado de conductividad 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (25 °C) RS, disolución 0,010 M de Cloruro Potásico (KCl). (PANREAC QUIMICA SAU).
- Patrón de calibrado de Sulfato (SO_4^{2-}) para Absorción atómica (AA) de concentración 1000 $\text{mg}/\text{l} \pm 2 \text{ mg}/\text{L}$. (PANREAC QUIMICA SAU).

- Patrón de Hierro para Espectrofotometría de Absorción Atómica (AAS) de concentración 1001 mg/l \pm 4 mg/l. (SIGMA-ALDRICH).
- Patrón de Manganeso de concentración 1002 mg/l \pm 2 mg/l. (MERCCK).

Disoluciones.

- Disolución de Hidróxido Sódico (NaOH) 6,00 N (6,00 M).
- Disolución de Hidróxido Sódico (NaOH) 0,05 N (0,05 M).
- Disolución de Hidróxido Sódico (NaOH) al 40 %.
- Disolución de Permanganato Potásico (KMnO₄) 0,10 N (0,02 M).
- Disolución de EDTA-Na₂ 0,02 M.
- Disolución de Ácido Clorhídrico (HCl) 0,10 N (0,10 M).
- Disolución de Ácido Clorhídrico (HCl) 0,01 N (0,01M).
- Disolución de Ácido Sulfúrico (H₂SO₄) al 25 %.
- Disolución de Nitrato de Plata (AgNO₃) 0,01 N (0,09805 N).
- Disolución de Cloruro Amónico (NH₄Cl) 2,969 g/L (0,055 M), equivalente a 1,00 mg de ion amonio.
- Disolución de Cloruro Amónico (NH₄Cl) 0,00055 M, equivalente a 0,01 mg de ion amonio.
- Disolución de Cloruro Potásico (KCl) 0,010 M.
- Disolución de Cloruro Potásico (KCl) 0,0010 M.
- Disolución de Cloruro Potásico Saturada
- Disolución de Cromato Potásico (K₂CrO₄) 0,25 M.
- Disolución de Cromato Potásico (K₂CrO₄) al 25 %.
- Disolución de Tartrato de Sodio y Potasio (KNaC₄H₄O₆·4H₂O) 1,77 M
- Disolución de Sulfato de Zinc (ZnSO₄·7 H₂O) al 10 %.
- Disolución acondicionadora del electrodo selectivo de Fluoruros 0,0001 M en F⁻, preparada a partir de Fluoruro Sódico (NaF).
- Disolución de Anaranjado de Metilo al 0,05 %.
- Disolución de Fenolftaleína en Etanol al 96 %, (0,50 g en 50 mL de Etanol).

Además de las disoluciones comentadas anteriormente se prepararon una serie de disoluciones reguladoras o acondicionadoras con varios reactivos:

- Disolución acondicionadora de Sulfatos (500 mL), preparada a partir de:
 - 300 mL de agua destilada.
 - 30 mL de Ácido Clorhídrico (HCl) al 37 %.
 - 100 mL de Etanol (C₂H₅OH).
 - 75 g de Cloruro Sódico (NaCl).
 - 50 mL de Glicerina (C₃H₈O₃).
- Disolución reguladora pH=10 (1 L), preparada a partir de:
 - 57 mL de Amoniacó al 25 % (NH₃)
 - 8 gramos de Cloruro amónico (NH₄Cl)
- Disolución tampón de Fluoruros o TISAB (2 L), preparada a partir de:
 - 300 mL de agua destilada.
 - 114 mL de Ácido Acético (CH₃COOH)
 - 116 gramos de Cloruro Sódico (NaCl)
 - 8 gramos de DCTA
 - Entre 250 y 300 mL de Hidróxido Sódico 6, N (NaOH), hasta pH 5,3-5,5.

Patrones de Calibrado.

- Disolución patrón de sulfatos de 100 ppm (SO₄²⁻) preparada a partir del estándar de calibración de sulfatos de 1000 ppm.
- Disolución patrón de sodio (Na⁺) de 1000 ppm preparada a partir de Cloruro Sódico (NaCl)
- Disolución patrón de potasio (K⁺) de 100 ppm preparada a partir de Cloruro Potásico (KCl)
- Disolución patrón de fluoruros (F⁻) de 1000 ppm preparada a partir de Fluoruro Sódico (NaF), (2,210 g en 1 Litro de agua).
- Disolución patrón de fluoruros (F⁻) de 100 ppm preparada a partir de la 1000 ppm preparada anteriormente.
- Disolución patrón de fluoruros (F⁻) de 10 ppm preparada a partir de la 1000 ppm preparada anteriormente.
- Disolución patrón de fluoruros (F⁻) de 1 ppm preparada a partir de la 1000 ppm preparada anteriormente.

- Disolución patrón de manganeso (Mn) de 100 ppm, preparada a partir del estándar de Manganeso de 1000 ppm.
- Disolución patrón de hierro (Fe) de 100 ppm, preparada a partir del estándar de Hierro de 1000 ppm.
- Disolución patrón de amonio (NH_4) de 1 ppm, preparada a partir de la disolución de cloruro amónico
- Disolución patrón de amonio (NH_4) de 0,01 ppm, preparada a partir de la disolución anterior de 1 ppm.

3.2. Material, aparatos, instrumentos, dispositivos y programas informáticos.

Material

- Matraces aforados de 10, 25, 50, 100, 250, 1000 mL.
- Probetas de 5, 25 y 100 mL.
- Pipeta graduada de 1, 5, 10 y 25 mL. (Clase A y B)
- Pipeta aforada 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100 mL. (Clase A y B)
- Bureta de 25 mL.
- Vasos de precipitados de 25, 50, 100, 250, 600 y 1000 mL.
- Matraz Erlenmeyer de 50 y 250 mL.
- Tubos de centrifuga Pírex con tapa de 50 mL.
- Cubeta de plástico y cuarzo de paso óptico 1 cm.
- Capsulas de porcelana de 25 y 50 mL.
- Vidrio de reloj.
- Termómetros de escala 25 y 100 °C.
- Tubos de ensayo.
- Pipeta Pasteur.
- Espátula.
- Barra magnética.
- Pera
- Nueces, pinzas y pie.
- Material de protección: bata de laboratorio, guantes y gafas de protección.

Aparatos.

- Estufa de secado serie 7000 function line. (HERAEUS). **(Imagen 1.a)**
- Centrifugadora para el análisis de grasa de la leche. (GERBER). **(Imagen 1.b)**
- Placa calefactora con 6 posiciones de temperatura. (P-SELECTA). **(Imagen 1.c)**
- Agitador magnético. (ASINCRO). **(Imagen 2.d)**
- Agitador magnético con temperatura. (RCT BASIC IKA® WERKE). **(Imagen 2.e)**
- Baño termostático y criostato, modelo RFG-10. (RAYPA). **(Imagen 2.f)**
- Sistema de purificación Mili-Q Gradient A10 (MERCK MILLIPORE). **(Imagen 3.g)**
- Campana Extractora. **(Imagen 3.h)**



Imagen 1. Estufa (a), Centrifuga (b), Placa calefactora (c).



Imagen 2. Agitador magnético (d), Agitador magnético con temperatura (e), Baño termostático (f).



Imagen 3. Purificador de agua Mili-Q (g), Campana extractora (h).

Instrumentos y dispositivos.

- Papel indicador de pH. (**Imagen 4.i**)
- Balanza analítica LA 214, con precisión $\pm 0,0001$ gramo y medida máxima 240 g. (VWR INTERNATIONAL). (**Imagen 4.j**)
- Granatario, con precisión $\pm 0,1$ y medida máxima 600 g. (COBOS). (**Imagen 4.k**)
- Micropipetas DISPENSER-VAR, con puntas desechables de plástico, de volumen variable de 20–200 μL , 100-1000 μL y 1000-5000 μL . (**Imagen 6.l**)
- pH-metro pH 110 con célula de temperatura. (VWR INTRNATIONAL). (**Imagen 6.m**)
- Conductímetro CM 35 con célula de temperatura y medida de salinidad (CRISON). (**Imagen 6.n**)
- Potenciómetro modelo pH 538. (WTW). (**Imagen 8.ñ**)
- Electrodo selectivo de fluoruros. (CRISON). (**Imagen 8.o**)
- Electrodo de referencia (CRISON). (**Imagen 8.o**)
- Kit de medida para cloro libre y cloro residual. (**Imagen 8.p**)
- Kit de medida para cloro libre y Ph. (AXTON.). (**Imagen 7.q**)
- Espectrofotómetro IR y Uv-Vis, modelo Cary 50 Scan, teniendo un detector de fila de diodos. (VARIAN). (**Imagen 7.r**)
- Espectrofotómetro Uv-Vis, modelo 4001/4, GENESIS 20. (THERMO). (**Imagen 7.s**)
- Fotómetro de llama para la determinación de Sodio, Litio y Potasio, modelo 410. (CORNING). (**Imagen 5.t**)
- Espectrómetro de Absorción y Emisión atómica, modelo EspectrAA 50B. (VARIAN). (**Imagen 5.u**).
- Lámparas para la determinación de Hierro (Fe) y Manganeso (Mn) para el Espectrómetro de Absorción y Emisión atómica. (PYE UNICAN) y (VARIAN). (**Imagen 5.v y w**)

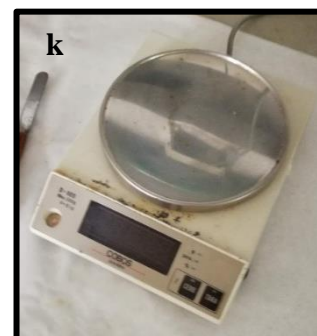


Imagen 4. Papel indicador de pH (i), Balanza analítica (j), Granatario (k)

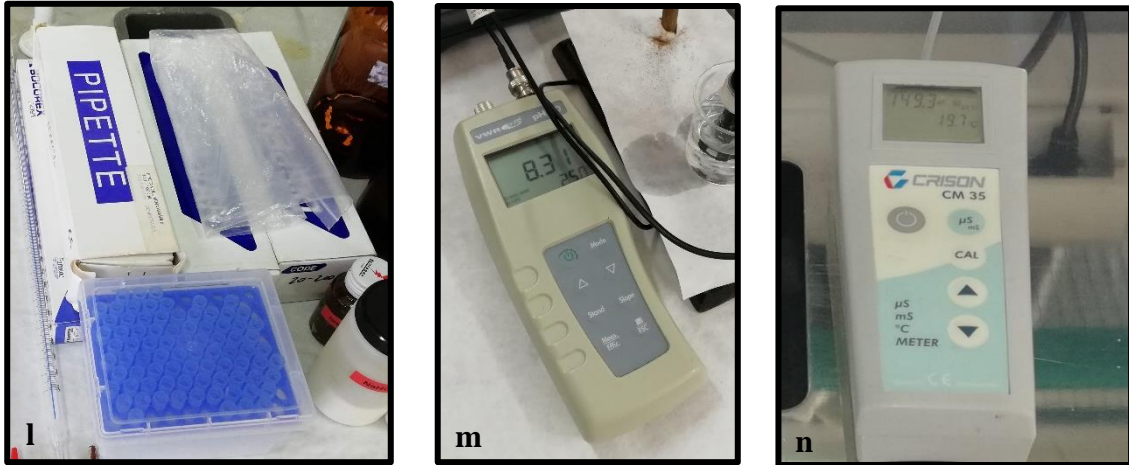


Imagen 6. Micropipetas (l), pH-metro (m), Conductímetro (n)

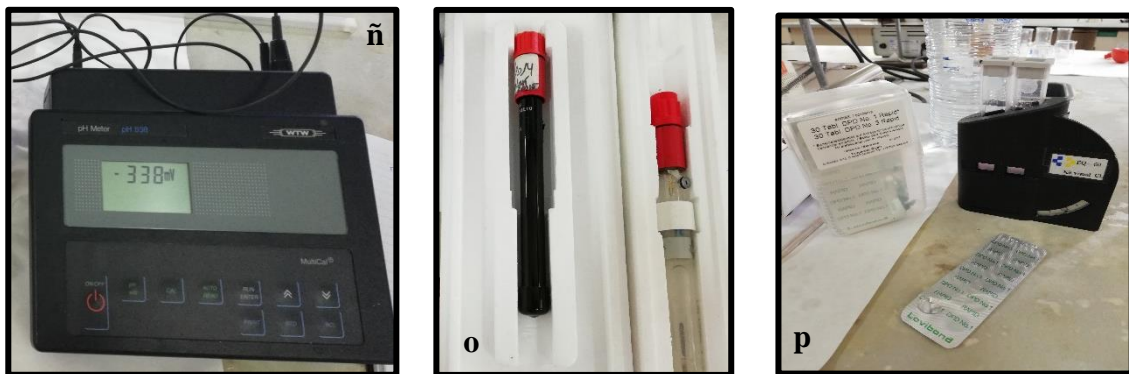


Imagen 8. Potenciómetro (ñ), ISE Fluoruros y Electrodo referencia (o), Kit de medidas cloro (p)

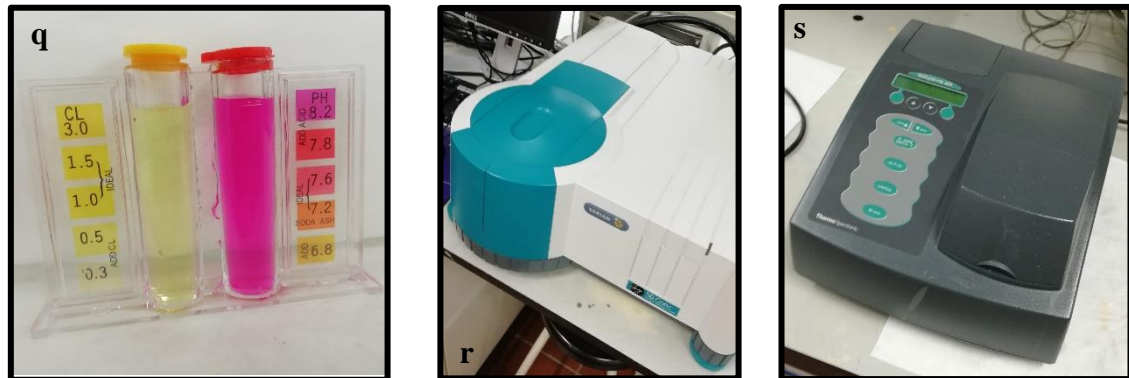


Imagen 7. Kit de medida Cloro y pH (q), Espectrofotómetro IR y Uv-Vis (r), Espectrofotómetro Uv-Vis (s)

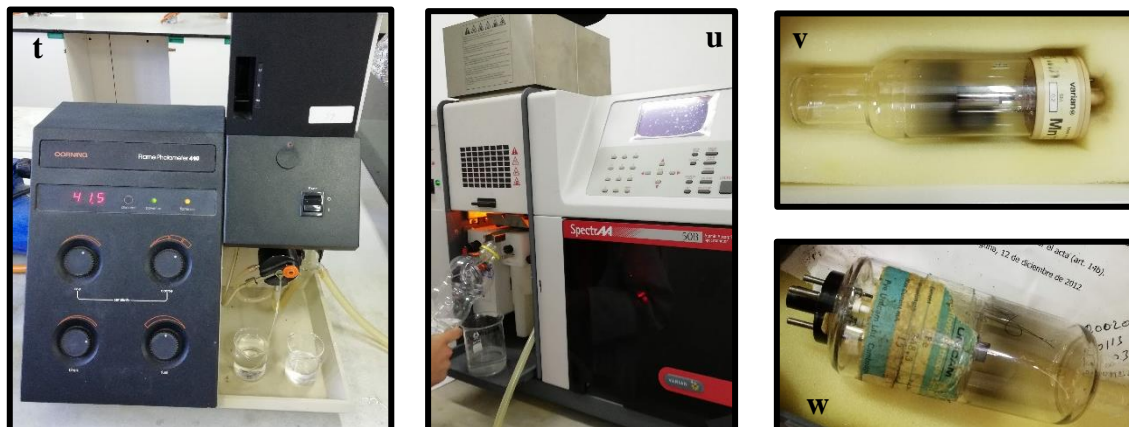


Imagen 5. Fotómetro de Llama (t), Espectrómetro de Absorción y Emisión atómica (u), Lámpara de detección de Mn y Fe (v y w)

Programas informáticos.

- Software de control del Espectrómetro de Absorción y Emisión atómica, EspectrAA 50, versión 5.1
- Software de control Espectrofotómetro IR y Uv-Vis, modelo Cary 50 Scan, versión 3.00 (339).
- Programa Microsoft® Office Excel 2016 home 365 para la elaboración de las hojas de cálculo, tratamiento de los datos y realización de curvas de calibrado.

3.3. Muestras.

Las muestras escogidas para realizar el estudio multitecnica de los parámetros indicadores de la calidad del agua, han sido muestras de agua del grifo del consumidor, de toda la isla de Tenerife, tomando un mayor número de muestras de agua en la zona metropolitana de la isla (Santa Cruz de Tenerife, San Cristóbal de La Laguna, El Rosario y Tegueste), en el resto de los municipios se tomaron tres muestras en cada uno de ellos (**D.A 3**), aunque finalmente solo se realizó el análisis de una de ellas (**D.A 4**), además de estas muestras, en ciertos puntos se tomaron muestras filtradas previamente para realizar un estudio comparativo entre las muestras tomadas directamente del grifo del consumidor y filtradas previamente. Las muestras fueron recogidas y almacenadas en botellas de plástico (1,5 Litros) de uso común por las empresas distribuidoras de aguas, tomando de forma general tres litros aproximado de muestra. Estas fueron guardadas en oscuridad en las taquillas del laboratorio (**Imagen 9**).

Además de las muestras mencionadas anteriormente se pretende realizar una estudio comparativo para muestras de agua tomadas directamente del grifo del consumidor con muestras de agua previamente filtradas con filtros comerciales (normalmente de osmosis inversa), por ello se toman ocho muestras en el mismo lugar que las del grifo del consumidor (**Tabla 3**), estas aparecen subrayadas de amarillo en los resultados y se muestran a continuación, cabe comentar que en una de las pareja de muestras (AA-BB), la muestra tomada del grifo del consumidor también ha sido filtrada previamente con un filtro de intercambio iónico por resinas.

Estudio comparativo.	
Muestra del grifo del consumidor - Muestra filtrada	
D-M	Y-Z
Q-R	AA-BB
U-V	CC-DD
W-X	EE-FF

Tabla 3. Estudio comparativo



Imagen 9. Almacenamiento de las muestras.

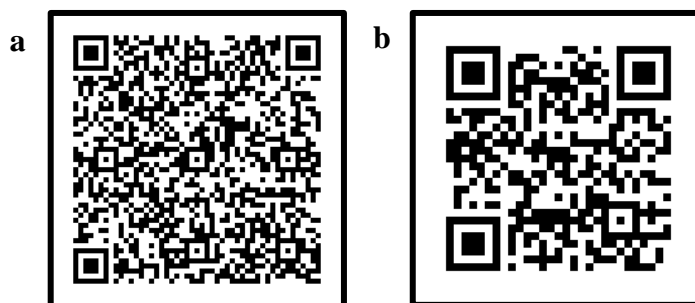
3.4. Toma de muestra.

Tras estudiar los diferentes municipios y barrios de la isla de Tenerife (**D.A 1**), escogiendo los puntos de muestreo de interés, se procedió a realizar la toma de las muestras llevando a cabo el siguiente protocolo:

- En primer lugar, se deja correr el agua del grifo durante treinta segundos, se continúa llenando la botella hasta unas tres cuartas partes de esta y se enjuaga, agitando vigorosamente durante treinta segundos. Este paso se repite en tres ocasiones.
- Se procede a llenar la botella con la muestra de agua, de forma lenta para evitar la formación de espuma en el interior de la botella
- Finalmente se cierran las botellas y se identifican con una letra, además se rellena una ficha de control donde se recoge la fecha y hora de recogida de la muestra, la dirección, municipio y código postal, la persona que tomo la muestra, la cantidad de muestra tomada y finalmente el número y tipo de envases utilizados (**D.A 2**).

Una vez tomada la muestras, se generaron dos códigos Qr, donde en uno de ellos aparece toda la información sobre la muestra y en otro la localización GPS de la recogida de esta (**Código Qr 1**), además se preparó un listado con todos los códigos Qr (**D.A 5**).

El resto de las muestras correspondiente a todos los municipios de la isla se tomaron de la misma manera, pero se identificó la muestra con el código ‘‘BOTELLA’’ acompañado de un numero anotando la fecha, el municipio y zona de recogida (**D.A 3 y D.A 4**).



Código Qr 1. Datos de la toma de muestra (a) y localización(b) para la muestra C pegados en las muestras.

Como se ha comentado previamente la zona de muestreo ha sido toda la isla de Tenerife, por lo que con la información sobre la zona de toma de muestra recogida se generó un mapa interactivo (**Ilustración 3**) de la zona de muestreo con ayuda de la aplicación de Google Maps (solo para las muestras con letras como código). A través del siguiente enlace se puede acceder a el mapa interactivo.



Ilustración 3. Zona de muestreo (haciendo control + clic en la imagen se accede al mapa)

3.5. Métodos de análisis

En lo referido a los métodos de análisis, para cada uno de los parámetros de calidad descritos con anterioridad (**Tabla 1 y Tabla 2**), fueron estudiado por procedimientos y técnicas distintas que serán expuestas a continuación:

Amonio, [Espectrofotometría de absorción (UV-Vis)].

Consiste en la formación de un complejo amarillo-pardo rojizo de formula $I(NH_2)Hg$ que se obtiene cuando se mezcla el reactivo de Nessler ($I_2Hg \cdot 2IK$) con una solución acuosa que contiene amonio. La intensidad del color es función del ion amonio presente, y se determina por colorimetría.

Para llevar a cabo la determinación se procede de la siguiente manera, en primer lugar, se introduce 100 mL de agua problema en un Erlenmeyer de 250 mL y se añade 1 mL de la disolución de sulfato de zinc, se agita vigorosamente y se agrega entre 0,4-0,5 mL de hidróxido de sodio 6 N para obtener un pH de 10,5 aproximadamente (controlado con papel indicador de pH). Se deja reposar la muestra tratada para que sedimente el precipitado, para favorecer la precipitación se centrifuga durante 20 minutos. Se toman 50 mL del líquido sobrenadante y se agregan dos gotas de la disolución de tartrato de sodio y potasio para evitar la precipitación de los iones calcio y magnesio presentes. Finalmente se añade 1 ml de reactivo de Nessler y se homogeniza, se espera diez minutos y se lee en el espectrofotómetro la intensidad del color desarrollado a 410 nm (esta longitud de onda fue ajustada con un estudio previo).

Previamente se realiza una curva de calibrado siguiendo el mismo procedimiento experimental, con la cual se obtiene la concentración de amonio en las muestras.

Cloro combinado residual, [Colorimetría].

Se trata de una técnica colorimétrica visual a partir de la reacción del cloro combinado que se encuentra en las muestras de agua con un reactivo en forma de pastilla DPQ N° 3.

Para llevar a cabo la determinación se toma el recipiente del kit y se llena de muestra de agua hasta la marca (se llena tanto la cubeta donde se realiza la determinación y otra cubeta de referencia para poder comparar las tonalidades en caso de que la muestra tuviera cierta coloración), la cantidad aproximada de muestra son 10 mL en cada uno de los recipientes. Se continúa añadiendo el reactivo en la cubeta de análisis y se agita durante 30 segundos, pasado este tiempo se procede a realizar la determinación de forma visual, ajustando la escala de la cubeta de referencia hasta que la tonalidad en ambas cubetas coincida, finalmente se toma el valor dado por el kit de concentración expresado en ppm.

Cloro libre [Colorimetría].

La determinación del cloro libre en las muestras de agua tiene el mismo fundamento que la determinación del cloro residual, en este caso el análisis se realizó por dos kits diferentes, uno de ellos el mismo que utilizado anteriormente, pero usando las pastillas DPQ N° 1, en el segundo de los Kits la reacción se realizó utilizando Ortotolidina líquida.

Para llevar a cabo la reacción utilizando el primero de los kits, se realizó de la misma manera pero utilizando las pastillas DPQ N°1, utilizando el segundo de los Kits el procedimiento fue bastante similar, se toma la muestra en el recipiente del kit hasta la marca, se añade cuatro gotas del reactivo líquido, y se agita vigorosamente durante 30 segundos, finalmente se realiza la medida de forma visual, con ayuda de la escala de colores adjunta en el kit, obteniendo la concentración expresada en ppm.

Cloro total.

Como se comentó anteriormente el cloro total se trata de la suma tanto del cloro combinado como del cloro libre, siendo esta la forma de expresar la totalidad del cloro presente en el agua, este parámetro no lleva ningún método de análisis, su cálculo se basa en la suma aritmética del cloro libre y el cloro combinado residual

Cloruros, [Valoración volumétrica, método de Mohr].

Se trata de la precipitación de los aniones cloruros por adición de un agente valorante de nitrato de plata en presencia de un indicador, concretamente una disolución de cromato potásico al 5 %, esta técnica es conocida como el método de Mohr.

El procedimiento a seguir comienza con la toma de 50 mL de muestra de agua en un Erlenmeyer con ayuda de un pipeta aforada, se añade 1 mL de disolución de dicromato potásico al 5% y una punta de espátula de bicarbonato sódico para ajustar el pH en torno a 7 (se controla el pH utilizando papel indicador de pH), la mezcla toma un color amarillo fluorescente. Finalmente se comienza la valoración con nitrato de plata, gota a gota controlando la velocidad, ya que no se conoce el contenido de cloruros, debido a la diversidad de las muestras. En caso de que alguna muestra de un bajo volumen de agente valorante se procede a utilizar una disolución valorante de menor concentración (evitando de esta manera errores de lectura). Esta determinación se realiza por triplicado.

Tras acabar la valoración los residuos generados fueron recogidos en un garrafa para residuos líquidos con contenido metálico, ya que se utiliza nitrato de plata como agente valorante, evitando posibles contaminaciones al desecharlos por el fregadero.

Color, [Examen visual].

La determinación del color de las muestras se realizó de forma visual, ya que se trata de muestras de agua, estas deben ser transparentes, por lo que la metodología utilizada fue un examen visual.

Conductividad y salinidad, [Potenciometría eléctrica].

Consiste en la medición de la conductividad eléctrica mediante un puente de Wheatstone y una célula de conductividad apropiada eléctrica a la misma temperatura de la muestra y de una solución valorada de cloruro de potasio, refiriendo los resultados a 20°C. Además, el instrumento utilizado permite obtener la salinidad de las muestras, por lo que se obtiene este parámetro sin necesidad de realizar ningún procedimiento extra.

Para llevar a cabo la determinación, en primer lugar se enciende el baño criostático y se llena con 8 litros aproximadamente de agua destilada, para evitar dañar las resistencias del baño y se marca la temperatura a 20°C , a continuación se realiza el montaje (**Imagen 10**) colocando pinzas y aros del tamaño adecuado para colocar los vasos de precipitados que contienen las muestras y un termómetro para comprobar que la temperatura del baño

coincide con la mostrada en el digital del mismo, finalmente se enciende el conductímetro y se introduce la célula de conductividad y de temperatura en el vaso de la muestra, y se comienza a realizar la medida hasta que esta se estabiliza. Las medidas se hacen por triplicada sacando y volviendo a meter ambas células en el vaso que contiene la muestra. Entre muestra y muestra las células se lavan con agua destilada y se secan con papel.

Previamente se realiza una calibración del conductímetro utilizando los patrones de calibrado de 147 y 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ preparados in situ en el laboratorio.



Imagen 10. Montaje para las medidas de conductividad.

Hierro y Manganeso, [Espectrofotometría de Absorción Atómica].

Se trata de la determinación por espectrofotometría de absorción atómica de la concentración de hierro y manganeso en las muestras de agua, para ello se optimizan las condiciones de trabajo y parámetros del instrumento para cada uno de los metales de acuerdo a lo recomendado por el fabricante, estas son descritas en las siguientes tablas:

Parámetros instrumentales (Fe)	
Corriente de la lámpara	5 mA
Gas combustible	Acetileno
Gas oxidante	Aire
Estequiometría de la llama	Oxidante

Tabla 5. Parámetros instrumentales para el Hierro

Condiciones de trabajo (Fe)	
Longitud de onda	248,3 nm
Ancho de ventana	0,2 nm
Rango óptimo de trabajo ¹	0-5 ppm

Tabla 4. Condiciones de trabajo para el Hierro

Parámetros instrumentales (Mn)	
Corriente de la lámpara	5 mA
Gas combustible	Acetileno
Gas oxidante	Aire
Estequiometría de la llama	Oxidante

Tabla 6. Parámetros instrumentales para el Manganeso.

Condiciones de trabajo (Mn)	
Longitud de onda	279,5 nm
Ancho de ventana	0,2 nm
Rango óptimo de trabajo ¹	0-5 ppm

Tabla 7. Condiciones de trabajo para el Manganeso

Para realizar la determinación se procede en primer lugar a preparar una curva de calibrado conjunta con patrones de calibrado de 0 a 5 ppm en hierro y manganeso en

matraces de 50 mL, a partir de una disolución hija de 100 ppm preparada a partir del estándar de hierro y manganeso de 1000 ppm disponible en el laboratorio. Se procede a aplicar el método, introduciendo el capilar directamente en los matraces que contienen los patrones de calibrado, tomando de esta manera una cantidad adecuada de patrón y llevándola al atomizador y posteriormente a la llama del instrumento, realizando la medida de la absorbancia de la curva de calibrado para cada uno de los metales optimizando las condiciones de trabajo y las lámparas, también con sus ajustes correspondientes. Finalmente, se continúa con la determinación de la absorbancia de las muestras, operando de la misma manera, obteniendo a partir de la curva de calibrado la concentración de hierro y manganeso en las mismas.

Olor y sabor [Examen olfativo y gustativo]:

La detección del olor y sabor en las muestras de agua se realiza a través de un examen con los sentidos del olfato y del gusto. Ambas pruebas se realizarán simultáneamente.

Para comenzar la determinación de estos parámetros se lava escrupulosamente el material de vidrio enjuagándolo con agua desodorizada. Se toman 200 mL de agua destilada y del agua problema y se colocan con ayuda de una probeta en un matraz Erlenmeyer, respectivamente, se introducen ambos matraces tapados en baño criostático a 35 °C y se inicia el análisis respirando y catando el agua desodorizada, se finaliza este respirando y catando el agua muestra. Este proceso se repite en dos ocasiones. El montaje realizado para esta determinación fue bastante similar al realizado para la determinación de la conductividad (**Imagen 10**).

pH, [Potenciometría].

Se trata de la medida del potencial eléctrico que se crea en la membrana de un electrodo de vidrio, que es función de la actividad de los iones hidrógeno a ambos lados de la membrana, de esta forma se consigue obtener la concentración de protones en la muestra de agua expresado en pH.

La medida del pH se realiza tomando una cantidad adecuada de muestra en un vaso de precipitados que permita introducir el electrodo de forma completa, tras introducir este se procede a realizar la lectura por triplicado esperando que la lectura se estabilice. Entre muestra y muestra el electrodo es lavado con agua destilada y secado con papel.

Previamente se realiza una calibración del pH-metro utilizando los patrones de calibrados de pH 4,00 y pH 7,00.

Sodio y Potasio, [Fotometría de llama]:

Se determina la cantidad de sodio y potasio presente en las muestras de agua utilizando un fotómetro de llama, equipado con un filtro adecuado para la detección de ambos metales además del litio.

Para realizar la cuantificación de sodio y potasio en las muestras de agua, se procede en primer lugar a preparar una curva de calibrado con patrones de calibrado de 0 a 200 ppm de sodio en matraces de 100 mL a partir del estándar de sodio de 1000 ppm disponible en el laboratorio y una curva de calibrado de 0 a 100 ppm de potasio en matraces de 100 mL a partir del estándar de 100 ppm disponible en el laboratorio. Se continúa calibrando el fotómetro siguiendo las instrucciones del instrumento utilizando un blanco (agua destilada) y el patrón de calibrado de máxima concentración (200 y 100 ppm), una vez calibrado se procede a realizar las medidas, comenzando en primer lugar con la medida de la curva de calibrado y posteriormente con las muestras. El proceso llevado para realizar las medidas consiste en introducir el capilar de toma de muestra del instrumento en los matraces aforados y en las botellas que contiene la muestras directamente, realizando las medidas de la absorbancia (entre muestra y muestra se introduce la manguera en un vaso con agua destilada hasta que la medida de absorbancia es cero), obteniendo a partir de la curva de calibrado la concentración de sodio y potasio.

Sulfatos, [Método Turbidimétrico].

Cabe comentar previamente que la determinación de los sulfatos en muestras de agua siguiendo la metodología oficial debería realizarse por un método gravimétrico, pero debido a la difícil de la realización de este, ya que tiene tiempos de trabajo elevados y procesos analíticos complicados y peligrosos de realizar, se procede a buscar una alternativa para la determinación de este parámetro, el método escogido finalmente es un proceso Turbidimétrico, que se fundamenta en la formación de un precipitado de sulfato de bario que permanece en suspensión gracias a una disolución acondicionadora, dando lugar a una turbidez, que se determina con un espectrofotómetro UV-Vis a 420 nm.

En primer lugar, se prepara la disolución acondicionadora de sulfatos de acorde a lo descrito en el apartado de disoluciones. Se continúa preparando una curva de calibrado de 0 a 40 ppm en matraces de 100 mL a partir de una disolución estándar de 100 ppm preparada a partir sulfato de sodio (previamente desecado en estufa a 105 °C, durante 2 horas). Para la determinación tanto de la absorbancia de los patrones de calibrado como de las muestras se sigue el mismo procedimiento, que parte de la toma de 10 mL de muestra con ayuda de una pipeta aforada y se introducen en un matraz Erlenmeyer donde se añaden 2,5 mL de disolución acondicionadora y 0,5 gramos de cloruro de bario (de forma aproximada) y se agita de forma constante durante un minuto, pasado este tiempo se procede a determinar la absorbancia transfiriendo a una celda de 1 cm parte de la mezcla de reacción y realizando la medida en menos de tres minutos, en un espectrofotómetro UV-Vis a 420 nm. Las medidas se realizan por triplicado. La concentración de sulfato en las muestras se obtiene gracias a la curva de calibrado realizada previamente. *[Ref. 12]*

Turbidez, [Examen visual].

La determinación de la turbidez de las muestras se realizó de forma visual, ya que se trata de muestras de agua, estas deben ser transparentes y no presentar sólidos en suspensión, por lo que la metodología utilizada fue un examen visual.

Alcalinidad, [Volumetría].

La alcalinidad se determina por valoración con una disolución valorante de un ácido mineral fuerte a los puntos de equivalencia del bicarbonato (pH 8,3) y ácido carbónico (entre pH 4,2 y 5,4), por medio de indicadores visuales. El segundo punto de equivalencia indica la alcalinidad total de la muestra, que puede ser debida a los siguientes iones: hidróxido, carbonatos y bicarbonatos.

El proceso experimental para la determinación de la alcalinidad se inicia tomando una alícuota de 20 mL de muestra con ayuda de una pipeta aforada y se transfiere a un matraz Erlenmeyer, añadiendo a continuación dos gotas de fenolftaleína, en caso de que produzca tonalidad rosa se valora utilizando la disolución de ácido clorhídrico 0,01 M hasta que la disolución queda sin coloración, si no se produce coloración o tras valorar hasta la desaparición del color se añaden dos gotas de naranja de metilo y se vuelve a valorar utilizando el mismo agente valorante hasta el punto de viraje de este segundo indicador (paso de un tono naranja a rosa pálido). El proceso se realiza con agitación magnética y se realizan tres valoraciones para cada una de las muestras.

Dureza total, [Volumetría complexométrica].

La dureza total de las muestras de agua se determina por valoración con una disolución valorante de EDTA-Na₂ 0,02 M en condiciones de pH en torno a 10 gracias a una disolución reguladora de amonio/amoniaco, utilizando como indicador Negro de Eriocromo-T. Previo a realizar el análisis se lleva a cabo un estudio de la cantidad de muestra a tomar, para ello se toman diferentes alícuotas de muestra del agua del grifo del laboratorio y se aplica el método a estas, de esta forma se obtiene la cantidad de muestra ideal que tomar para realizar la determinación.

El procedimiento se inicia tomando 50,00 mL de las muestras con la ayuda de una pipeta aforada, y se vierten a un Erlenmeyer de 250 mL, se continúa añadiendo 5 mL de disolución reguladora de pH = 10 y una punta de espátula de negro de Eriocromo-T, se lleva a cabo la valoración con la disolución patrón de EDTA-Na₂ hasta cambio de rojo a azul. La valoración se realiza con agitación magnética y se realiza tres réplicas de esta determinación para cada una de las muestras.

Fluoruros, [Método potenciométrico con electrodo selectivo de Fluoruro].

Este análisis se fundamenta en la determinación directa de los fluoruros por potencimetría, utilizando un electrodo iónico selectivo.

Para realizar la cuantificación de los fluoruros en las muestras de agua, se procede en primer lugar a preparar una curva de calibrado con patrones de calibrado de 0 a 10 ppm de fluoruro en matraces de 100 mL a partir del estándar de fluoruro de 1000 ppm preparado a partir de fluoruro sódico disponible en el laboratorio (se imitan las condiciones que tienen las muestras problemas tras llevar a cabo su preparación, esta se explica a continuación)

Una vez conectado el potenciómetro a los electrodos se pone a punto el electrodo selectivo de fluoruros, introduciendo este en una disolución $1 \cdot 10^{-3}$ M de fluoruros durante media hora, pasado este tiempo se comprueba que este funciona correctamente gracias a dos disoluciones de concentración de 1 y 10 ppm de fluoruro dando una diferencia en torno a 56-59 mV tras su medición, como se obtuvo esta diferencia se procede a realizar las medidas.

La medida se comienza preparando las muestras en matraces aforado de 100 mL tomando 50 mL de muestra con ayuda de una pipeta aforada y 25 mL de Disolución TISAB con una probeta, se enrasa con agua destilada y se procede a realizar la determinación, trasvasando parte de la mezcla a un vaso de precipitados e introduciendo el electrodo, se espera hasta que la medida se estabilice y se anota esta, a partir de la curva de calibrado se obtiene la concentración de fluoruro en las muestras de agua. Entre muestra y muestra el electrodo se limpia con agua destilada y se seca. La medida se realiza por triplicado.

Residuo seco a 180 °C, [Método Gravimétrico]

La determinación del residuo seco se basa en una metodología gravimétrica, se obtiene este parámetro por diferencia de pesada tras someter a la muestra a una temperatura de 180 °C durante 24 horas.

Se procede a tomar 25 mL de muestra con ayuda de una pipeta aforada y se trasvasa a una capsula de porcelana previamente pesada en condiciones de sequedad (las capsulas de porcelana fueron lavadas, secadas en la estufa y almacenadas en un desecador con anterioridad, además etiquetadas con un código de identificación de la muestra), estas se introducen en la estufa a 180 °C durante 24 horas, pasado este tiempo se sacan de la estufa y se introducen en el desecador en torno a dos horas para que alcancen la temperatura ambiente y sea posible pesarlas de nuevo, a partir del ambas pesadas se obtiene la cantidad de residuo seco. Esta determinación se realiza por duplicado.

Toda la información recogida en este apartado, referido a los métodos de análisis escogidos para el estudio de cada uno de los parámetros indicadores, fue extraído del Manual de métodos oficiales de aguas potables de consumo público y aguas de bebidas envasadas. Editado por Panreac Química S.A ^[Ref. 4], además de la bibliográfica detallada con anterioridad.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En este apartado se expondrá los resultados obtenidos tras haber realizado la parte experimental para cada uno de los parámetros de estudio, además de una breve discusión sobre los mismos, en el caso de los parámetros que en su metodología tengan una curva de calibrado se expondrá esta y sus parámetros de calidad, también se hará un breve comentario del estudio comparativo realizado entre las muestras tomada directamente de la red del consumidor y las filtradas previamente. Finalmente, se hará una clasificación en función de la zona de la isla donde fueron tomadas la muestras.

4.1. Presentación y discusión de los resultados obtenidos.

Amonio.

Cabe mencionar que en el estudio de este parámetro no se podrá hacer ningún estudio comparativo ni ninguna clasificación ya que los resultados obtenidos no lo permiten. A continuación, se presentan la calibración realizada para la determinación del amonio en las muestras de agua, acompañada de sus parámetros de calidad:

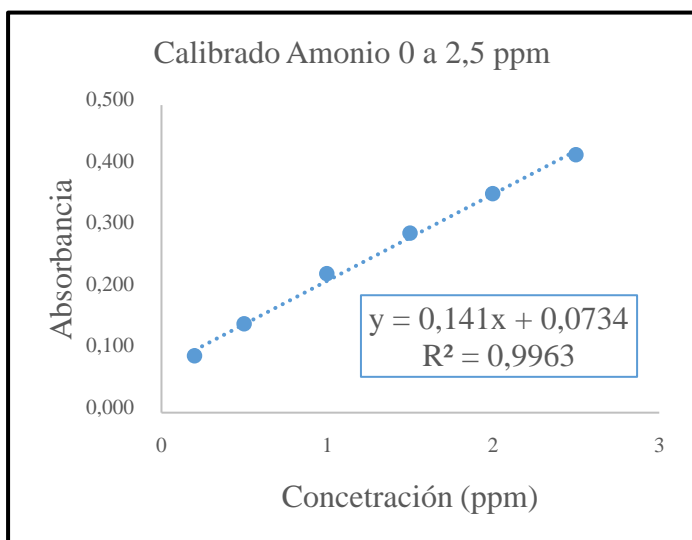


Gráfico 1. Curva calibrado Amonio

Nivel de calibración (n)	6
$a \pm Sa \cdot t_{(0,05;4)}$	$7,34 \cdot 10^{-2} \pm 1,81 \cdot 10^{-2}$
$b \pm Sb \cdot t_{(0,05;4)}$	$14,10 \cdot 10^{-2} \pm 1,19 \cdot 10^{-2}$
R^2	0,9963
$S_{y/x}$	$8,51 \cdot 10^{-3}$

Tabla 8. Parámetros de la recta de calibrado de Amonio

LOD (ppm)	0,18
LOQ (ppm)	0,60
LOL (ppm)	2,50
Rango lineal (ppm)	0,60–2,50
Sensibilidad analítica	0,01
Sensibilidad de calibrado	32,76

Tabla 9. Parámetros de calidad de la recta de calibrado de Amonio

De acorde a los resultados obtenidos descritos en la **Tabla 8**, se puede decir que la calibración ha sido optima, ya que se obtiene un coeficiente de determinación de 0,9963, además de un error de la estima ($s_{y/x}$) muy bajo, finalmente se da por validado el modelo matemático utilizado, ya que el análisis de regresión por mínimos cuadrados genera un gráfico de residuos adjunto (**D.A 7**), donde se puede observar que existe una distribución aleatoria de los residuos (Aunque parezca que sigue una tendencia, no es así ya que los valores de residuo cero no se tienen en cuenta), así como, la compensación entre los

residuos positivos y negativos tanto en cantidad (dos negativos, dos positivos y dos con valor cero) como en valor numérico.

En lo que se refiere a los parámetros de calidad del método también se obtuvieron buenos resultados a la vista de lo que aparece en la **Tabla 9**, con un bajo LOD, inferior al valor paramétrico recogido en la legislación vigente (0,50 ppm), cierto es que el LOQ es superior a este valor, pero como la totalidad de las muestras quedaron por debajo del límite de detección, se da por aceptado el método, conjuntamente se obtiene un amplio rango útil de trabajo, una muy buena sensibilidad analítica y una aceptable sensibilidad de calibrado.

Una vez realizado el calibrado y tras estudiar este se procedió a realizar la cuantificación de las muestras obteniendo los siguientes resultados:

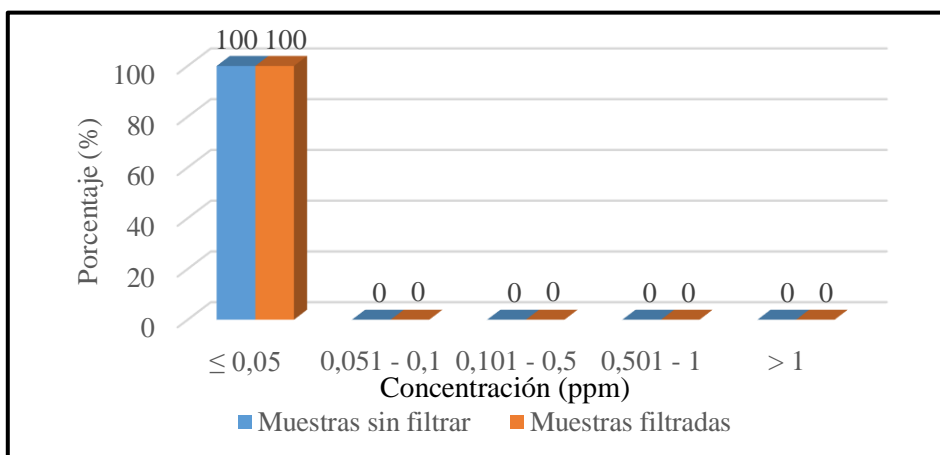


Gráfico 2. Resultados para la cuantificación del Amonio

En lo referido a la cuantificación del amonio cabe comentar que la totalidad de las muestras dieron resultados por debajo del límite de detección del método (**D.A 6**), por lo que no se pudo cuantificar, además se adjunta el coeficiente de variación para las tres replicas realizadas para cada muestra:

$$[Amonio] = < LOD$$

$$C.V (%) = 2,79$$

El resultado obtenido para la totalidad de las muestra (**Gráfico 2**), es el que cabría esperar desde un principio, ya que la presencia de amonio en las muestras supondría la existencia de algún episodio de contaminación o que se ha usado cloraminación como tratamiento desinfectante, pudiendo detectarse este como consecuencia de la desinfección, por lo que haber obtenido un resultado inferior al LOD, nos indica que el agua en cuanto a este parámetro es aceptable. A partir del C.V obtenido para las medidas, como este queda por

debajo del 5 % y tratándose de un parámetro que por lo normal no debería tener presencia en las muestras, nos permite afirmar que las medidas se realizaron de forma correcta, finalmente ninguna de las muestras supero el valor paramétrico recogido en la legislación (0,50 ppm), ni el valor por el cual se deben tomar rápidas medidas correctoras (0,70 ppm) y en consecuencia tampoco el valor por el cual se considera no apta para el consumo humano (1,00 ppm).

Cloro combinado residual.

Previo a exponer resultados, cabe mencionar que como ocurría anteriormente no se podrá realizar ningún estudio comparativo debido a los resultados obtenidos, ya que la cuantificación del cloro combinado residual obtuvo como resultado para la totalidad de las muestras valores de concentración cero (**D.A 6**):

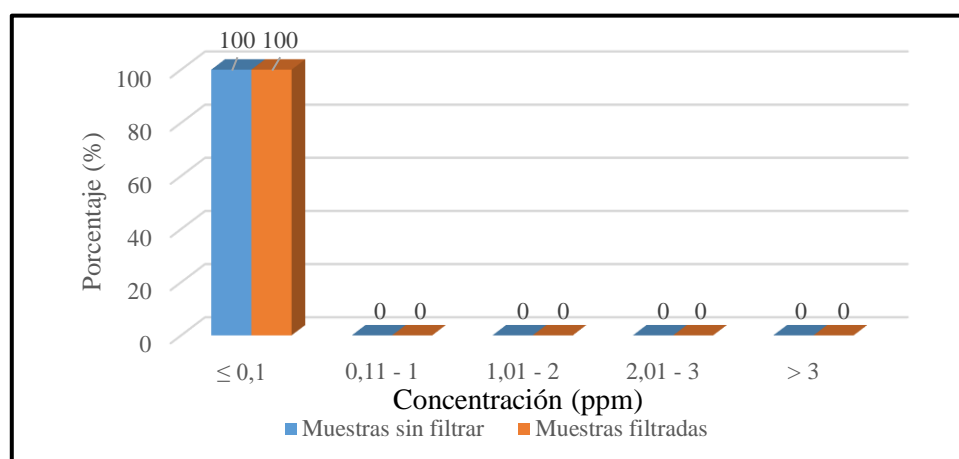


Gráfico 3. Resultados para la cuantificación del cloro combinado residual.

La presencia de cloro combinado residual, excepto en los casos de cloraminación, significa que ha habido una deficiente desinfección, ya sea por exceso de amonio en el agua o bien, sin existir este exceso, se añade insuficiente cloro en función de la calidad del agua a tratar, por tanto se puede reseñar en cuanto a los resultados obtenidos descritos en el **Gráfico 3**, que las aguas presentan una buena desinfección, no obstante, es importante señalar que la ausencia de cloro combinado residual no implica la presencia de contaminación microbiológica, otro de las posibles causas para obtener estos resultados es que las muestras no se sometían a un tratamiento de desinfección por cloro, pero esta hipótesis se descarta puesto que, como se verá en el punto siguiente, si existe presencia de cloro libre en las muestras, finalmente otro motivo para haber obtenido estos resultados es que con el paso del tiempo este cloro combinado se haya descompuesto a cloro libre, ya que, el análisis se realizó un tiempo después de tomar las muestras.

En cuanto a la legislación se puede confirmar que ninguna de las muestras supera el valor paramétrico recogido en la legalidad vigente (2 ppm), ni el valor por el cual habría que tomar medidas correctoras (3 ppm), ni en consecuencia el valor para considerar el agua como no apta para el consumo humano (3 ppm).

Cloro libre residual y Cloro total.

Antes de comentar los resultados obtenidos se ha de mencionar que estos se expresan en conjunto, ya que como la cuantificación para el cloro combinado residual dio como resultado valores de cero para todas las muestras, el cloro total coincide con el cloro libre residual, debido a que este se trata de la suma aritmética del cloro combinado residual y el cloro libre residual.

Se presentan los resultados para la cuantificación del cloro libre y cloro total, donde las medidas se realizaron con dos kits diferentes (**D.A 6**), pero como los resultados no presentaban diferencias significativas, ya que uno de los kits presenta una escala de medida de 0,1 ppm mientras que el segundo de los kits presenta una escala a intervalos mayores, por tanto el segundo de los kits presenta una sensibilidad menor que el primero, por lo que se opta por representar los obtenidos con el kit de mayor sensibilidad (kit 1):

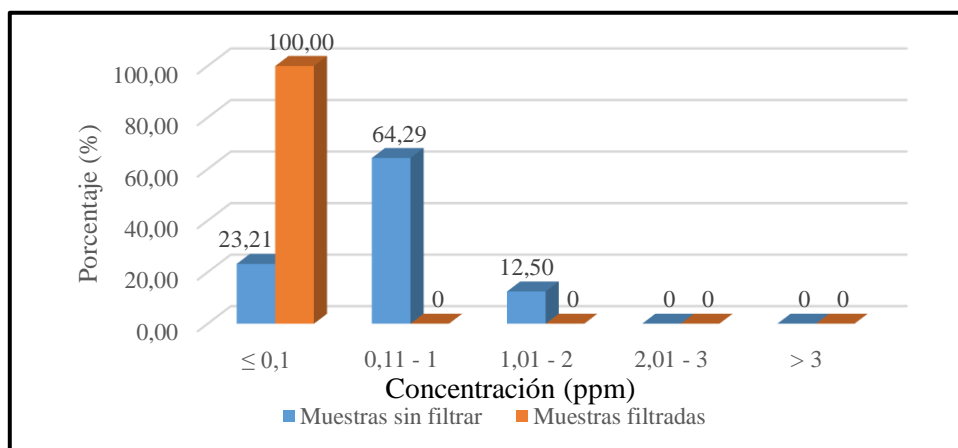


Gráfico 4. Resultados para la cuantificación del Cloro libre y Cloro total.

En cuanto a la cuantificación se presentan resultados (**Gráfico 3**) que en su totalidad no superan el valor paramétrico recogido en la legalidad vigente (1,00 ppm para el cloro libre), ni tampoco el valor que determina que el agua no es apta para el consumo humano (5 ppm), de esta forma se puede afirmar que la calidad de las aguas en cuanto a este parámetro es aceptable, además en la mayoría de los casos se supera el valor de 0,2 ppm, que indica una buena desinfección, de acorde a la legalidad, ya que al poder cuantificar

el cloro libre nos sugiere que ha sobrado parte de este al reaccionar con las sustancias patógenas del agua (cloro combinado residual).

Observando los resultados descrito en la siguiente tabla (**Tabla 10**), se puede mencionar que las muestras de agua tras haber sido filtradas todas disminuyen su contenido en cloro libre y en consecuencia en cloro total, hasta valores de concentración de cero ppm para estos parámetros, esto nos indica que en cuanto a cloro libre y cloro total es eficaz y aumenta la calidad del agua realizar un filtrado previo al uso de esta, ya que de esta manera se consigue eliminar los restos de cloro que quedan en las muestras de agua tras el proceso de desinfección, mejorando su calidad.

Estudio comparativo			
Muestra G.C - M.F	Concentración (ppm)	Muestra G.C - M.F	Concentración (ppm)
D-M	0,50 - 0,00	Y-Z	0,50 - 0,00
Q-R	0,40 - 0,00	AA-BB	0,00 - 0,00
U-V	0,20 - 0,00	CC-DD	0,20 - 0,00
W-X	0,50 - 0,00	EE-FF	0,30 - 0,00

Tabla 10. Estudio comparativo para la determinación del cloro libre y cloro total

Cloruros

Se presentan los resultados para la cuantificación de los cloruros en las muestras de agua a partir del método de Mohr, además de la cuantificación se expone el coeficiente de variación medio, para expresar la exactitud entre las tres mediciones realizada para cada muestra.

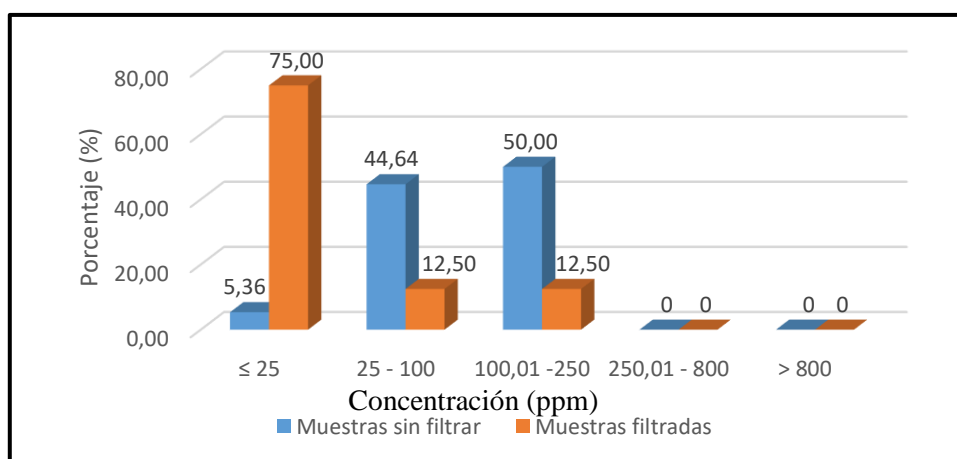


Gráfico 5. Resultados para la cuantificación de los Cloruros.

Las medidas presentan un coeficiente de variación expresado en porcentaje de:

$$C.V (%) = 4,19$$

En cuanto a la cuantificación de los cloruros en las muestras de agua (**D.A 6**), se puede mencionar que todas las muestras dieron un valor de concentración (expresado en ppm) inferior al valor paramétrico recogido en la legislación (250 ppm) y por tanto también por debajo del valor no apta para el consumo humano (**Gráfico 5**), en el cual se deben de tomar medidas rápidas para reducirlos (800 ppm), además en función del C.V se puede afirmar que las medidas fueron realizadas de forma correcta ya que no supera el 5 %.

Existen diversas formas de clasificar las aguas en función de su contenido en cloruros una de las más utilizadas es la clasificación por SULIN, que depende de la relación de los elementos químicos, sodio (Na) y cloruro (Cl) concentrados en una muestra de agua, lo que esta clasificación no pudo realizarse, ya que no se realizaron medidas de magnesio ni calcio puesto que no se tratan de parámetros indicadores, pero si se puede afirmar que todas las muestra son clorocálcicas o cloromagnesicas ya que la relación Na/Cl siempre da resultados inferiores a 1.

En cuanto al estudio comparativo para los cloruros a la vista de los resultados, descritos en la **Tabla 11**, se puede concluir que en la mayoría de los casos la concentración de cloruros disminuye tras ser filtrada, en torno a la mitad o algo más del valor de concentración para la muestra sin filtrar, a excepción de la muestra ‘ X ’ que da un valor superior a la muestra sin filtrar, esto puede deberse a un mal funcionamiento del filtro, hipótesis confirmada como se verá con otros parámetros.

Estudio comparativo			
Muestra G.C - M.F	Concentración (ppm)	Muestra G.C - M.F	Concentración (ppm)
D-M	92,30 - 13,34	Y-Z	26,69 - 13,34
Q-R	40,03 - 18,91	AA-BB	40,03 - 13,34
U-V	120,10 - 13,34	CC-DD	60,05 - 46,71
W-X	106,76 - 113,43	EE-FF	120,10 - 20,02

Tabla 11. Estudio comparativo para la determinación de Cloruros

Color

Previo a mostrar los resultados para la determinación del color de las muestra se comenta que como ocurría en casos anteriores, no se realizar ningún estudio comparativo ni clasificación ya que, los resultados no lo permiten. En lo referido al color de las muestras de agua, tras realizar el análisis visual, ninguna de ellas presentaba ningún color apreciable, por lo que se decide dar como resultado.

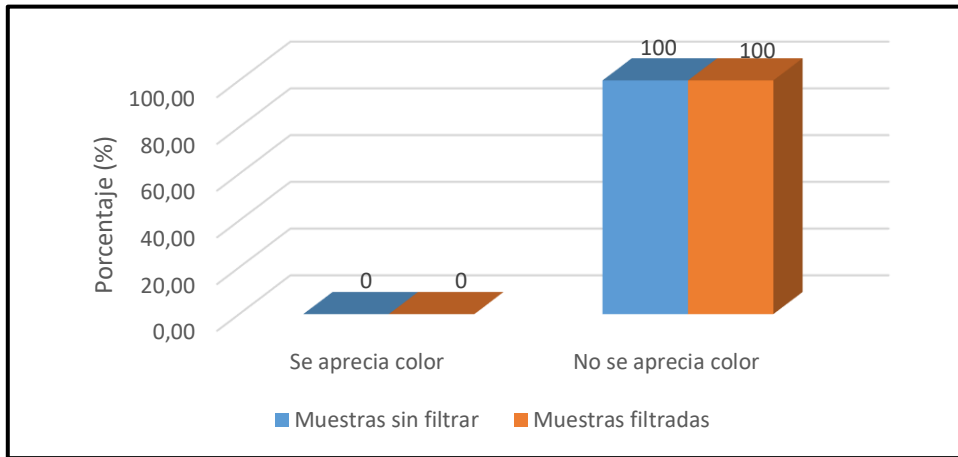


Gráfico 6. Resultados para la cuantificación del Color

Los resultados obtenidos (**Gráfico 6**) indican que las muestras de agua a simple vista no presentan contaminación o algún valor elevado de cualquier otro parámetro indicador, por lo que es un buen síntoma para en primera aproximación, afirmar que las muestras de agua presentan una calidad adecuada, en cuanto a los valores paramétricos y de medidas de corrección no se pueden aplicar, ya que el método utilizado para esta determinación no fue el aplicado para el cual se recogen estos valores en la legislación (método cloroplatinato).

Conductividad y salinidad.

Se expondrán en conjunto los resultados obtenidos para la conductividad y salinidad ya que se obtienen siguiendo la misma metodología, además de estar íntimamente ligados entre sí, en este caso si se realiza un estudio comparativo y una clasificación en función de ellos, pero no una calibración ya que no es necesaria por la metodología utilizada. Los resultados de las medidas de conductividad (κ) y salinidad se muestran a continuación:

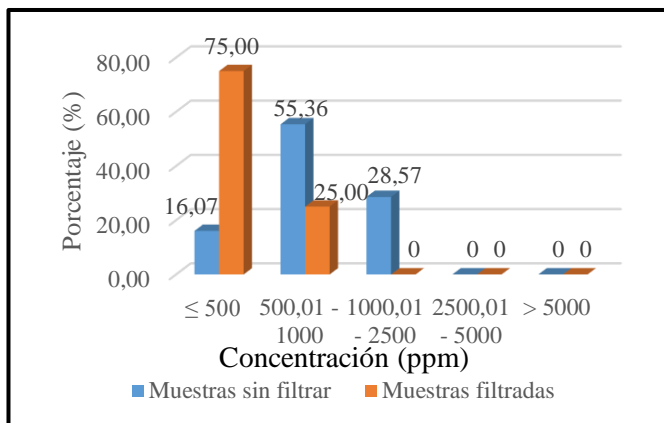


Gráfico 8. Resultados para la cuantificación de la conductividad.

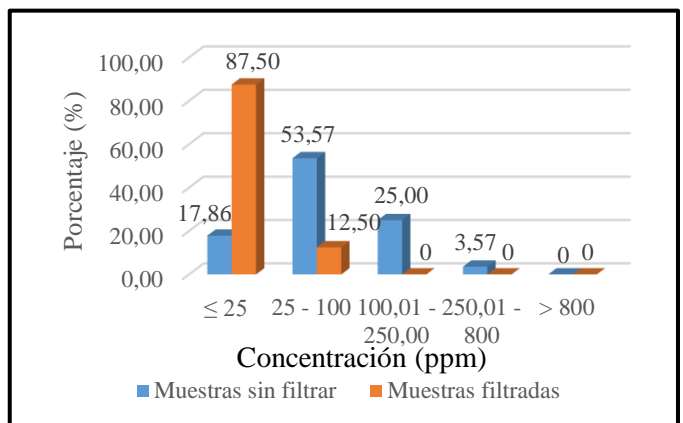


Gráfico 7. Resultados para la cuantificación de la salinidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Además de los resultados en cuanto a la cuantificación se muestran los C.V, expresados en porcentaje tanto para las medidas de conductividad como de salinidad:

$$C.V(\%)_{\text{Conductividad}} = 1.71$$

$$C.V(\%)_{\text{Salinidad}} = 1.87$$

En primer lugar, se puede afirmar que las medidas se han realizado de forma correcta de acuerdo con los valores de los C.V, existen ciertas diferencias, ya que las medidas de salinidad siempre son en valor numérico inferiores a la conductividad, por lo que al calcular el C.V. el resultado siempre será algo mayor, pero siempre inferior al 5%. Como se puede observar ningún valor supera el valor paramétrico recogido en la legalidad vigente ($2500 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$) y en consecuencia tampoco el valor que considera el agua como no apta para el consumo humano ($5000 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$) (**Gráfico 7 y Gráfico 8**).

En lo que se refiere al estudio comparativo se presentarán por separado los resultados para las muestras previo a pasar por el filtro y tras ser filtrada, para los parámetros de conductividad y salinidad, los resultados serán mostrados como en anteriores ocasiones:

Estudio comparativo			
Muestra G.C - M.F	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{Cm}^{-1}$)	Muestra G.C - M.F	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{Cm}^{-1}$)
D-M	971,67 - 48,40	Y-Z	538,33 - 50,43
Q-R	1227,67 - 251,33	AA-BB	1040,00 - 19,20
U-V	700,00 - 51,13	CC-DD	773,33 - 614,00
W-X	710,00 - 686,67	EE-FF	653,33 - 37,43

Tabla 12. Estudio comparativo para la determinación de la conductividad.

Estudio comparativo			
Muestra G.C - M.F	Salinidad (ppm)	Muestra G.C - M. F	Salinidad (ppm)
D-M	477,67 - 22,41	Y-Z	259,33 - 23,53
Q-R	602,67 - 119,27	AA-BB	513,00 - 8,91
U-V	340,00 - 23,90	CC-DD	376,67 - 296,67
W-X	345,00 - 333,33	EE-FF	306,00 - 17,45

Tabla 13. Estudio comparativo para la determinación de la salinidad.

A la vista del estudio comparativo realizado se puede observar con en mayoría de los casos las muestras tras ser filtradas disminuyen su contenido en sales y en consecuencia su conductividad exponencialmente (**Tabla 12 y Tabla 13**), en el único caso que no ocurre son con las muestras W-X que no existe una gran diferencia, esto puede ser debido a un mal funcionamiento del filtro como se ha comentado para otros parámetros.

Hierro y Manganeso.

Se expondrán en conjunto los resultados obtenidos para la determinación del hierro y manganeso, ya que ambos parámetros se midieron por el mismo método, además que como se verá a continuación la cuantificación de ambos obtuvo como resultados para todas las muestras, valores inferiores al LOD del método por lo que en el estudio de estos parámetros no se podrá hacer ningún estudio comparativo ni ninguna clasificación ya que los resultados obtenidos no lo permiten, finalmente se muestran también los valores de C.V para las ambas medidas.

Se presenta la calibración realizada para cada uno de los metales acompañada de sus parámetros de la recta y de calidad:

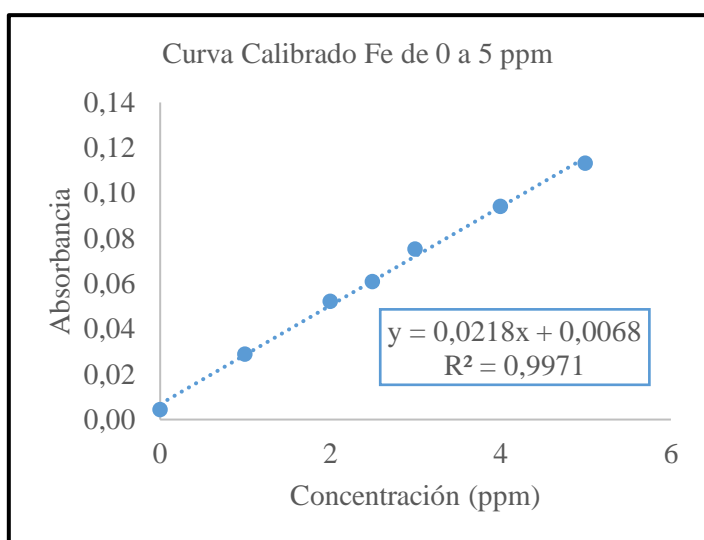


Gráfico 9. Curva calibrado para el Hierro

Nivel de calibración (n)	7
$a \pm S_a \cdot t_{(0,05;5)}$	$6,84 \cdot 10^{-3} \pm 4,53 \cdot 10^{-3}$
$b \pm S_b \cdot t_{(0,05;5)}$	$21,77 \cdot 10^{-3} \pm 1,53 \cdot 10^{-3}$
R^2	0,9971
$S_{y/x}$	$2,495 \cdot 10^{-3}$

Tabla 14. Parámetros de la recta de calibrado del Hierro

LOD (ppm)	0,34
LOQ (ppm)	1,15
LOL (ppm)	5,00
Rango lineal (ppm)	1,15–5,00
Sensibilidad analítica	0,02
Sensibilidad de calibrado	36,51

Tabla 15. Parámetros de calidad de la recta de calibrado de Manganeso

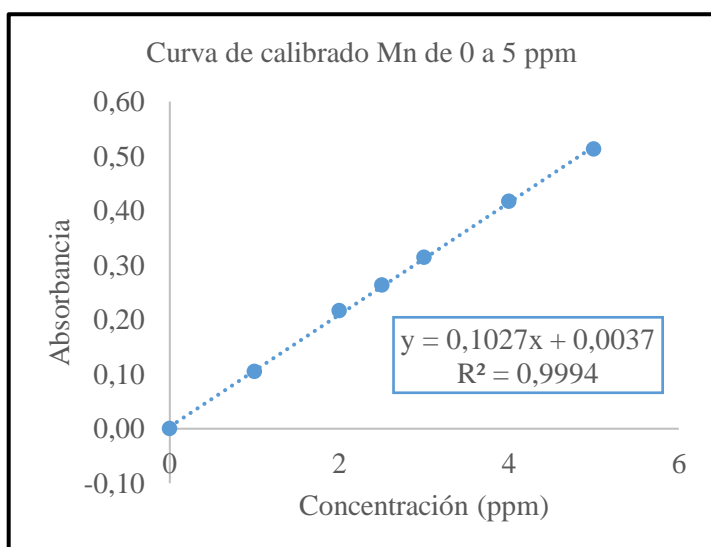


Gráfico 10. Curva calibrado para el Manganeso

Nivel de calibración (n)	7
$a \pm S_a \cdot t_{(0,05;4)}$	$3,71 \cdot 10^{-3} \pm 8,34 \cdot 10^{-3}$
$b \pm S_b \cdot t_{(0,05;4)}$	$102,75 \cdot 10^{-3} \pm 2,82 \cdot 10^{-3}$
R^2	0,9994
$S_{y/x}$	$4,586 \cdot 10^{-3}$

Tabla 16. Parámetros de la recta de calibrado del Manganeso

LOD (ppm)	0,14
LOQ (ppm)	0,45
LOL (ppm)	5,00
Rango lineal (ppm)	0,45–5,00
Sensibilidad analítica	0,14
Sensibilidad de calibrado	93,70

Tabla 17. Parámetros de calidad de la recta de calibrado del Manganeso

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En lo referido a las calibraciones de ambos metales, en el caso de hierro de acuerdo con los resultados obtenidos descritos en la **Tabla 14**, se puede decir que la calibración ha sido óptima ya que se obtiene un coeficiente de determinación de 0,9971, además de un error de la estima ($s_{y/x}$) muy bajo, finalmente se valida el modelo matemático utilizado, ya que el análisis de regresión por mínimos cuadrados genera un gráfico de residuos adjunto (**D.A 7**), donde se puede observar que existe una distribución aleatoria de los residuos, así como, la compensación entre los residuos positivos y negativos tanto en cantidad (tres negativos, tres positivos y uno con valor cero), como en valor numérico. Se puede realizar la misma interpretación para la curva de calibrado del manganeso dando por aceptable y validado el modelo a la vista de los resultados (**Tabla 16**), obteniendo unos mejores resultados para este metal.

A la vista de los parámetros de calidad del método también se obtuvieron buenos resultados de acorde a lo recogido en la **Tabla 15** y en la **Tabla 16**, con un bajo LOD, inferior al valor paramétrico recogido en la legislación vigente (0,34 ppm en el caso del Hierro y 0,14 ppm en el caso del Manganeso), como ocurría en el caso del amonio el LOQ es superior a este valor, pero como la totalidad de las muestras quedaron por debajo del LOD, se da por aceptado el método, conjuntamente se obtiene un amplio rango útil de trabajo, una muy buena sensibilidad analítica y una aceptable sensibilidad de calibrado.

La cuantificación del Hierro y Manganeso en las muestras de agua analizadas dio como resultados valores en concentración, expresados en ppm, para la totalidad de las muestras inferiores al LOD, por lo que no se pudo cuantificar.

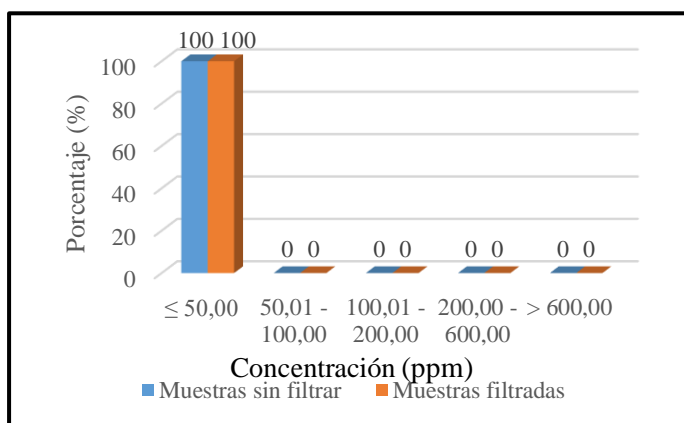


Gráfico 12. Resultados para la cuantificación del Hierro

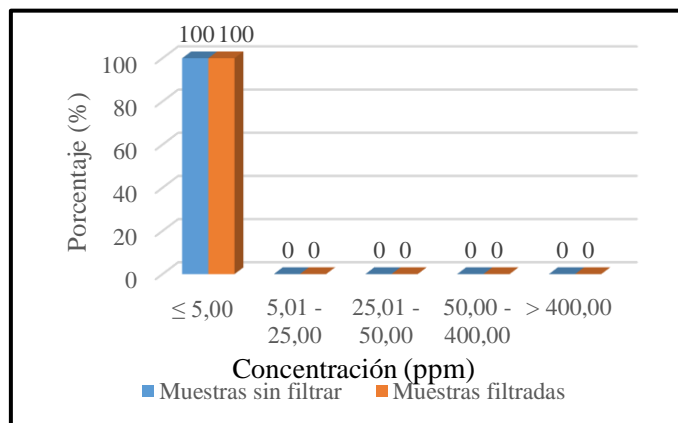


Gráfico 11. Resultados para la cuantificación del Manganeso

Se presentan los C.V para las determinaciones del hierro y manganeso:

$$C.V (\%)_{Fe} = 1,78$$

$$C.V (\%)_{Mn} = 3,20$$

En cuanto a la cuantificación de las muestras, el resultado obtenido para la totalidad de las muestra (**Gráfico 11 y Gráfico 12**) es el que cabría esperar desde un principio, ya que la presencia de hierro y manganeso en las muestras es a niveles traza y no en grandes concentraciones, por lo que haber obtenido un resultado inferior al LOD , nos indica que el agua en cuanto a este parámetro es aceptable, en caso de querer cuantificar estos metales habría que utilizar técnicas más sensibles, como puede ser la absorción atómica con cámara de grafito. A partir del C.V obtenido para las medidas, como ambos quedan por debajo del 5 % y tratándose de un parámetro que por lo normal no debería tener presencia en las muestras nos permite afirmar que las medidas se realizaron de forma correcta. Finalmente, ninguna de las muestras supero el valor paramétrico recogido en la legislación por el cual se deben tomar rápidas medidas correctoras (0,200 ppm en caso del Hierro y 0,050 ppm), ni el valor por el que se afirma que el agua no es apta para el consumo humano (0,600 ppm para el Fe y 0,400 para el Mn).

Olor y sabor.

Ambos resultados se mencionarán en conjunto ya que la determinación del olor y sabor están íntimamente relacionados entre sí, además que como se verá a continuación el análisis de ambos obtuvo el mismo resultado para todas las muestras, donde no se aprecia olor ni sabor, por este motivo no se podrá realizar ningún estudio comparativo ni ninguna clasificación con estos resultados.

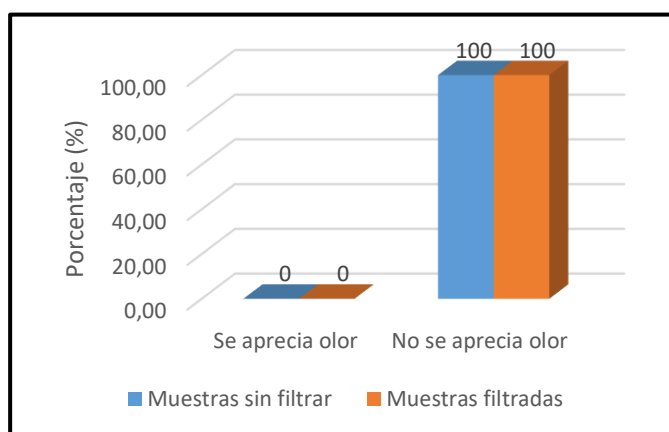


Gráfico 13. Resultados para la cuantificación del olor.

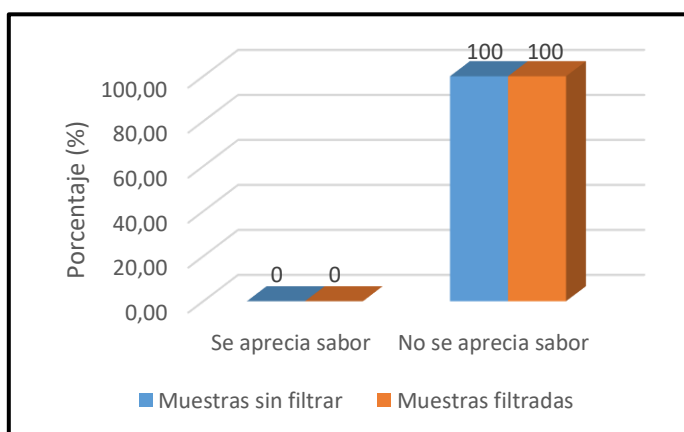


Gráfico 14. Resultados para la cuantificación del sabor.

A la vista de los resultados obtenidos (**Gráfico 14 y Gráfico 13**) se puede decir que las muestras presentan una calidad óptima en cuanto al olor y sabor de las muestras, descartando en primera aproximación, cualquier episodio de contaminación, ya que la aparición de olor o sabor (al igual que de color) en las muestras es el primer síntoma de

ello, en el caso de que alguna de las muestras mostrara un cierto olor a cloro sería normal, ya que esto es debido a los distintos procesos de desinfección que tiene lugar, pero esto no ocurrió para las muestras analizadas, otra presencia de olor y sabor es la presencia de sustancias tales como los compuestos fenólicos, por otra parte, la presencia de olor a sulfuro de hidrógeno puede indicar una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua. Finalmente cabe mencionar que para ambos parámetros no se pueden aplicar los valores paramétricos ni de toma de medidas de control, ya que los métodos seguidos para el análisis no han sido los métodos oficiales que son para los cuales se recogen estos valores.

pH.

En cuanto a los resultados obtenidos para la determinación del pH, se mostrarán estos acompañados de su C.V (%), además se podrá realizar un estudio comparativo en función de los resultados obtenidos y una clasificación en relación con estos.

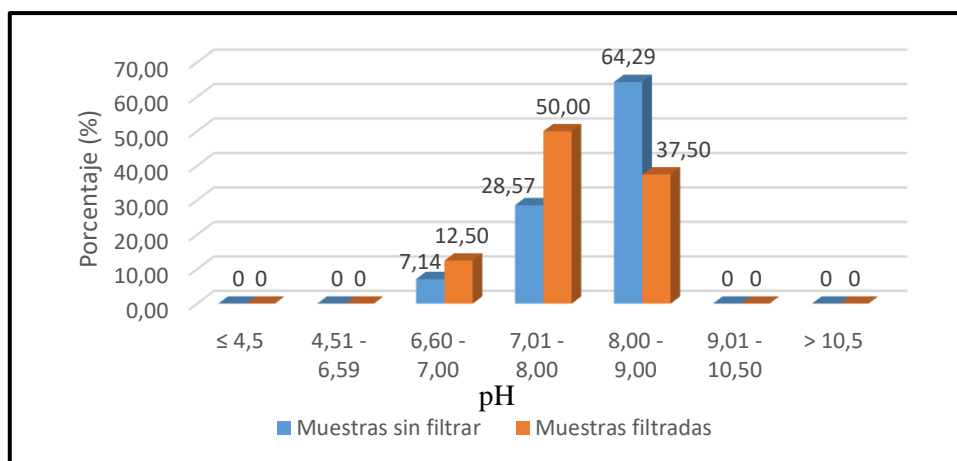


Gráfico 15. Resultados para la cuantificación del pH.

Además de los resultados en cuanto a la cuantificación se muestran el C.V, expresados en porcentaje para las medidas realizadas (tres replicas):

$$C.V(\%)_{\text{Conductividad}} = 0,17$$

En primer lugar, comentar que los resultados obtenidos se dan como óptimos en lo referido con la realización de las medidas ya que se obtiene un C.V muy bajo, inferior al 5 % para las tres replicas realizadas a cada muestra, en cuanto a la cuantificación comentar que para la totalidad de las muestras se dieron resultados dentro de los valores paramétricos tanto el límite inferior (6,5 unidades de pH) como el superior (9,5 unidades de pH), por tanto tampoco se superan los valores correctores por los cuales habría que tomar medidas (4,5 y 10,5 unidades de pH), en caso de superar estos se debe considerar

el agua como no apta para el consumo humano. La mayor parte de los resultados se encuentran en torno a 8 unidades de pH que es el valor óptimo para las aguas de consumo humano (**Gráfico 15**).

A la hora de comparar los resultados obtenidos para la determinación del pH en las muestras tomadas directamente del grifo del consumidor, como tras haber sido filtradas previamente (**Tabla 18**), se puede observar que en la mayor parte los casos el pH disminuye para las muestras filtradas, esto mayormente es debido a que disminuye el contenido salino de las muestras aumentando por tanto el equilibrio de disociación del agua, y en consecuencia la concentración de protones, haciendo que las aguas filtradas sean cada vez más ácidas.

Muestra G.C - M.F	pH	Muestra G.C - M.F	pH
D-M	8,21 - 7,50	Y-Z	8,26 - 8,10
Q-R	8,45 - 8,42	AA-BB	8,47 - 7,66
U-V	7,97 - 7,45	CC-DD	7,73 - 7,83
W-X	8,16 - 8,10	EE-FF	8,30 - 6,74

Tabla 18. Estudio comparativo para la determinación del pH

Sodio y Potasio.

Se discutirán en conjunto los resultados obtenidos para la determinación del sodio y potasio, ya que ambos parámetros se midieron por el mismo método, además que como se verá a continuación la cuantificación de ambos obtuvo como resultados bastante relacionados entre sí, además con el estudio de estos parámetros se podrá hacer un estudio comparativo y realizar una clasificación en función de los resultados, en este caso no se mostraran los C.V, debido a que solo se realizó una medida.

Se presenta en primer lugar la calibración realizada para cada uno de los metales acompañada de sus parámetros de la recta y de calidad:

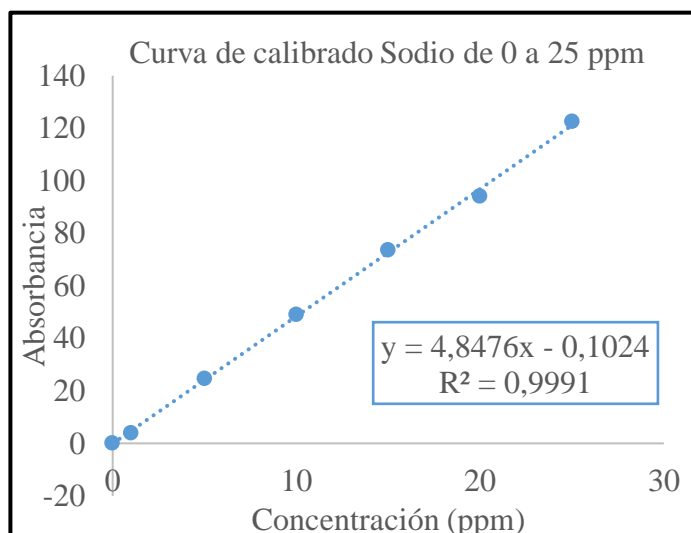


Gráfico 16. Curva calibrado Sodio

Nivel de calibración (n)	7
$a \pm S_a \cdot t_{(0,05;5)}$	$-0,10 \pm 2,39$
$b \pm S_b \cdot t_{(0,05;5)}$	$4,85 \pm 0,17$
R^2	0,9991
$S_{y/x}$	1,560

Tabla 19. Parámetros de la recta de calibrado del Sodio

LOD (ppm)	0,97
LOQ (ppm)	3,22
LOL (ppm)	25,00
Rango lineal (ppm)	3,22 – 25,00
Sensibilidad analítica- calibrado	4,84 - 80,12

Tabla 20. Parámetros de calidad de la recta de calibrado del Sodio

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

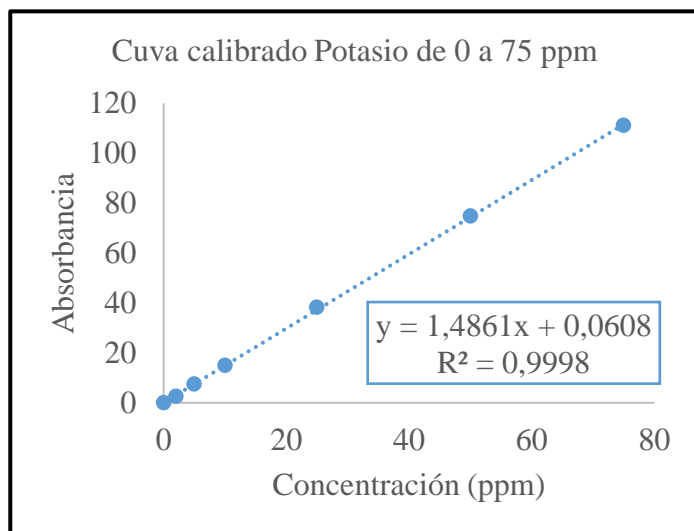


Gráfico 18. Curva calibrado Potasio

Nivel de calibración (n)	7
$a \pm S_a \cdot t_{(0,05;5)}$	$6,08 \cdot 10^{-2} \pm 75,59 \cdot 10^{-2}$
$b \pm S_b \cdot t_{(0,05;5)}$	$148,60 \cdot 10^{-2} \pm 2,12 \cdot 10^{-3}$
R^2	0,9998
$S_{y/x}$	0,5770

Tabla 21. Parámetros de la recta de calibrado del Potasio.

LOD (ppm)	1,16
LOQ (ppm)	3,88
LOL (ppm)	75,00
Rango lineal (ppm)	3,88 - 75,00
Sensibilidad analítica	1,48
Sensibilidad de calibrado	180,18

Tabla 22. Parámetros de calidad de la recta de calibrado del Potasio

En lo referido a las calibraciones de ambos metales, en el caso de sodio de acuerdo con los resultados obtenidos descritos en la **Tabla 19**; Error! No se encuentra el origen de la referencia. y **Gráfico 16**, se puede decir que la calibración ha sido optima ya que se obtiene un coeficiente de determinación de 0,9991, además de un error de la estima ($S_{y/x}$) bajo, para la técnica utilizada, finalmente se valida el modelo matemático utilizado, ya que el análisis de regresión por mínimos cuadrados genera un gráfico de residuos adjunto, donde se puede observar que existe una distribución aleatoria de los residuos (**D.A 7**), así como, la compensación entre los residuos positivos y negativos tanto en cantidad (tres negativos y cuatro positivos) como en valor numérico, se podría mejorar la calibración eliminando algún punto de la recta, pero tras realizar este estudio se comprueba que la mejora no es significativa y se pierde más información analítica eliminando algún punto que manteniendo este modelo matemático. De forma análoga se puede realizar el mismo estudio para el caso del potasio, obteniendo una buena curva de calibrado (**Gráfico 18 y Tabla 21**) con un buen coeficiente de correlación, un bajo $S_{y/x}$, por lo que se da por validado el modelo matemático de acorde a lo mencionado con anterioridad para el sodio.

En lo referente a los parámetros de calidad del método (**Tabla 20 y Tabla 22**) se obtuvieron resultados aceptables si se tiene en cuenta la técnica e instrumento utilizado, con un bajo LOD, inferior al valor paramétrico recogido en la legislación vigente 0,200 ppm en el caso del sodio, en el caso del potasio no se dispone de este valor, ya que no se trata de un parámetro indicador de la calidad de las aguas de consumo humano, en lo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

referido al LOQ también ocurre lo mismo, dando lugar a un amplio rango lineal donde se puede cuantificar ambos parámetros en las muestras de aguas analizadas.

La cuantificación del sodio y potasio se realizó aplicando la metodología de fotometría de llama, obteniendo a partir de la curva de calibrado previa, la concentración de estos metales en la muestras de agua, estos se muestran a continuación, además en este caso no se presentan los coeficientes de variación ya que solo se realizó una medida:

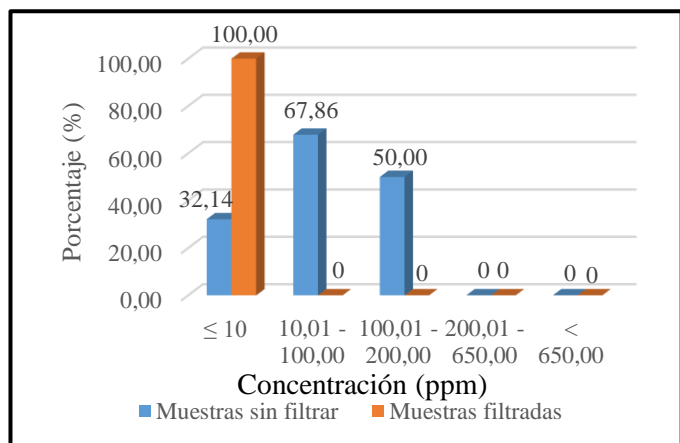


Gráfico 20. Resultados para la cuantificación del Sodio.

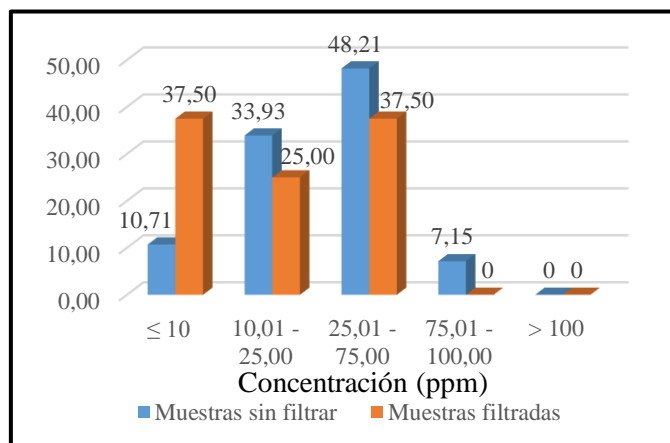


Gráfico 19. Resultados para la cuantificación del Potasio

En cuanto a la cuantificación de las muestras, se pudo conocer la concentración de la mayor parte de las muestras para ambos parámetros, a excepción de algunas muestras filtradas previamente, donde se obtuvieron resultados inferiores al LOD o para muy pocas muestras donde se supera el LOL para el Potasio por lo que se tuvieron que diluir las muestras y repetir las mediciones para poder cuantificar este parámetro. Para acabar comentar que ninguna de las muestras supero los valores paramétricos para el sodio ya que para el potasio al no tratarse de un parámetro indicador no se dispone de este dato (**Gráfico 20 y Gráfico 19**), por lo que se da el agua como apta para el consumo humano, pero mencionar que las muestras filtradas al tener un contenido de ambos metales muy bajo, siempre de acuerdo con los resultados, se consideran deficitarias en estos metales.

A la hora de comparar los resultados obtenidos para la determinación del sodio en las muestras tomadas directamente del grifo del consumidor, como tras haber sido filtradas previamente (**Tabla 23**), se puede observar que en la totalidad de los casos disminuye para las muestras filtradas, esto mayormente es debido a que el filtro funciona de forma correcta y cumple su misión, disminuir el contenido en sodio de las muestras.

Estudio comparativo			
Muestra G.C - M.F	Concentración K (ppm)	Muestra G.C - M.F	Concentración K (ppm)
D-M	34,94 - 47,34	Y-Z	26,94 - 8,24
Q-R	64,04 - 13,04	AA-BB	< LOD - < LOD
U-V	14,54 - 28,34	CC-DD	33,54 - 27,54
W-X	16,44 - 15,04	EE-FF	15,64 - < LOD

Tabla 23. Estudio comparativo para la determinación del Sodio

En el caso de realizar la comparación para el potasio (**Tabla 24**), se observa a primera vista que las diferencias no son muy significativas entre ambos parámetros, además de que en alguno de los casos (D-M, U-V) el contenido en potasio es mayor en las muestras filtradas que sin filtrar, esto puede deberse al propio error de medición del instrumento utilizado, ya que las muestras fueron tomadas el mismo día, de forma general se puede decir que si se reduce la cantidad de potasio pero no de forma significativa.

Estudio comparativo			
Muestra G.C - M.F	Concentración Na (ppm)	Muestra G.C - M.F	Concentración Na (ppm)
D-M	11,49 - < LOD	Y-Z	9,76 - < LOD
Q-R	15,74 - 6,46	AA-BB	17,70 - < LOD
U-V	9,47 - < LOD	CC-DD	11,64 - 9,76
W-X	10,83 - < LOD	EE-FF	10,17 - < LOD

Tabla 24. Estudio comparativo para la determinación del Potasio.

De manera común para ambos parámetros se debe decir que el agua tras haber sido filtrada es apta para el consumo humano, pero ya que es necesario incluir en la dieta estos metales, si son eliminados de forma total o a niveles bajos, pueden producir enfermedades por déficit de estos.

Sulfatos.

Se expondrán los resultados obtenidos para la determinación de los Sulfatos en las muestras de agua, acompañados de los C.V para las medidas, además con el estudio de estos parámetros se podrá hacer un estudio comparativo y realizar una clasificación en función de los resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Se presenta la calibración realizada para la determinación de los sulfatos acompañados de sus parámetros de la recta y de calidad:

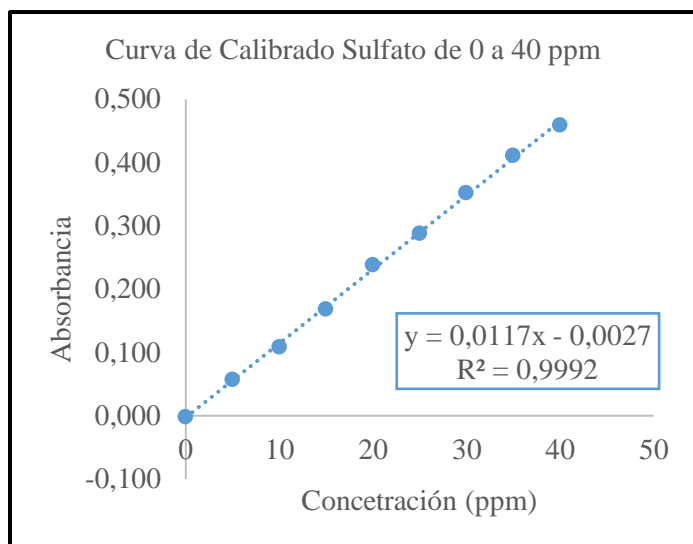


Gráfico 21. Curva de calibrado de los Sulfatos.

Nivel de calibración (n)	9
$a \pm Sa \cdot t_{(0,05;5)}$	$-2,68 \cdot 10^{-3} \pm 7,24 \cdot 10^{-3}$
$b \pm Sb \cdot t_{(0,05;5)}$	$11,70 \cdot 10^{-3} \pm 3,04 \cdot 10^{-4}$
R^2	0,9992
$S_{y/x}$	$4,983 \cdot 10^{-3}$

Tabla 25. Parámetros de la recta de calibrado de los Sulfatos.

LOD (ppm)	1,28
LOQ (ppm)	4,26
LOL (ppm)	40,00
Rango lineal (ppm)	4,26 – 40,00
Sensibilidad analítica	0,01
Sensibilidad de calibrado	90,92

Tabla 26. Parámetros de calidad de la recta de calibrado para los Sulfatos.

En lo referido a la calibración para este parámetro, a la vista de los resultados obtenidos descritos en la **Tabla 25**, se puede decir que la calibración ha sido óptima ya que se obtiene un coeficiente de determinación de 0,9992, además de un error de la estima ($S_{y/x}$) muy bajo, finalmente se valida el modelo matemático utilizado, ya que el análisis de regresión por mínimos cuadrados genera un gráfico de residuos adjunto (**D.A 7**), donde se puede observar que existe una distribución aleatoria de los residuos, así como, la compensación entre los residuos positivos y negativos tanto en número (cuatro negativos y cinco positivos, ambos próximos al valor cero) como en valor numérico,

En cuanto a los parámetros de calidad del método se obtuvieron resultados bastante buenos si se tiene en cuenta la técnica utilizada (**Tabla 26**), ya que no se trata del método oficial, se consigue un bajo LOD, inferior al valor paramétrico recogido en la legislación vigente 0,250 ppm y un aceptable LOQ dando lugar a un amplio rango lineal donde se puede cuantificar este parámetro. De la misma manera se obtiene muy buenas sensibilidades para este método cercanas a valores óptimos.

La cuantificación de los sulfatos se realizó aplicando la metodología explicada con anterioridad, obteniendo a partir de la curva de calibrado previa, la concentración de este parámetro, además de presentar los coeficientes de variación para las tres replicas realizadas para cada muestras.

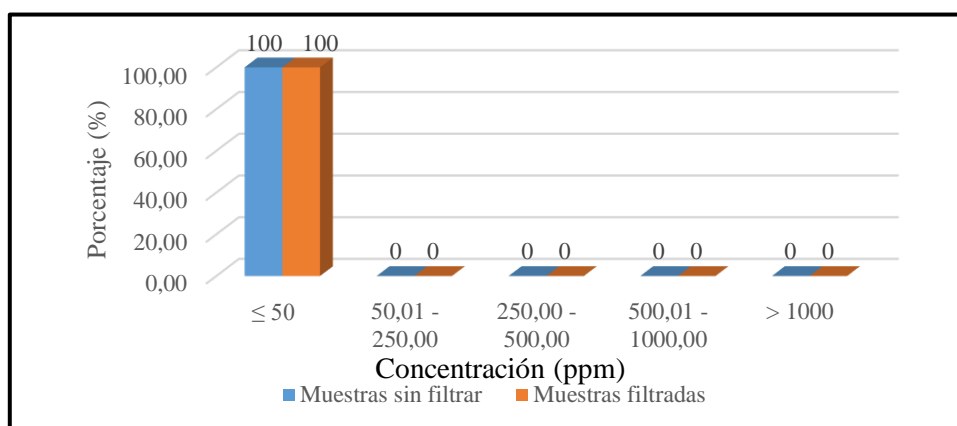


Tabla 27. Resultados para la cuantificación de los sulfatos.

Además, se presentan a continuación el valor para el C.V, expresado en porcentaje para las medidas realizadas.

$$C.V (%) = 1,74$$

Para la cuantificación de las muestras, se pudo conocer la concentración de la mayor parte, a excepción de algunas de muestras filtradas previamente, donde se obtuvieron resultados inferiores al LOD o para muy pocas muestras donde se supera el LOL por lo que se tuvieron que diluir las muestras y repetir las mediciones para poder cuantificar este parámetro, también existieron pocas muestra donde la concentración se situó entre el LOD y LOQ, por lo que se puede detectar la presencia de sulfato en las muestras pero no cuantificar este (**Gráfico 21**). En lo referido a los valores paramétricos he de comentar que ninguna de las muestras supero el valor recogido en la legalidad (250 ppm) y en consecuencia el valor por el que hay que tomar medidas correctoras y se considera el agua como no apta para el consumo humano de (1000 ppm)

A la hora de comparar los resultados obtenidos para la determinación del sulfato en las muestras tomadas directamente del grifo del consumidor, como tras haber sido filtradas previamente (**Tabla 28**), se puede observar que en la totalidad de los casos disminuye para las muestras filtradas, esto mayormente es debido a que el filtro funciona de forma correcta y cumple su misión, disminuir el contenido en sulfato de las muestras, esto es un aspecto positivo ya que la presencia de grandes cantidades de sulfatos en la muestras puede producir problemas gastrointestinales en los consumidores.

Estudio comparativo			
Muestra G.C - M.F	Concentración (ppm)	Muestra G.C - M.F	Concentración (ppm)
D-M	7,75 - < LOD	Y-Z	N.C - < LOD
Q-R	8,95 - < LOD	AA-BB	N.C - < LOD
U-V	4,76 - < LOD	CC-DD	6,70 - N.C
W-X	9,60 - 6,44	EE-FF	< LOD - < LOD

Tabla 28. Estudio comparativo para la determinación de los Sulfatos.

Turbidez

Previo a mostrar los resultados para la determinación de la turbidez de las muestra se comenta que como ocurría en casos anteriores no se realizar ningún estudio comparativo ni clasificación ya que los resultados no lo permiten. En lo referido a la turbidez de las muestras de agua, tras realizar el análisis visual, ninguna de ellas presentaba ninguna turbidez apreciable.

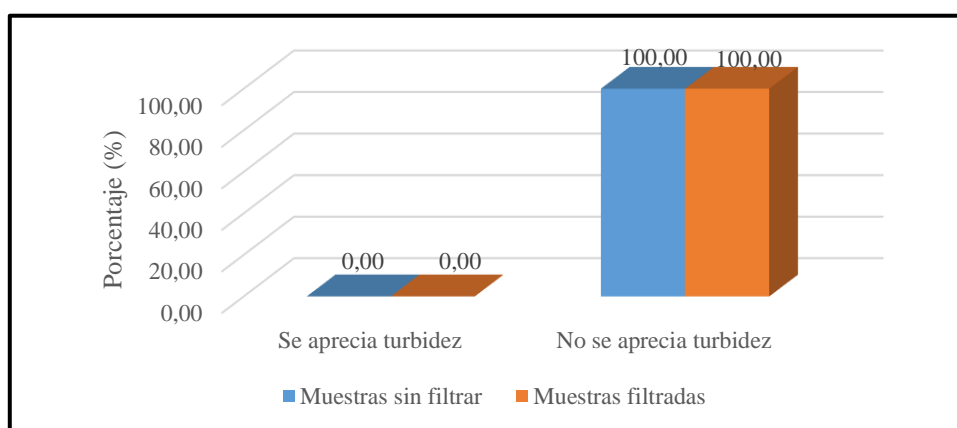


Gráfico 22. Resultados para la cuantificación de la turbidez.

Los resultados obtenidos indican que las muestras de agua a simple vista no presentan turbidez (**Gráfico 22**), por lo que es un buen síntoma para en primera aproximación afirmar que las muestras de agua presentan una calidad adecuada, en conjunto con los resultados obtenidos para el color, olor y sabor descritos con anterioridad. En cuanto a los valores paramétricos y de medidas de corrección no se pueden aplicar ya que el método utilizado para esta determinación no fue el utilizado para obtener esos valores.

Alcalinidad.

A la hora de expresar los resultados para este parámetro, se expondrán los resultados para la alcalinidad total ya que se cómo se ha comentado previamente la alcalinidad se entiende como la suma de los iones OH^- , CO_3^{2-} y HCO_3^- , entre otros presente en las muestras, además se expondrá su coeficiente de variación para las medidas realizadas.

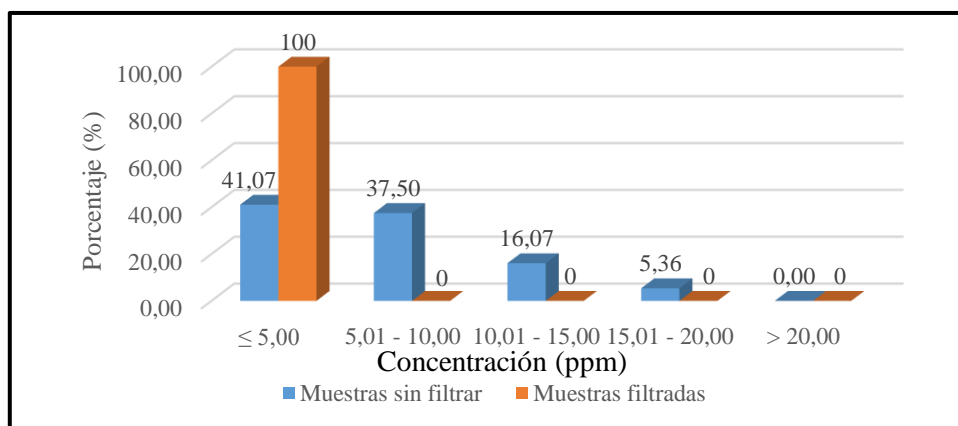


Gráfico 23. Resultados para la cuantificación de la Alcalinidad.

Además, se presentan a continuación el valor para el C.V, expresado en porcentaje para las medidas realizadas.

$$C.V(\%)_{Fenofaleina} = 0,80$$

$$C.V(\%)_{Naranja\ de\ Metilo} = 0,32$$

A la vista de los resultados obtenidos, en primer lugar se dan por aceptadas las medidas realizadas, ya que su C.V es bastante inferior al 5% para ambas volumetrías, además tratándose de una técnica volumétrica son resultados bastantes buenos, en relación a la cuantificación se obtienen resultados (**Gráfico 23**) muy variados dependiendo de la muestra analizadas, desde aguas muy poco alcalinas, sobre todo las muestras filtradas, a aguas muy alcalinas, esto es mayormente debido a las diferentes características de las muestras de agua tomadas, en consecuencia de los tipos de suelos que existen a lo largo de toda la isla de Tenerife

A la vista del estudio comparativo mostrada en la tabla siguiente (**Tabla 29**), se observa que para todas las muestras la alcalinidad disminuye tras el proceso de filtración, esto es debido mayormente a la eliminación de las distintas sales que contienen los iones OH^- , CO_3^{2-} y HCO_3^- , como ocurría en casos anterior para la muestra donde se produce una disminución menor es la "X", por lo que se sospecha que este filtro no funciona de forma correcta.

Estudio comparativo			
Muestra G.C - M.F	Concentración (Meq/L)	Muestra G.C - M.F	Concentración (Meq/L)
D-M	7,28 - 0,25	Y-Z	5,48 - 0,50
Q-R	12,45 - 2,80	AA-BB	10,00 - 0,20
U-V	2,95 - 0,30	CC-DD	6,45 - 5,25
W-X	3,50 - 3,32	EE-FF	2,75 - 0,25

Tabla 29. Estudio comparativo para la determinación de la Alcalinidad

Dureza total.

En lo referido al cálculo de la dureza total se expondrán los resultados para la cuantificación de las muestras, acompañados del C.V para las tres replicas realizadas, además del estudio comparativo y de su clasificación.

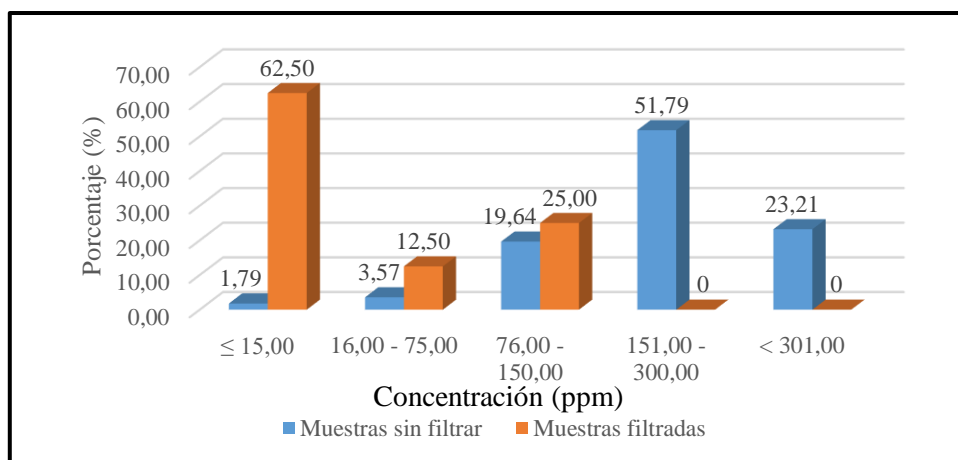


Gráfico 24. Resultados para la cuantificación de la Dureza total.

Se expone a continuación el coeficiente de variación expresado en porcentaje para las tres replicas realizadas para cada muestra:

$$C.V (%) = 1,54$$

A la vista de los resultados obtenidos, en primer lugar se dan por aceptadas las medidas realizadas, ya que su C.V es bastante inferior al 5%, además tratándose de una técnica volumétrica son resultados bastantes buenos, en relación a la cuantificación se obtienen resultados (**Gráfico 24**) muy variados dependiendo de la muestra analizadas, desde aguas muy blandas, sobre todo las muestras filtradas, a aguas muy duras, esto es mayormente debido a las diferentes características de las muestras de agua tomadas, en consecuencia de los tipos de suelos que existen a lo largo de toda la isla de Tenerife, siendo la mayor parte de ellas aguas semiduras o duras, que de acorde a lo que recomienda la OMS son las mejores aguas en función de la dureza para el consumo humano, ya que aguas muy blandas no son aconsejables debido a su bajo nivel de sales.

A la hora de comparar los resultados obtenidos para la determinación de la dureza total para las muestras analizadas (**Tabla 30**), se comprueba que para casi todas las muestras filtradas su dureza disminuye de forma exponencial pasando de ser aguas muy duras o duras a aguas muy blandas, a excepción de las muestras W-X, que como ya se ha

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

comentado previamente se sospecha que el filtro no funciona correctamente, comentar también que según la OMS de la salud las muestras de acuerdo a su dureza deben ser semiduras, ya que es necesario el aporte de nutrientes en el organismo, aguas muy blandas no son recomendadas para el consumo humano, aunque no se consideran no aptas para este.

Estudio comparativo			
Muestra G.C - M.F	Concentración CaCO ₃ (ppm)	Muestra G.C - M.F	Concentración CaCO ₃ (ppm)
D-M	290,91 - 11,34	Y-Z	108,10 - 8,01
Q-R	300,26 - 37,37	AA-BB	4,00 - 0,00
U-V	144,13 - 12,01	CC-DD	176,16 - 136,12
W-X	120,11 - 124,11	EE-FF	92,08 - 8,01

Tabla 30. Estudio comparativo para la determinación de la Dureza total.

Fluoruros.

En cuanto a la cuantificación de los fluoruros cabe comentar que por motivos experimentales no se pudo realizar la cuantificación total de esta parámetro para toda las muestras, únicamente se realizó para 19 de ellas, se expondrán a continuación la calibración realizada para el estudio de este parámetro, como los resultados obtenidos además de sus coeficientes de variación.

Se expone en primer lugar la calibración realizada a acompañado de sus parámetros de la recta, además de las recomendaciones del fabricante del instrumento, ya que en este caso no se puede calcular los parámetros de calidad del método, a tratarse de un método potenciométrico.

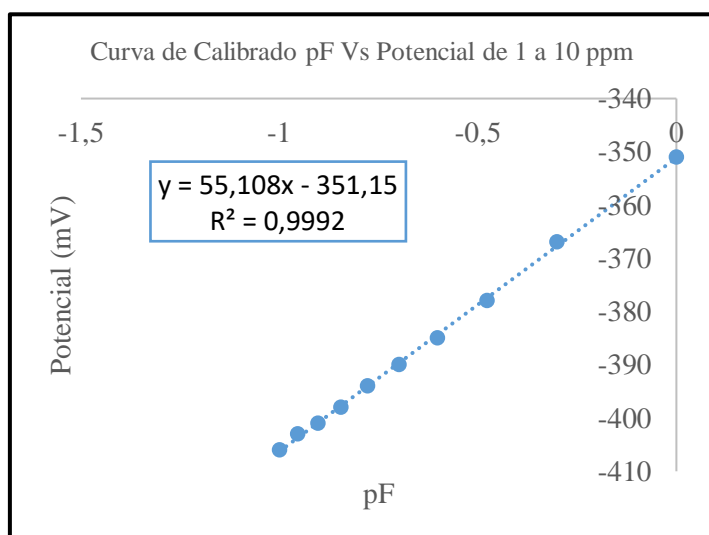


Gráfico 25. Curva calibrado para los Fluoruros

Nivel de calibración (n)	10
$a \pm S_a \cdot t_{(0,05;5)}$	$-351,15 \pm 90,06 \cdot 10^{-2}$
$b \pm S_b \cdot t_{(0,05;5)}$	$55,10 \pm 1,24$
R^2	0,9992
$S_{y/x}$	0,5164

Tabla 31. Parámetros de la recta de calibrado para los Fluoruros.

LOD (ppm)	0,02
LOQ (ppm)	0.10
LOL (ppm)	20.000,00
Rango lineal (ppm)	0,1 – 20.000
Sensibilidad analítica	-----
Sensibilidad de calibrado	-----

Tabla 32. Especificaciones para el ISE de Fluoruros.

En lo referido a la calibración para este parámetro, de acuerdo con los resultados obtenidos descritos en la **Tabla 31**, se puede decir que la calibración ha sido óptima ya que se obtiene un coeficiente de determinación de 0,9992, además de un error de la estima ($s_{y/x}$) bajo, finalmente se valida el modelo matemático utilizado, ya que el análisis de regresión por mínimos cuadrados genera un gráfico de residuos adjunto (**D.A 7**), donde se puede observar que existe una distribución aleatoria de los residuos, así como, la compensación entre los residuos positivos y negativos tanto en cantidad (cinco negativos y cinco positivos, ambos próximos al valor cero) como en valor numérico.

En lo referido a los parámetros de calidad del método, como se ha comentado previamente no se pueden calcular debido a la técnica utilizada, por lo que se utilizan las especificaciones del fabricante descritas en el manual de instrucciones (**Tabla 32**).

Se expone a continuación los resultados para la cuantificación:

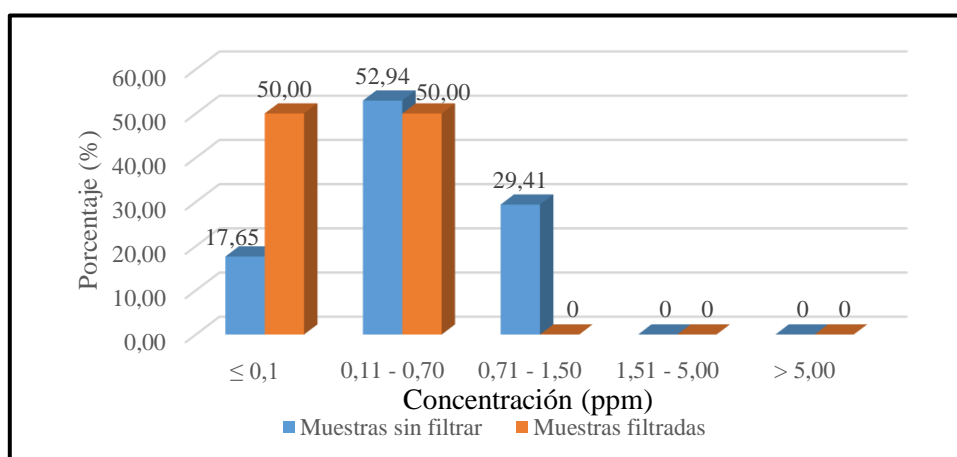


Gráfico 26. Resultados para la cuantificación de los Fluoruros.

Se presenta el C.V, para las tres replicas realizadas para cada medida:

$$C.V (%) = -0,16$$

A la vista de la cuantificación de las muestras (**Gráfico 26**), se pudo conocer la concentración de la mayor parte de las muestras, a excepción de una de las muestras filtradas previamente, donde se obtuvieron resultados inferiores al LOQ en estos caso se puede detectar la presencia de fluoruro en las muestras, pero no cuantificar. En lo referido a los valores paramétricos no se puede comentar ya que no se trata de un parámetro indicador y no se conocen valores recogido en la legislación.

Como se ha explicado anteriormente no se pudo realizar la medida para todas las muestras lo que nos deja solo con dos resultados para realizar el estudio comparativo (**Tabla 33**),

aun así, aunque no sea muy representativo, se puede observar que en ambos casos el contenido en fluoruro disminuye de forma considerable para ambas muestras, en el caso de este parámetro si es recomendable llevar a cabo una filtración previa, ya que a menores concentraciones de flúor, más apta es el agua de consumo humano.

Estudio comparativo	
Muestra G.C - M.F	Concentración Flúor (ppm)
D-M	0,42 – N.C
Q-R	0,81 - 0,22

Tabla 33. Estudio comparativo para la determinación de los Fluoruros.

Resido seco a 180 °C.

En lo referido al cálculo del residuo seco a 180 °C, se expondrán los resultados para su cuantificación acompañados de su C.V.

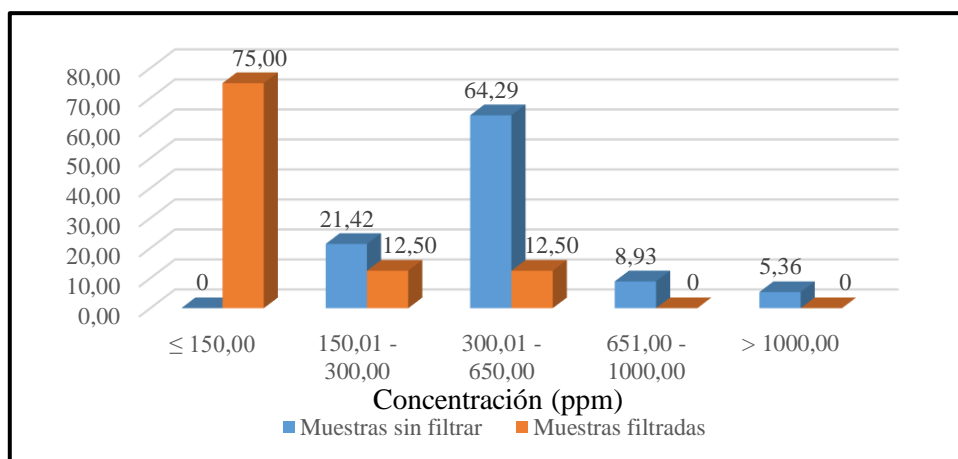


Gráfico 27. Resultados para la cuantificación del Residuo Seco.

Se expone el C.V, para las tres replicas realizadas para cada medida:

$$C.V (%) = 8,64$$

En primer lugar comentar que aunque el valor del C.V sea superior al 5% se dan por aceptables las medidas, ya que se trata de una técnica gravimétrica que produce diferencia entre las réplicas para una misma muestra, en la tercera o cuarta cifra decimal de la pesada, utilizando una balanza analítica, por lo que los valores medios son muy pequeños, obteniendo por tanto unos valores altos para los coeficientes de variación, en cuanto a los resultados obtenidos para la cuantificación (**Gráfico 26**), la mayor parte de las aguas se encuentran dentro de lo recomendando por los distintos organismos, siendo aguas aceptables para el consumo humano, aunque alguna de ellas tienen un alto contenido

mineral, finalmente no se puede realizar ninguna comparación con valores paramétricos ya que no se trata de un parámetro indicador de la calidad de las aguas de consumo humano.

A la vista de los resultados obtenidos descritos a continuación (**Tabla 34**) se observa que para la totalidad de las muestras una vez filtradas, su residuo seco disminuye de forma considerable, a excepción de la pareja W-X que como ocurría anteriormente se sospecha que el filtro no funciona correctamente, finalmente comentar que aquellas muestras que tras ser filtradas obtiene resultados de mineralización muy baja tampoco son óptimas para el consumo humano, ya que es necesario que el agua tenga cierto nutrientes y minerales.

Estudio comparativo			
Muestra G.C - M.F	Residuo Seco (ppm)	Muestra G.C - M.F	Residuo Seco (ppm)
D-M	426,00 - 60,00	Y-Z	326,00 - 16,00
Q-R	744,00 - 148,00	AA-BB	634,00 - 14,00
U-V	380,00 - 16,00	CC-DD	400,00 - 342,00
W-X	424,00 - 338,00	EE-FF	340,00 - 40,00

Tabla 34. Estudio comparativo para la determinación del Residuo Seco.

4.2. Estudio de los parámetros estadísticos.

Se muestra en las siguientes tablas los parámetros estadísticos para todas las mediciones realizadas, tanto para las muestras sin filtrar como las filtradas previamente, de ellos se puede confirmar la gran variabilidad en cuanto a los resultados para las muestras no filtradas (**Tabla 35**), ya que se obtienen valores tanto para los coeficientes de variación, como para la varianza y la desviación estándar bastante elevados, esto es debido mayormente a la gran diversidad de las muestras de agua escogidas para el análisis, algunas tienen su origen en galerías, otras son desaladas o de pozos, esto implica que tengan unas propiedades físico-químicas y organolépticas muy diferentes entre sí.

En el caso de las muestras filtradas previamente (**Tabla 36**) este efecto se ve disminuido considerablemente, obteniendo coeficientes de variación muy bajos para la gran variabilidad de las muestras existentes, esto es debido a que tras el proceso de filtración los distintos parámetros indicadores de las diferentes muestras se aproximan entre sí, de manera que desde el punto de vista de sus propiedades y características son aguas bastante más similares que las originales.

	Numero de muestras	Media	Mediana	Moda	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desviación estándar	Varianza	Coefficiente de variación
AMONIO	56	< LOD	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
CLORO RES		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 %
CLORO LIBRE		0,28	0,30	0,00	0,80	0,00	0,22	0,05	77,97 %
CLORO TOTAL		0,28	0,30	0,00	0,80	0,00	0,22	0,05	77,97 %
CLOURS		107,59	97,87	133,45	233,53	13,34	57,93	3355,37	53,84 %
COLOR		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
CONDUCTIVIDAD		822,60	737,33	-----	1653,67	300,67	318,90	101695,82	38,77 %
SALINIDAD		400,60	359,17	-----	822,33	143,07	163,67	26691,01	40,78 %
HIERRO		< LOD	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
MANGANESO		< LOD	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
OLOR		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
SABOR		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
pH		8,03	8,19	8,42	8,62	6,62	0,52	0,27	6,51 %
SODIO		12,03	11,41	11,24	19,06	6,02	3,50	12,24	29,09 %
POTASIO		30,66	27,01	29,74	71,14	6,04	18,04	325,34	58,82 %
SULFATOS		13,85	9,58	6,10	47,81	4,82	11,32	128,17	81,77 %
TURBIDEZ		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
ALCALINIDAD		6,89	6,65	8,28	17,83	0,50	4,19	17,58	60,82 %
DUREZA		246,10	237,88	320,28	627,22	32,03	124,80	15574,60	50,71 %
FLUOR		0,42	0,39	0,08	0,81	0,06	0,28	0,08	67,48 %
RESIDUO SECO	459,88	412,00	580,00	1070,00	152,00	220,03	48414,31	47,85 %	

Tabla 35. Parámetros estadísticos para las muestras sin filtrar.

	Numero de muestras	Media	Mediana	Moda	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desviación estándar	Varianza	Coefficiente de variación
AMONIO	8	< LOD	----	----	----	----	----	----	----
CLORO RES		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 %
CLORO LIBRE		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 %
CLORO TOTAL		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 %
CLOURS		31,54	16,13	13,34	113,34	13,34	34,93	1219,79	1,11 %
COLOR		----	----	----	----	----	----	----	----
CONDUCTIVIDAD		219,94	50,78	----	686,67	19,29	276,28	76333,07	1,26 %
SALINIDAD		68,18	23,72	----	296,67	8,91	96,68	9738,30	1,45 %
HIERRO		< LOD	----	----	----	----	----	----	----
MANGANESO		< LOD	----	----	----	----	----	----	----
OLOR		----	----	----	----	----	----	----	----
SABOR		----	----	----	----	----	----	----	----
pH		7,73	7,75	8,10	8,42	6,74	0,52	0,27	0,07 %
SODIO		8,11	8,11	----	9,76	9,64	2,33	5,44	0,29 %
POTASIO		23,26	21,29	----	47,34	8,24	14,29	204,32	0,61 %
SULFATOS		< LOD	----	----	----	----	----	----	----
TURBIDEZ		----	----	----	----	----	----	----	----
ALCALINIDAD		1,61	0,40	0,25	5,25	0,20	1,94	3,75	1,20 %
DUREZA		42,12	11,68	8,01	136,12	0,00	55,47	3076,57	1,32 %
FLUOR	0,14	0,14	----	0,22	0,06	0,11	0,01	0,81 %	
RESIDUO SECO	121,75	50,00	16,00	342,00	14,00	141,64	20062,21	1,16 %	

Tabla 36. Parámetros estadísticos para las muestras previamente filtradas.

4.3. Clasificación de las muestras por zonas de la isla de Tenerife.

En este último apartado se presentará un estudio realizado a partir de los resultados obtenidos para los parámetros indicadores que se hayan podido cuantificar, calculando la media para las distintas muestras de la zona metropolitana, norte y sur de la isla de Tenerife (*Ilustración 4*), de esta forma se hará una clasificación de las muestras analizadas en función de su zona.

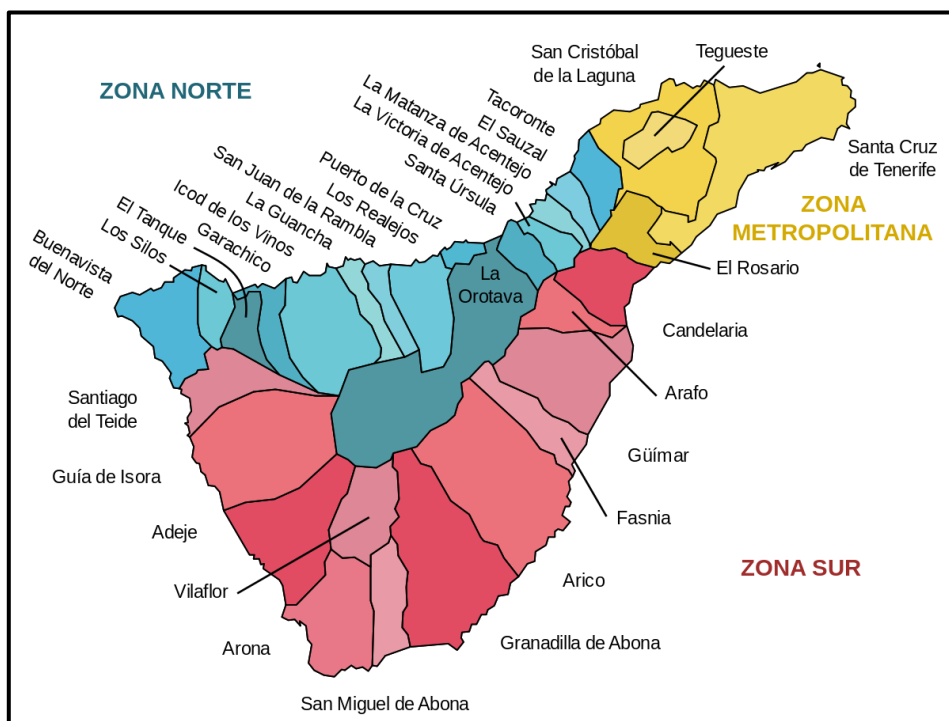


Ilustración 4. Zonas y municipios de la isla de Tenerife.

Observando los gráficos de barras para el estudio de zonas se puede sacar una serie de conclusiones en función de la zona de la isla, aunque las diferencias entre las zonas para los distintos parámetros no son muy grandes en algunos de los casos, pero si permite discutir algunos aspectos:

- **Zona Metropolitana:** Las muestras tomadas en el área metropolitana se caracterizan por tener los valores de pH más elevados de la isla (**Gráfico 33**), por lo contrario, en función de los parámetros que están relacionados con el contenido salino (conductividad, salinidad, dureza, sodio, potasio, sulfatos y residuo seco) son las que menos cantidad tiene, esto es debido a que por lo general las aguas de consumo humano de la zona metropolitana tiene su origen en aguas de mar, tratadas por procesos de desalación, generalmente, osmosis inversa, lo que reduce en su mayor parte el contenido salino de las mismas, en

consecuencia a esto cabría esperar unos valores de pH un poco inferior a los obtenidos, en torno a 7 u 8 unidades de pH, y no mayor a 8 como es el caso, esta pequeña diferencia puede ser debida a diversas situaciones, por ejemplo que las mediciones no se realizaron en el momento de la toma de muestra sino más tarde en el laboratorio.

De la misma manera el contenido en cloro libre y por tanto en cloro total (**Gráfico 32**), también es el más elevado, por el mismo motivo, ya que son aguas que por lo general tienen tratamientos de desinfección, de forma general se puede decir ,ya que las diferencias no son significativas, que en todas las zonas de la isla se llevan a cabo buenos procesos de desinfección de las aguas.

- **Zona norte:** Por lo contrario que las aguas de la zona metropolitana, las aguas de la zona norte se caracterizan por tener un contenido salino y los parámetros realizados con el, más elevados (**Gráfico 30**), debido a que son aguas que la mayoría tienen su origen en pozos y galerías, dando características salinas a estas aguas, debidos a los procesos de disolución de anhídrido carbónico y diferentes sales que caracterizan los suelos de la zona norte, en ellas. Por otro lado, otro de los parámetros con mayor aparición en la zona norte son los fluoruros (**Gráfico 36**), como se suponía desde un principio debido al tipo de suelos que existen en ciertos municipios de la zona norte y a la actividad volcánica en torno al sistema del Teide-Pico Viejo, esta diferencia no es muy significativa con el resto de zonas ya que en los últimos años se ha llevado un esfuerzo para disminuir la cantidad de fluoruro en las aguas de esta zona, mezclándola con aguas de contenido menor en fluoruro.
- **Zona sur:** El análisis realizado para las muestras de la zona sur de la isla, revela que estas muestras tienen un mayor contenido en cloruros (**Gráfico 31**), ya que son muestras de aguas que tienen su origen en aguas tomadas del mar, posteriormente desaladas, o de pozos y galerías que están muy cercanas a la costa, aumentando la cantidad de los cloruros de las aguas de esta zona, otro parámetro característico en la zona sur, son los sulfatos (**Gráfico 38**), esto es debido a los tipos de suelos que existen en la zona sur de la isla, que se caracterizan por su contenido en sulfato.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

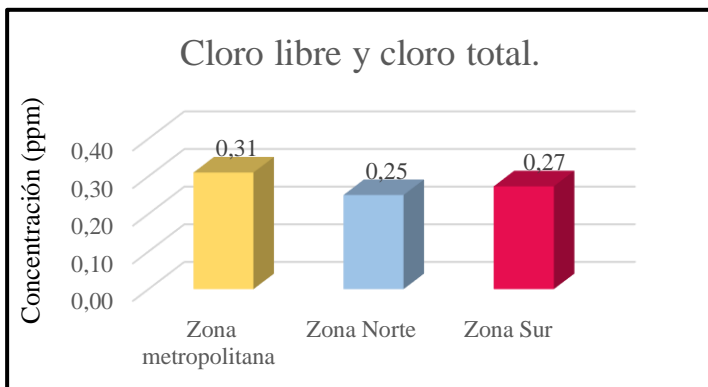


Gráfico 32. Estudio por zonas para el Cloro libre y Cloro total.

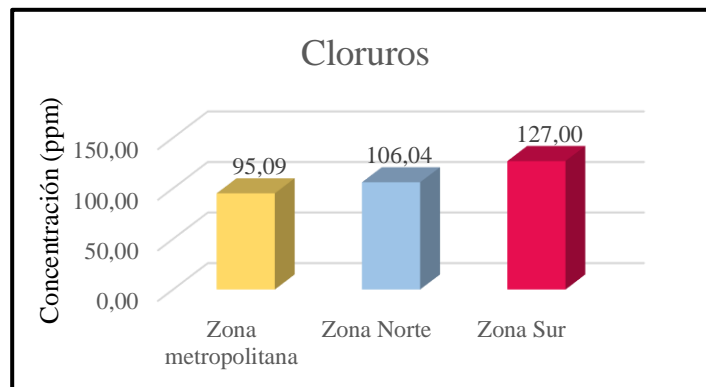


Gráfico 31. Estudio por zonas para los Cloruros.

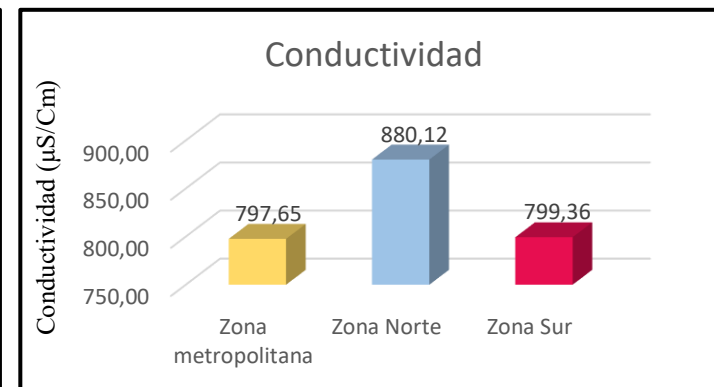


Gráfico 29. Estudio por zonas para la Conductividad

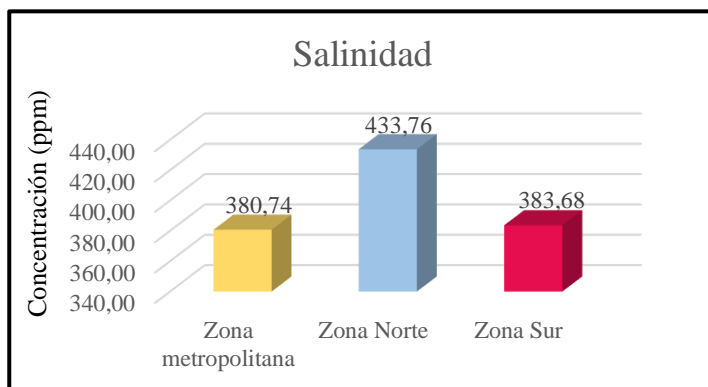


Gráfico 30. Estudio por zonas para la Salinidad.

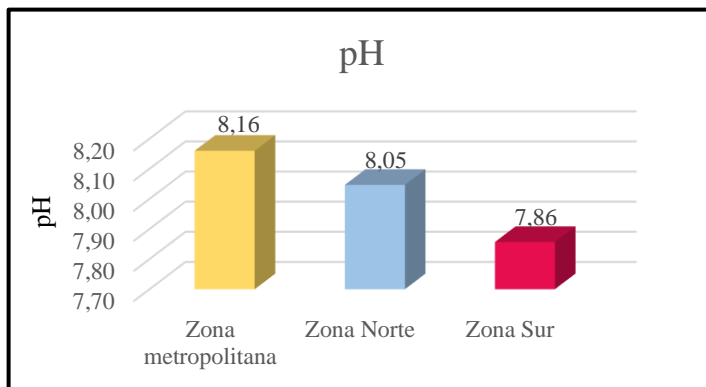


Gráfico 33. Estudio por zonas para el pH.

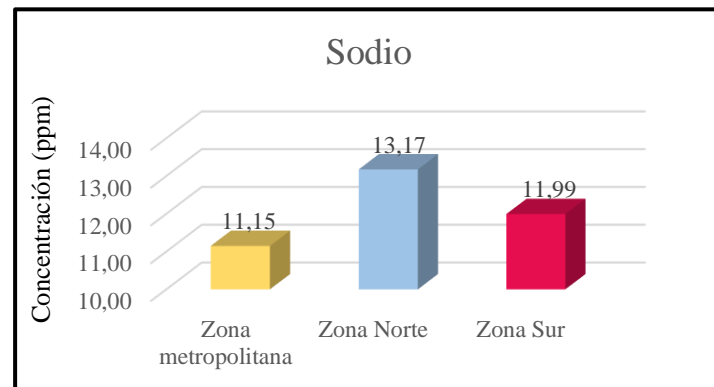


Gráfico 28. Estudio por zonas para el Sodio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

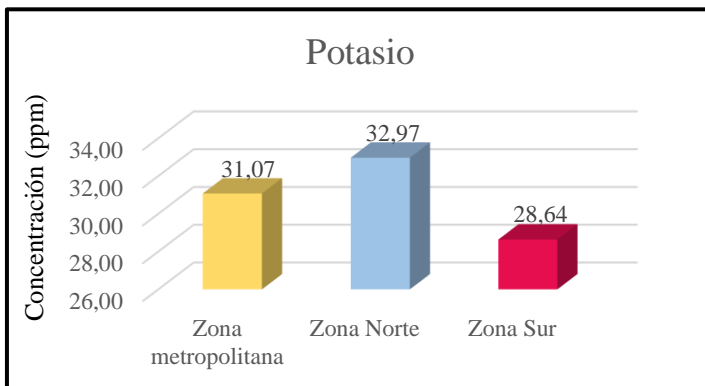


Gráfico 39. Estudio por zonas para el Potasio.

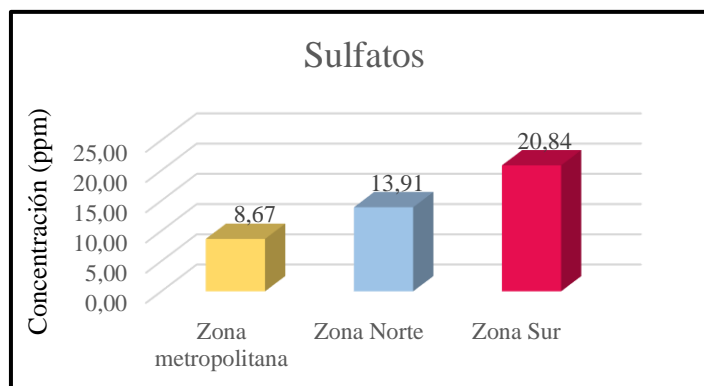


Gráfico 38. Estudio por zonas para los Sulfatos.

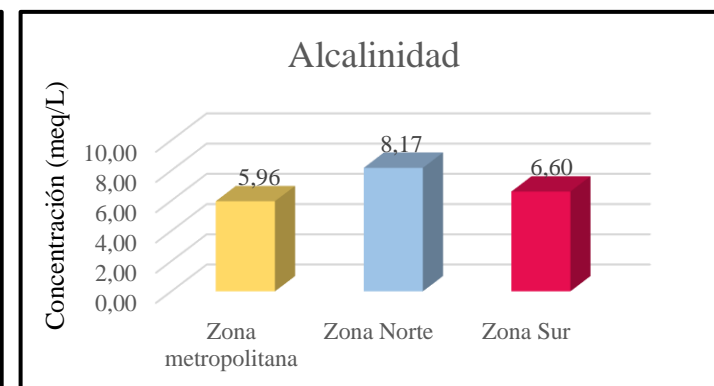


Gráfico 35. Estudio por zonas para la Alcalinidad.

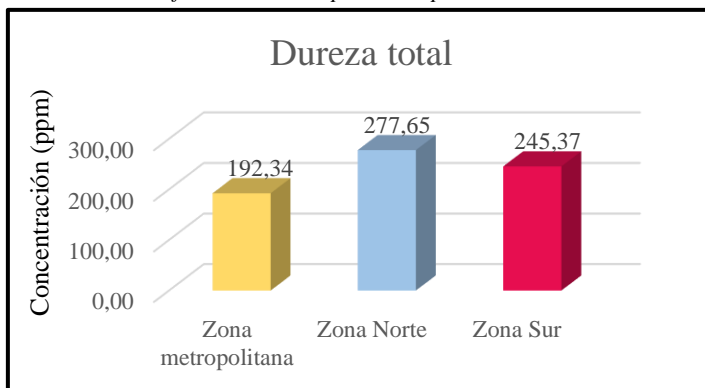


Gráfico 37. Estudio por zonas para la Dureza total.

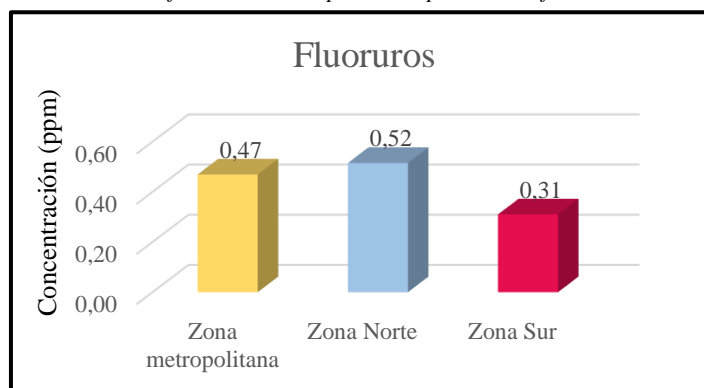


Gráfico 36. Estudio por zonas para los Fluoruros.

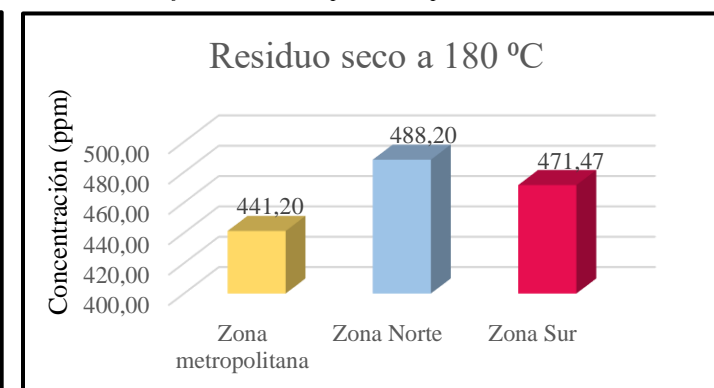


Gráfico 34. Estudio por zonas para el Residuo Seco.

5. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos durante la realización de este Trabajo de Fin de Grado y su posterior estudio se puede concluir que:

- Se ha llevado a cabo un estudio analítico multitecnica para obtener los parámetros indicadores químico de calidad de las aguas de consumo humano y otros parámetros de interés de la isla de Tenerife, entendiendo estos métodos y el tratamiento de los resultados a posteriori.
- A partir de los resultados obtenidos se confirma que la toma de muestra ha sido adecuada para el tipo de muestra de análisis.
- Se ha realizado una revisión bibliográfica que nos permite llevar a cabo el estudio de los distintos parámetros indicadores de calidad de las aguas de consumo humano
- Los resultados obtenidos para la totalidad de los parámetros indicadores estudiados nos permiten confirmar que todas las muestras analizadas son aptas para el consumo humano, ya que nunca se han superado los valores paramétricos recogidos en la legislación vigente.
- Tras obtener los parámetros de interés, después de haber realizado el procedimiento experimental, se ha clasificado las aguas en función de ellos.
- Se confirma, gracias al estudio comparativo, que las muestras filtradas en la mayor parte de los casos disminuyen el valor de estos parámetros de forma considerable, teniendo que no en todos los parámetros esta situación es la óptima.
- Se han podido explicar las diferencias que existen entre las diferentes zonas de la isla en función de las características y propiedades de sus aguas, a partir de los resultados obtenidos.

6. GLOSARIO DE TERMINOS

CFC's: Compuestos Clorofluorocarbonados.

OMS: Organización Mundial de la Salud

DMA: Directiva Marco Europea.

HAP's: Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos

V.P: Valor Paramétrico

Ppm: Partes por millón.

UV-Vis: Ultravioleta-Visible

M.O: Materia Orgánica.

p.a: Pro-análisis

THM's: Trihalometanos

M.S.F: Muestras sin filtrar

M.G.C: Muestras grifo del consumidor

M.F: Muestra filtrada

LOD: Limite de detección.

LOQ: Limite de cuantificación

LOL: Limite de linealidad.

C.V: Coeficiente de variación.

7. DOCUMENTOS ANEXOS.

Se adjunta una serie de documentos que facilitan la interpretación de los resultados del presente trabajo de Fin de Grado, para acceder a ellos en caso de estar leyendo el documento en un ordenador se ha de pulsar ‘Control+clic ‘ y en el caso de un dispositivo móvil, pulsar el documento anexo:

- D.A 1. Municipios de la isla de Tenerife.
- D.A 2. Seguimiento del muestreo (Muestras A-FF).
- D.A 3. Seguimiento del muestreo (Muestras Botella 1-94).
- D.A 4. Seguimiento del muestro (Muestras Botellas 1-94, analizadas).
- D.A 5. Códigos Qr para la identificación y localización (Muestras A-FF).
- D.A 6. Tabla de resultados.
- D.A 7. Gráficos de residuales.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

[Ref. 1] C. Orozco Barrenetxea, A. Pérez Serrano, M^a. N. González Delgado, F. J. Rodríguez Vidal, J. M. Alfayate Blanco. Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química. Thomson Editores, Madrid, España, 2003.

[Ref. 2] N.F Gray. Calidad del agua potable. Problemas y soluciones. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España, 1994.

[Ref. 3] Rodier. J, Análisis de las Aguas. Editorial Omega, 9^o edición España, 2011.

[Ref. 4] Manual de métodos oficiales de aguas potables de consumo público y aguas de bebidas envasadas. Editado por Panreac Química S.A.

[Ref. 5] DIRECTIVA 2000/60/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO del 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. DOC 22-12-2000.

[Ref. 6] REAL DECRETO 140/2003, del 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE n^o45 del viernes 21 de febrero de 2003.

[Ref. 7] Programa de Vigilancia Sanitaria del Agua de Consumo Humano. Comunidad Autónoma de Canarias. Resolución 1067 de la Dirección General del Salud Pública del Servicio Canario de la Salud, de 27 de junio de 2008.

[Ref. 8] Calidad del agua de consumo en España. Informe técnico. Año 1993-2015. Información y Estadísticas Sanitarias. Ministerio de Sanidad, Política Social e Igualdad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

[Ref. 9] Guidelines for Drinking-water Quality. Fourth edition. WHO 2011.

[Ref. 10] Guía para la calidad de las aguas de consumo humano. Tercera edición. OMS 2006

[Ref. 11] González Sacramento. N, Rubio Armendáriz. C, José Gutiérrez Fernández. A, Luis González. G, Hardisson de la Torre. A, Revert Girones.C. *Nutrición hospitalaria* **2015**;31(4):1787-1794.

[Ref. 12] Severiche. A.C, Gonzales. H. *Ing.USBMed* **2012**;3 (2);06-11.

[Ref. 13] Aguilera Rodríguez. I, Pérez Silva. R.M, Marañón Reyes. A. *Revista Cubana de Química* **2010**; 22 (3); 31-44.