

## Trabajo Fin de Grado

Influencia de las estaciones de esquí de Astún y Candanchú en la calidad de las aguas superficiales del río Aragón

Influence of Astún and Candanchú ski resorts on Aragón river superficial water quality (Huesca)

*Autor/es*

Ingrid Cercós Fernández

*Director/es*

Rocío López Flores

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

2020

## Agradecimientos

En primer lugar agradecer a mi Directora en este trabajo de fin de grado Rocío López, por haber aceptado llevar a cabo este trabajo y por toda la ayuda prestada durante el final de esta aventura.

A Gonzalo Gil, por ayudarme tanto y aguantarme durante todo este tiempo. Sé que no ha sido fácil.

A mis padres y mi hermano, por estar ahí para mí.

Gracias a todos

## Resumen

Las estaciones de esquí son importantes atracciones turísticas que cada año mueven a millones de turistas en todo el mundo lo que aumenta la presión sobre los recursos hídricos y su calidad. En este trabajo se ha estudiado la calidad del agua de la cabecera del Valle del río Aragón donde se encuentran las estaciones de esquí de Astún y Candanchú las cuales vierten al río Aragón sus aguas residuales. Los parámetros analizados para determinar la calidad el agua fueron: pH, conductividad, *E.coli*, nitrato y fosfato. La problemática de la afección de las áreas de esquí sobre la calidad del agua es común a otras regiones del mundo, ya que este impacto negativo del turismo ha sido puesto de manifiesto a través de numerosos estudios en diferentes países como se ha comprobado a través de una revisión bibliográfica sobre este tema.

Este estudio mostro una relación entre el área de esquí y las concentraciones de los parámetros analizados para ello se tomaron muestras en diversos puntos durante la temporada 2019/2020. Pero no se pudo demostrar que los niveles de contaminación dependieran tan solo de la influencia del área de esquí ya que también pueden provenir de la composición química natural del agua. Al comparar los resultados obtenidos con la legislación vigente la calidad del agua fue clasificada como “muy buena” atendiendo a los valores que se exponían.

**Palabras clave:** estación de esquí, aguas residuales, nitrato, río Aragón, análisis, nutrientes.

## Abstract

Ski resorts are important tourist attractions that move millions of tourists around the world every year, increasing the pressure on water resources and their quality. In this work, we have studied the water quality of the headwaters of the Aragón River Valley where the Astún and Candanchú ski resorts, which discharge their wastewater into the Aragon River. The parameters analyzed to determine water quality were: pH, conductivity, E.coli, nitrate and phosphate. The problem of the effect of ski areas on water quality is common to other regions of the world, as this negative impact of tourism has been revealed through numerous studies in different countries as has been proven through a literature review on this topic.

This study showed a relationship between the ski area and the concentrations of the analyzed parameters, samples were taken at various points during the 2019/2020 season. But it could not be demonstrated that pollution levels depended only on the influence of the ski area as they can also come from the natural chemical composition of the water. When comparing the results obtained with the current legislation, water quality was generally classified as "very good" according to the values presented.

**Keywords:** ski resort, wastewater, nitrate, river Aragon, analysis, nutrients.

# Índice

1- Introducción .....	Pág. 8
1.1 Usos del agua en las estaciones de esquí.....	Pág. 9
1.2 Contaminación de las aguas superficiales por nitrato, fosfato y coliformes.....	Pág. 10
1.3 Legislación en materia de aguas .....	Pág. 14
2- Objetivos.....	Pág. 16
3- Metodología .....	Pág. 17
3.1 Área de estudio .....	Pág. 17
3.1.1 Hidrografía .....	Pág. 18
3.1.2 Usos del suelo.....	Pág. 19
3.2 Métodos .....	Pág. 21
3.2.1 Recopilación bibliográfica.....	Pág. 21
3.2.2 Diseño de muestreo .....	Pág. 22
3.2.3 Análisis.....	Pág. 27
4- Resultados y discusión.....	Pág. 31
4.1 Revisión bibliográfica .....	Pág. 31
4.1.1 Contaminación de aguas superficiales en áreas de esquí.....	Pág.31
4.1.2 Influencia del cambio climático en el esquí y sus repercusiones medioambientales.....	Pág. 36
4.2 Determinación de la calidad del agua en Astún y Candanchú .....	Pág. 38
4.3 La calidad del agua en Astún y Candanchú .....	Pág. 49
5- Conclusiones .....	Pág. 53
6- Bibliografía.....	Pág. 54
Anexo I: Fotografías de los resultados de las tiras reactivas.....	Pág. 68
Anexo II: Fotografías de los resultados de los viales para determinar la presencia de <i>E. coli</i> .....	Pág. 74
Anexo III: Datos de parámetros fisicoquímicos en el Valle del Aragón.....	Pág. 79

## Índice de figuras

<i>Figura 1. Vertido al río Aragón directamente desde una comunidad. Foto de Ingrid Cercós. Fecha: 16/01/20. (Coordenadas: latitud 42.784917, longitud -0.524688). .....</i>	<i>Pág. 9</i>
<i>Figura 2. Vertido al río Aragón. Foto de Ingrid Cercós. Fecha:09/02/20. (Coordenadas: latitud 42.788294, longitud -0.526534) .....</i>	<i>Pág. 9</i>
<i>Figura 3. Detalle de los lodos en el vertido al río Aragón. Foto de Ingrid Cercós. Fecha: 09/02/20. (Coordenadas: latitud 42.784917, longitud -0.524688).....</i>	<i>Pág. 9</i>
<i>Figura 4: Esquema del proceso de eutrofización. Fuente: Nebel &amp; Wright, 2002. ....</i>	<i>Pág. 13</i>
<i>Figura 5. Mapa localización de la zona de estudio. Elaboración propia. ....</i>	<i>Pág. 17</i>
<i>Figura 6. Caudal del río Aragón año 2019. Fuente: elaboración propia a partir de los datos proporcionados por la CHE.....</i>	<i>Pág. 19</i>
<i>Figura 7. Imagen satélite con los puntos de vertido registrados por la CHE y observados durante este trabajo (verde Astún, negro Candanchú) y los con los puntos de muestreo (banderas rojas). Fuente: elaboración propia con el software ArcMap 10.3. ....</i>	<i>Pág.23</i>
<i>Figura 8. Vista del punto de muestreo 1, aguas arriba de Astún, en el barranco del Escalar.</i>	<i>Pág.24</i>
<i>Figura 9. Vista del punto de muestreo 2, aguas abajo de Astún, al final del parking de la estación de esquí de Astún. ....</i>	<i>Pág.25</i>
<i>Figura 10. Vista del punto de muestreo 3, aguas abajo de Candanchú. ....</i>	<i>Pág.25</i>
<i>Figura 11. a) Vista del punto de muestreo, aguas arriba de la estación de esquí de Candanchú. b) Vista del punto de muestreo 4. En detalle.....</i>	<i>Pág.26</i>
<i>Figura 12. Imagen de la tabla de colores para la interpretación de resultados, parámetros y límites de detección. ....</i>	<i>Pág.28</i>
<i>Figura 13. Viales de muestra para la determinación de la presencia de E. coli. ....</i>	<i>Pág.29</i>
<i>Figura 14. Diagrama de color para la interpretación de resultados de E. coli. ....</i>	<i>Pág.29</i>
<i>Figura 15. Representación gráfica de los valores de pH en Astún y Candanchú.....</i>	<i>Pág.42</i>
<i>Figura 16. Representación gráfica de los valores de la conductividad y el caudal en los puntos de muestreo de Astún y Candanchú.....</i>	<i>Pág.43</i>
<i>Figura 17. Representación gráfica de la concentración de nitrato y el caudal en los puntos de muestreo. ....</i>	<i>Pág.45</i>

*Figura 18. Localización del manantial de Rioseta. .... Pág.47*

*Figura 19. Representación gráfica de la concentración de fosfato y el caudal en los puntos de muestreo. .... Pág.48*

*Figura 20. Ubicación del Ibón de Truchas y el Puente Santa Cristina. .... Pág.51*

## Índice de tablas

<i>Tabla 1. Parámetros a medir con las tiras reactivas y rangos de medición .....</i>	<i>Pág.28</i>
<i>Tabla 2. Resultados de las tiras reactivas aguas abajo de Astún y en su punto de control. Pág.39</i>	
<i>Tabla 3. Resultados de las tiras reactivas en el punto aguas abajo Candanchú y en su punto de control. ....</i>	<i>Pág.40</i>
<i>Tabla 4. Presencia ausencia de E. coli en las muestras tomadas. En verde: ausencia y en rojo: presencia. ....</i>	<i>Pág.40</i>
<i>Tabla 5. Resultados pH y conductividad en los puntos aguas abajo de Astún y en su punto de control. ....</i>	<i>Pág.41</i>
<i>Tabla 6. Resultados pH y conductividad aguas abajo de Candanchú y en su punto de control. ....</i>	<i>Pág.42</i>
<i>Tabla 7. Concentración de nitratos aguas abajo de Astún y en su punto de control. ....</i>	<i>Pág.44</i>
<i>Tabla 8. Concentración de nitratos en el punto aguas abajo de Candanchú y su punto de control. ....</i>	<i>Pág.44</i>
<i>Tabla 9. Aporte de nitrato de la estación de Astún y la de Candanchú. ....</i>	<i>Pág.45</i>
<i>Tabla 10. Resultados de la concentración de fosfato en el punto aguas abajo de Astún y en su punto de control. ....</i>	<i>Pág.47</i>
<i>Tabla 11. Resultados de la concentración de fosfato en el punto aguas abajo de Candanchú y en su punto de control. ....</i>	<i>Pág.48</i>
<i>Tabla 12. Condiciones de referencia y límites de cambio de clase de estado (RD. 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental). ....</i>	<i>Pág.50</i>



## 1- Introducción

En las últimas décadas, el turismo de invierno y de nieve se ha convertido en una de las principales actividades económicas en muchas zonas de montaña y ha jugado un papel clave y fundamental como fuente de ingresos y desarrollo local (Pons, 2014). Cada año el turismo del esquí mueve aproximadamente a 400 millones de personas, cifra que se ha mantenido estable en los últimos 15 años (Vanat, 2019). La cifra de esquiadores se traduce en unos beneficios a nivel mundial, para la industria del esquí de aproximadamente 8.300 millones de euros (Scott & McBoyle, 2006) y en el caso de España más de 122 millones de euros (ATUDEM, 2019).

Las estaciones de esquí se sitúan en zonas de alta montaña que albergan medios frágiles y poseen un gran número de elementos naturales de gran valor (Goñi & Guzmán, 2001); son hábitats de gran diversidad biológica por tanto poseen un gran valor y es de suma importancia preservarlos (Díaz, et. al, 2019). En los ecosistemas de alta montaña se encuentran los principales nacimientos de los recursos hídricos. Estas fuentes de agua superficial son las encargadas de abastecer en gran medida a los complejos turísticos dedicados al esquí (Díaz, et. al, 2019).

A pesar de la importancia de los recursos hídricos desde hace tiempo se anticipa una importante contaminación de las aguas superficiales cercanas a las estaciones de esquí (Drovandi, et. al, 2017). Las aguas residuales constituyen el principal vertido en época de actividad (Folia Consultores & Smartpoint, 2009), cuestión que, en el caso de la zona de estudio del trabajo que se presenta no está adecuadamente resuelta. La actividad fundamental del Valle del Aragón es el turismo, su predominio es claro. Como ninguno de los municipios ni estaciones de esquí depuran sus aguas, es de esperar que la mayor parte de la contaminación que pueda haber en el río proceda del vertido de aguas residuales urbanas, y que aumente los fines de semana y épocas festivas sobre todo durante la temporada de esquí. En el caso de Candanchú las aguas residuales son vertidas directamente al cauce del río (Figura 1, Figura 2 y Figura 3) y en el caso de Astún se cuenta con una balsa de decantación, esta medida por si sola en principio no parece adecuada para el tratamiento efectivo de este tipo de vertidos ya que de este modo solo se decantan los sólidos por gravedad, mientras que el resto de la contaminación sigue su curso a través del río.



*Figura 1. Vertido al río Aragón directamente desde una comunidad. Foto de Ingrid Cercós. Fecha: 16/01/20. (Coordenadas: latitud 42.784917, longitud -0.524688).*



*Figura 2. Vertido al río Aragón. Foto de Ingrid Cercós. Fecha: 09/02/20. (Coordenadas: latitud 42.788294, longitud -0.526534).*



*Figura 3. Detalle de los lodos en el vertido al río Aragón. Foto de Ingrid Cercós. Fecha: 09/02/20. (Coordenadas: latitud 42.784917, longitud -0.524688).*

## **1.1-Usos del agua en las estaciones de esquí**

En la zona de estudio el uso del agua está administrado por los municipios. La mayoría de usos están relacionados con el agua potable, para uso doméstico, ocio y municipal (Calianno, 2020). Los principales recursos hídricos se toman de vertientes y cursos superficiales pertenecientes a las cuencas de los ríos circundantes (Drovandi, et. al, 2017). Los usos fuera de la red de agua

potable incluyen el agua para el ganado en los pastos de montaña (tomados en verano de los torrentes) y la producción de nieve artificial a través de embalses en las laderas (Calianno, 2020).

En las cabeceras fluviales de los ecosistemas de montaña sometidos a la acción antrópica derivada de las estaciones de esquí y las urbanizaciones adyacentes, los caudales utilizados vuelven a sus cauces con modificaciones espacio-temporales. Su calidad también se deteriora con los focos de contaminación y vertido, deteriorando así los ecosistemas de lagos, arroyos y torrentes en alta montaña (Arruñada, 2013).

Cuando se construyeron las primeras estaciones de esquí la población establecida era escasa, como lo eran también el consumo de agua, desechos producidos y el impacto generado sobre el medio ambiente. En el caso de Candanchú se comenzó a esquiar en 1928 y en ese momento solo había un refugio y ninguna carretera mientras que Astún se inauguró en el año 1976 con tan solo dos remontes. Actualmente la situación es bien distinta, los complejos turísticos dedicados al esquí tienen una marcada estacionalidad con una alta proporción de segundas residencias y alojamiento turístico, lo que conduce a fuertes variaciones estacionales en la demanda de agua. Además, la demanda depende de los tipos de usuarios y sus prácticas (Calianno, 2020). El turista medio en España consume 440 litros diarios de agua, que llegan a 880 litros en los hoteles de lujo (Santamarta, 2000). El lapso de tiempo entre el suministro y la demanda de agua en los centros turísticos puede causar escasez de agua, que podría ser más frecuente con los niveles esperados de crecimiento y el impacto del cambio climático en la disponibilidad de recursos hídricos (Calianno, 2020).

## **1.2-Contaminación de las aguas superficiales por nitrato, fosfato y coliformes.**

Las aguas residuales domésticas contienen nitrógeno y fósforo procedente, principalmente, de las deyecciones humanas y de los productos de limpieza, mientras que algunas industrias también producen vertidos más o menos ricos en estas sustancias (Romero, 2010). En la zona de estudio se estima que la principal fuente de contaminación por estos nutrientes son debidas a las aguas residuales domésticas y al funcionamiento y mantenimiento de las estaciones de esquí, que también vierten directamente al río.

El **nitrato** es fundamental en el crecimiento de las plantas ya que es un componente esencial de proteínas, material genético, clorofila y otras moléculas esenciales. En la mayoría de ecosistemas, tanto terrestres como acuáticos, la aportación de nitrógeno es un factor clave que controla la productividad y diversidad vegetales (Marco, 2002).

Las principales rutas de ingreso de nitrógeno a las masas de agua son a través de aguas residuales, tanques sépticos, residuos animales y también por las descargas de la emisión de gases de vehículos (Polo & Vargas, 2019).

Estas perturbaciones ambientales acarrear declives poblacionales tanto de plantas como animales y consecuentes pérdidas de biodiversidad (Vitousek et. al, 1997). Los hábitats acuáticos son especialmente sensibles a la contaminación por nitrógeno. Pequeños aumentos pueden provocar la eutrofización y el consiguiente descenso en la cantidad de oxígeno disponible. También pueden ser responsables del desarrollo masivo de algas tóxicas y microorganismos patógenos. Estos problemas generados por el exceso de nitrógeno provocan mortalidades masivas de peces, anfibios y otras especies que forman la fauna acuática (Rouse et. al, 1999) ya que estos hábitats acuáticos son cruciales para su reproducción y supervivencia. Cuando los anfibios y otras especies acuáticas son expuestos a contaminantes pueden morir o sufrir diferentes efectos tales como alteraciones conductuales o de desarrollo, alteraciones de la pigmentación e incluso deformidades (Bantle et. al, 1991; Devillers & Exbrayat, 1992; Ouellet, 2001). En muchos casos, se produce la acumulación de sustancias químicas en diversos órganos o tejidos y se producen alteraciones funcionales o fisiológicas que pueden provocar daños en los individuos (Canton & Slooff, 1982; Hall, 1990; Hall & Kolbe, 1980; Nebeker et al., 1995). Muchos anfibios son componentes cuantitativamente importantes en ecosistemas de agua dulce, y por tanto, la presencia de sustancias tóxicas en anfibios puede provocar a medio plazo la acumulación y bioconcentración de los contaminantes en sus depredadores (Fleming et. al, 1982 & Marco, 2002).

El **fósforo** al igual que el nitrógeno es un elemento esencial e insustituible en los seres vivos. En los últimos años, la presencia de fosfatos como contaminantes de agua ha adquirido mucha importancia debido a la escasez del recurso hídrico y a su deterioro creciente (Lavie et. al, 2010).

El fósforo del suelo es llevado a las aguas superficiales y freáticas por lixiviación, erosión y vertidos directos (Mateu, 2017) procedentes de: aguas residuales domésticas, la escorrentía de terrenos de cultivo que utilizan fosfatos como fertilizantes aplicados al suelo y (Sande,

2005) los detergentes, que se utilizan en grandes cantidades para la limpieza doméstica e industrial están formados por un agente tensioactivo y fosfatos (Mateu, 2017).

El fosfato suele operar como nutriente limitante del crecimiento de algas: a mayor entrada de fosfato ocurre una hiperfertilización. Provocando posteriormente la descomposición de una gran masa de algas agota que el oxígeno disuelto en el agua, quedando afectada negativamente la vida acuática (Meza, 2011).

Como se ha comentado anteriormente el contenido de nutrientes entre los que se encuentran el nitrógeno y el fósforo, determinan el estado trófico del sistema. Concentraciones excesivas de los principales nutrientes, pueden dar lugar a florecimientos algales descontrolados conocidos como **eutrofización** (Menéndez y Tarela, 2010).

De manera general, la eutrofización produce un aumento de la biomasa y un empobrecimiento de la diversidad. En los ecosistemas acuáticos eutrofizados, se comienza a dar una alteración de la biota y de la diversidad biológica, provocando una proliferación de algas macrófitas en exceso. El desarrollo de algas provoca un enturbiamiento, que impide que la luz penetre hasta las profundidades del ecosistema (Figura 4). Las consecuencias directas son la imposibilidad de llevar a cabo la fotosíntesis en el fondo de dicho cuerpo de agua y por lo tanto la no producción de oxígeno libre; al mismo tiempo aumenta la actividad metabólica consumidora de oxígeno de los organismos descomponedores, que empiezan a recibir excedentes de materia orgánica generados en la superficie. El fondo del ecosistema acuático se va convirtiendo de forma gradual en un ambiente anaerobio, debido al aumento en la concentración de gases como anhídrido sulfuroso ( $H_2S$ ), metano ( $CH_4$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ), haciendo inviable la forma de vida de la mayoría de las especies que forman dicho ecosistema. Se da por tanto mortandad masiva de peces y de biota en general, bioacumulación de sustancias tóxicas, aumentando la sedimentación en los cuerpos de agua, reduciendo la vida útil y proliferando la aparición de organismos patógenos y vectores de enfermedad. (RAP-AL Uruguay, 2010).

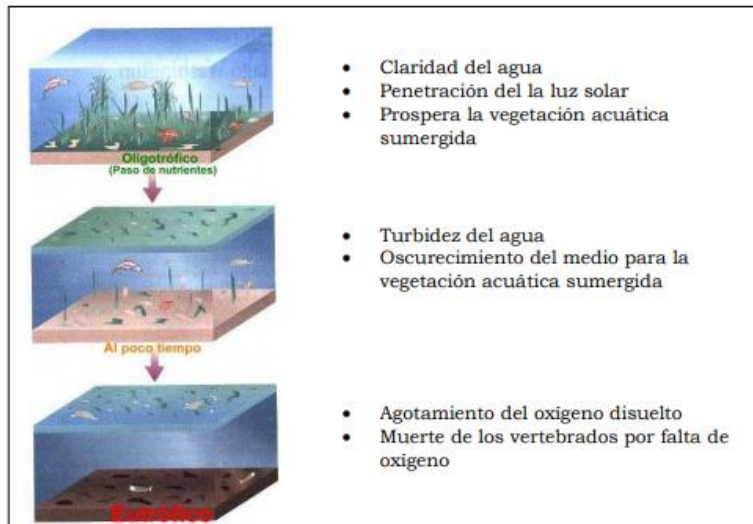


Figura 4: Esquema del proceso de eutrofización. Fuente: Nebel & Wright, 2002.

Además de los nutrientes que son causa de eutrofización, las aguas residuales sin tratar pueden tener contenidos importantes de **coliformes** fecales. La contaminación de las aguas naturales por microorganismos afecta directamente la salud pública debido al uso de estos recursos para el suministro de agua potable y la recreación (Francy et. al, 2000). La contaminación fecal del agua puede originarse a partir de diversas fuentes, incluida la vida silvestre y los efluentes de aguas residuales (Lenart-Boroń et. al, 2016).

Para determinar la calidad microbiológica de los ecosistemas acuáticos, se utilizan las bacterias indicadoras de contaminación fecal. Entre las más utilizadas se encuentran los coliformes totales y termotolerantes (Larrea-Murrell, 2017), que son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo los humanos. (Ramos-Ortega et. al, 2008). Aunque dentro de la familia de los coliformes la abundancia de *Escherichia coli* se ha asociado más al riesgo sanitario en comparación con el resto de los coliformes (Larrea-Murrell, 2017) ya que muchas cepas de *E. coli* son causantes de enfermedad en humanos y animales (Vázquez et. al, 2013).

*Escherichia coli* es una bacteria Gram negativa que pertenece a la familia Enterobacteriaceae, que forma parte del ecosistema normal del intestino del ser humano y los animales homeotermos (Benvenuto, 2017). *Escherichia coli* reúne las condiciones de indicador ideal de contaminación fecal ya que está presente universalmente en las heces y en las aguas residuales, no puede crecer en las aguas naturales y es fácilmente detectable por métodos rápidos (Vázquez et. al, 2013).

### 1.3-Legislación en materia de aguas

En materia de aguas la legislación es muy extensa y se ha recogido la relativa a la temática de estudio. Desde el ámbito europeo al regional.

#### Ámbito europeo

- **Directiva 2008/105/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, relativa a las **normas de calidad ambiental** en el ámbito de la política de aguas, por la que se modifican y derogan ulteriormente las Directivas 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE y 86/280/CEE del Consejo, y por la que se modifica la Directiva 2000/60/CE DOCE L 348, 24-12-2008.
- **Directiva Marco del Agua. Directiva 2000/60/CE** del Parlamento europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- **Directiva 2006/118/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo de 12 de diciembre de 2006 relativa a la **protección de las aguas subterráneas** contra la contaminación y el deterioro.
- **Directiva 2006/11**, de la Comisión y el Parlamento Europeo, de 15 de febrero de 2006, sobre la **polución** causada por ciertas sustancias peligrosas en el medio acuático de la Comunidad.
- **Directiva 2006/7/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de febrero de 2006, relativa a la gestión de la **calidad de las aguas de baño** y por la que se deroga la Directiva 76/160/CEE.
- **Directiva 98/83/CE**, del Consejo, de 3 de noviembre de 1998, relativa a la **calidad de las aguas** destinadas al consumo humano. DOCE nºL.330, 05-12-1998.
- **Directiva 91/271/CEE** del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el **tratamiento de las aguas residuales urbanas**.

#### Ámbito territorial general

- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la **Ley de Aguas**.

- Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de **seguimiento y evaluación** del estado de las aguas superficiales y las **normas de calidad** ambiental.
- Real Decreto Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- España. Real Decreto 1341/2007, de 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas.
- Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

#### Ámbito aragonés

- Ley 10/2014, de 27 de noviembre, de Aguas y Ríos de Aragón.
- Decreto 107/2009, de 9 de junio, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba la revisión del Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración.
- Reglamento regulador de los vertidos de aguas residuales a las redes municipales de alcantarillado.

Vistas las problemáticas asociadas a los ecosistemas acuáticos en zonas de esquí y la actual normativa, se ha considerado necesario evaluar el estado de las aguas en el Valle del Aragón debido a la cercanía de las estaciones de esquí de Astún y Candanchú a la cabecera del río Aragón identificando los valores en los que están presentes los parámetros seleccionados.



## 2- Objetivo general y específicos

El objetivo principal del trabajo es:

- Realización de un estudio de calidad química del agua tomando muestras en los alrededores de las estaciones de esquí del Valle del Aragón (Candanchú y Astún) durante la campaña 2019- 2020; incluyendo una revisión bibliográfica sobre la influencia que las estaciones de esquí ejercen sobre la calidad del agua de las masas circundantes.

Objetivos específicos:

- Búsqueda bibliográfica de artículos a través de diferentes bases de datos a nivel internacional de las principales zonas de esquí del mundo.
- Selección y revisión de los artículos o estudios más relevantes siguiendo una metodología adecuada.
- Diseñar un plan de muestreo de agua a lo largo de la temporada 2019-2020 adecuado para el seguimiento de la influencia de las estaciones de esquí seleccionadas para este trabajo fin de grado.
- Determinar el valor de pH, conductividad y la concentración de nitrato y fosfato en las muestras de agua tras seleccionar la metodología analítica adecuada para su análisis.
- Determinación de la presencia de *Escherichia coli* en los puntos de muestreo seleccionados.
- Discusión de los resultados obtenidos y comparación con la bibliografía y datos existentes.

## 3.-Metodología

### 3.1- Área de estudio

El Valle del Aragón, es un valle del Pirineo aragonés, dentro de la comarca de La Jacetania, ubicada en la provincia de Huesca, Comunidad Autónoma de Aragón (Figura 5). Limita con la región francesa de los Hautes Pyrénées por el norte, el Valle de Aisa por el oeste, el valle de Tena al este y por el sur con Jaca (Morros e Infante, 2013). Toma su nombre del río Aragón que lo recorre de norte a sur y nace casi en la frontera con Francia en el ibón de Escalar, en Astún (Broto, 1979).

La zona de estudio abarca las dos estaciones de esquí del valle del Aragón, Astún y Candanchú. Estas estaciones pertenecen a los municipios de Jaca y Aisa respectivamente.

El Valle del Aragón tiene una capacidad de alojamiento de 4.160 plazas hoteleras y 8.026 viviendas secundarias en su zona de influencia, es decir, Aisa, Canfranc, Villanúa, Castiello de Jaca y Jaca (Folia Consultores & Smartpoint. 2009).

#### LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

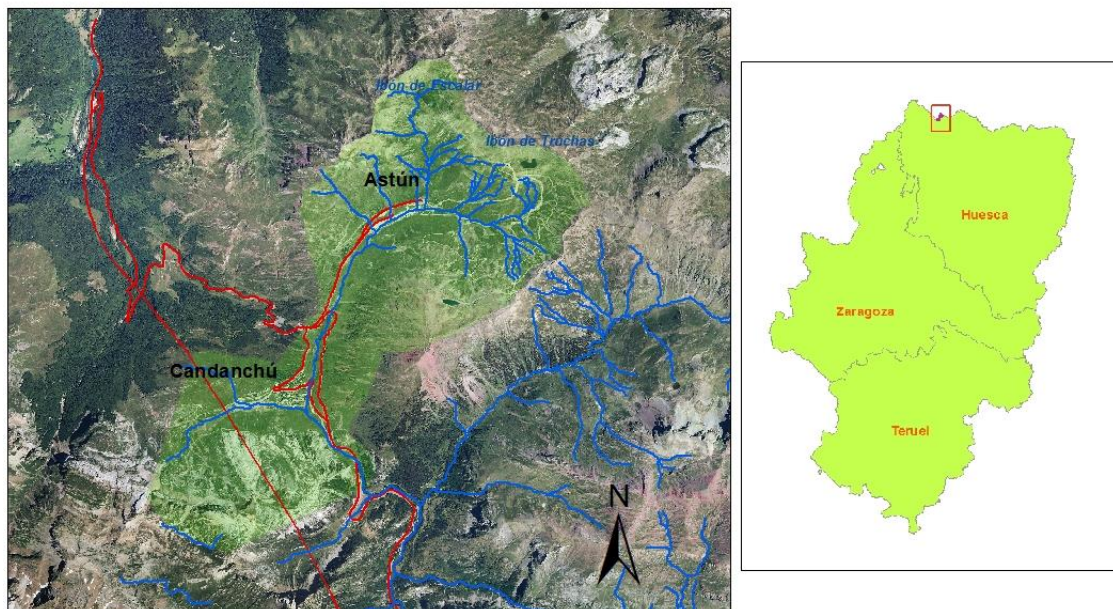


Figura 5. Mapa localización de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia con el software ArcMap

10.3.

### 3.1.1- Hidrografía

El río Aragón nace en pleno Pirineo oscense, en el circo glaciar del valle de Astún, en el ibón de Escalar a 2.092 metros y recibe muy pronto las aguas del barranco de Astún y de las vertientes de Candanchú, adquiriendo dirección sur con la que recorre el valle de Canfranc (Broto, 1979). El río Aragón supone la principal aportación al Ebro. Recoge aguas de una cuenca vertiente de unos 8.600 km<sup>2</sup> (CHE, 2008). Tras 192 km de recorrido, pasando a su vez, gran parte del recorrido por la Comunidad Autónoma de Navarra vierte sus aguas en el Ebro (Morros e Infante, 2013).

La cuenca del río Aragón puede dividirse en 4 zonas principales en función de la topografía y otras características de la cuenca:

- a) La parte de la cuenca desde el nacimiento hasta Jaca en donde el río discurre de Norte a Sur, recorriendo relieves escarpados y fuertes pendientes. Es en esta zona donde se encuentra el área de estudio.
- b) Desde Jaca hasta Yesa, al alcanzar las margas el río cambia su dirección a Este- Oeste, a la vez que el perfil transversal se abre y suaviza, dejando una serie de terrazas de escasa pendiente
- c) De Yesa a Carcastillo el río discurre por un valle en forma de "V".
- d) De Carcastillo hasta la confluencia con el Ebro los yesos ocupan grandes extensiones. En el paisaje dominan las llanuras aluviales cada vez más extensas, ocupadas por el regadío (CHE, 2008).

El caudal medio mensual del río Aragón está regulado por la presencia de nieve en los relieves de este sector de la cuenca. Su régimen de agua es mixto, empieza siendo nival, por tratarse de un río de montaña con abundantes nieves en su cabecera, de esta forma parte de las precipitaciones invernales quedan retenidas en la montaña disminuyendo el coeficiente de escorrentía esos meses, por el contrario la fusión nival acentúa el caudal en los meses de primavera aumentando los volúmenes de agua que circulan por el río; pero según nos acercamos a su desembocadura, acaba con un régimen pluvial (Morros e Infante, 2013 & Val, 2002).

Observando los datos que se exponen a continuación en la Figura 6 de la estación de aforo que la Confederación Hidrográfica del Ebro tiene en el tramo de estudio se puede decir que en el año 2019, diciembre fue el mes de máximos caudales con una media de 5'45 m<sup>3</sup>/seg y enero el mes de menos disponibilidad de agua con una media de 0'78 m<sup>3</sup>/seg.

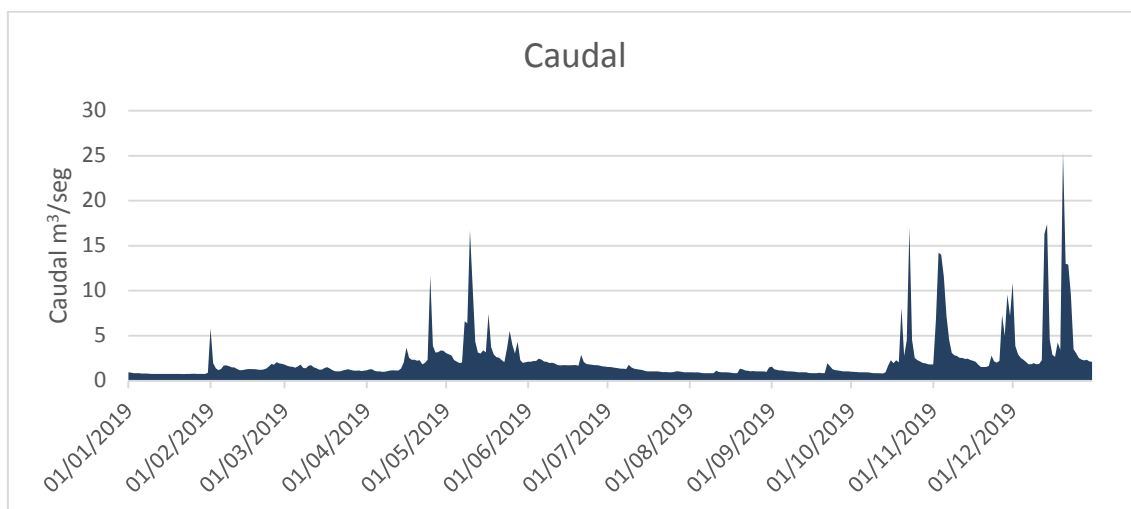


Figura 6. Caudal del río Aragón año 2019. Fuente: elaboración propia a partir de los datos proporcionados por la CHE.

### 3.1.2- Usos del suelo

En la zona de estudio los usos del suelo están destinados a las estaciones de esquí, las urbanizaciones adyacentes y pastos. Además también se incluyen zonas protegidas.

#### Pistas de esquí

##### *Astún*

Se sitúa en la parte alta del valle, cerca de los ibones de Truchas y Escalar lugar de nacimiento del río Aragón. Se accede desde Jaca a través de la N-330, de la cual dista 33 kms.

Actualmente dispone de 51 pistas que suman 42 kms esquiables. La capacidad de los remontes es de 26.000 esquiadores/hora. Con altitudes entre 1725 hasta los 2300 m. Astún recientemente incremento el número de cañones para la innivación de 5'5 km de pistas haciendo un total de 15'6 km y construyo una balsa de almacenamiento de agua de aproximadamente 50.000 m<sup>3</sup> (Deloitte et al, 2013).

### *Candanchú*

Se sitúa, muy cerca de la Estación de Astún, en el valle del alto Aragón, en las laderas orientadas al sur, a 1 km del Puerto de Somport, frontera con Francia, y a 27 kms de Jaca. La base de la estación se encuentra situada a una altitud de 1530 metros y el punto más elevado a 2400 metros. El área de esquí cuenta con un total de 26 remontes que dan servicio a 44 pistas con una longitud total esquiable de 50'5 kilómetros, de los que 10 están dotados de innivación artificial. La capacidad total de los remontes es de 20.350 esquiadores/hora (Estación de esquí de Candanchú, 2020). La estación de Candanchú también cuenta con tres circuitos de esquí de fondo de 2.5, 5 y 7.5 km. El acceso hasta la estación se realiza, a través de la urbanización de Candanchú, lugar donde se localizan las zonas de aparcamiento y las áreas de servicios de la estación (Deloitte et al, 2013).

### **Zonas protegidas:**

#### Red Natural de Aragón

- Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA): son zonas naturales de singular relevancia para la conservación de la avifauna amenazada de extinción. Dentro de la zona de estudio se encuentra la ZEPA: Los Valles (ZEPA ES000137). En el valle hay especies catalogadas por el "Libro rojo de las especies". Son el urogallo (*Tetrao urogallus*), lagópodo alpino (*Lagopus mutus*), perdiz pardilla (*Perdix perdix*) y quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*) (Folia Consultores & Smartpoint. 2009). Debido a la presencia del quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*), especie que se encuentra dentro del Catálogo Español de Especies Amenazadas y que posee un plan de recuperación, en la zona de estudio encontramos parte de las Áreas críticas de especies amenazadas (ACRIT) y Ámbitos de Planes de Protección de Especies Amenazadas (APPE).
- Humedales Singulares de Aragón: son aquellos lugares del territorio aragonés relativos a las aguas continentales que conciten interés por su flora, fauna, valores paisajísticos, naturales, geomorfología o por la conjunción de varios de estos valores. En la zona de estudio se localizan los Humedales Singulares de Ibón de Escalar e Ibón de Truchas (Decreto 204/2010).

## 3.2- Métodos:

### 3.2.1 Recopilación bibliográfica

Para el desarrollo del proyecto se realizó una revisión sistemática basándose en el artículo *“Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización”* (Gomez et. al, 2014). De esta manera se procedió a la evaluación y análisis de la información disponible sobre la influencia de las estaciones de esquí en la calidad de las aguas superficiales.

#### Búsqueda de información

Para iniciar el proceso de investigación fue necesario profundizar en definiciones y conceptos que abarcaban de forma general el tema. Posteriormente, se inició la búsqueda de documentos en las principales bases de datos electrónicos disponibles en Internet como: Dialnet, Scopus y Web of Science, sumado a estas, se utilizaron otras fuentes de información como Google Scholar. En la búsqueda se emplearon ciertas palabras clave como: estaciones de esquí, calidad del agua, alta montaña, contaminación y Valle del Aragón. Las palabras clave se combinaron y fueron buscadas en tres idiomas (español, inglés y francés) para que la búsqueda fuera más completa.

#### Filtrado de documento

Una vez terminado el proceso de búsqueda, se dio inicio a la selección de documentos que presentaban información sobre la influencia de las estaciones de esquí en su entorno, concentrándose principalmente en los impactos sobre aguas superficiales, teniendo en cuenta:

- Título del artículo  
El primer filtro implementado fue el título de los artículos los cuales debían estar relacionados con la temática del proyecto.
- Resumen  
En primer lugar, con el fin de conocer los artículos, se comenzó la lectura del resumen y se seleccionaron los relacionados con la temática a estudiar.

### Organización de la información

Para la clasificación de la información recolectada, se empleó el software “Mendeley” que permite gestionar los documentos por: título, fecha, autor, palabras clave,...

Posteriormente los documentos se agruparon por temáticas. A continuación, en función de las temáticas se elaboró un mapa de ideas, el cual permitió un enfoque global de los documentos recolectados.

### Análisis de la información

Se realizó un análisis sobre los principales artículos con las ideas más importantes y los aspectos más relevantes para el tema de estudio, mediante la lectura de los resúmenes y conclusiones de dichos artículos.

Los documentos filtrados debieron ser leídos con mayor detalle, para de esa manera finalmente seleccionar los de verdadera relevancia para la investigación. En este proceso de revisión se observaron y analizaron investigaciones que estudiaban la misma problemática ambiental (vertido de aguas residuales) pero en otras zonas como lagos y costas. Algunos de estos estudios se tuvieron en cuenta para el desarrollo del trabajo, por la relevancia de la información que presentaban.

En caso de encontrar un artículo repetido en varias publicaciones se incluyó aquel publicado en una revista con mayor factor de impacto o aquel publicado más recientemente.

### **3.2.2- Diseño de muestreo**

Para el diseño del plan de muestreo se han recopilado varios artículos con distintas metodologías y que se han modificado y adaptado para elaborar un plan de muestreo adecuado para el presente trabajo.

### Puntos de muestreo

Dado que el trabajo pretende cuantificar la influencia de los vertidos de las estaciones de esquí y las urbanizaciones adyacentes sobre el río Aragón, lo primero que se hizo fue definir el tramo de río a muestrear. El tramo que se eligió fue desde el nacimiento del río Aragón en el ibón de Escalar hasta el Puente del Ruso cuando ya se han pasado las estaciones de esquí. La longitud de este tramo río es de 5'4 km.

Dentro del tramo se fueron estudiando cuales podrían ser las posibles zonas de muestreo, teniendo en cuenta diversos factores como la representatividad, la accesibilidad a los puntos, la circulación de las aguas (homogeneidad) o su distancia a los puntos de vertido autorizados por la CHE (CHE, 2019). En este punto surgió una complicación debida a que la CHE tiene registrados los puntos de vertido autorizados de la estación invernal de Astún pero no se indican los de Candanchú por lo que fue preciso contactar con población de la zona que conocía esta información y posteriormente ir *in situ* a comprobar su veracidad. En la Figura 7 se muestran los puntos de vertido en la zona de estudio así como los puntos de muestreo seleccionados.

### **MAPA DE PUNTOS DE VERTIDO Y PUNTOS DE MUESTREO**

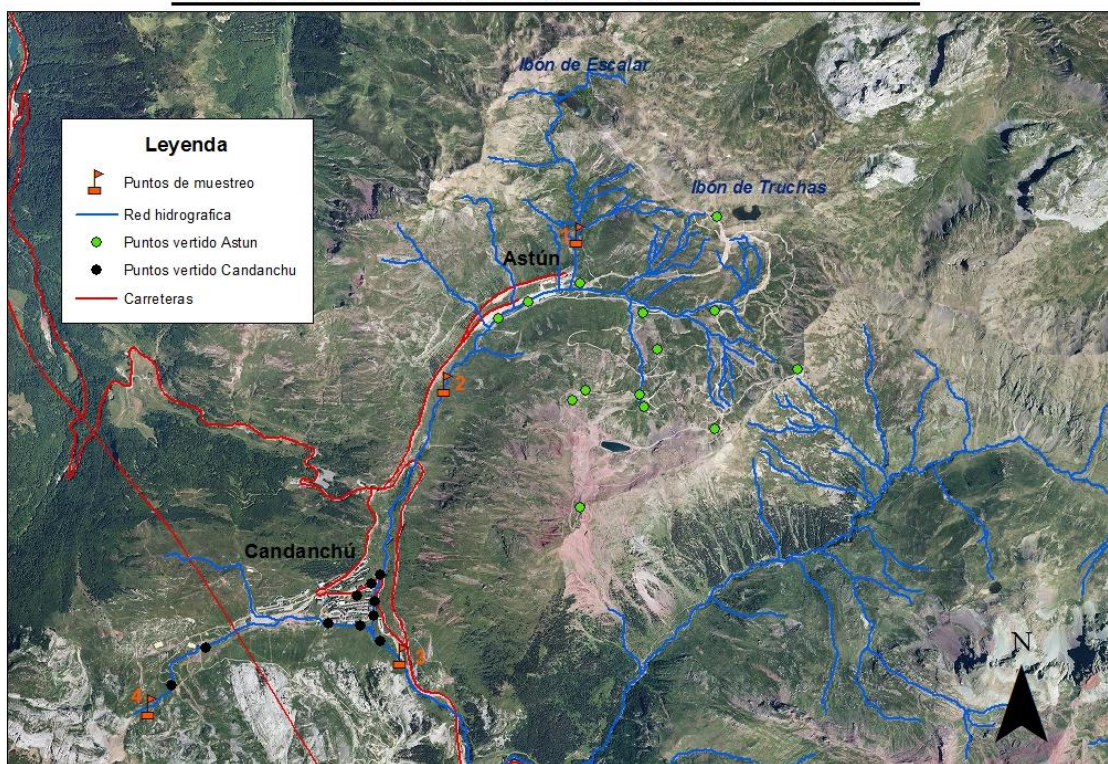


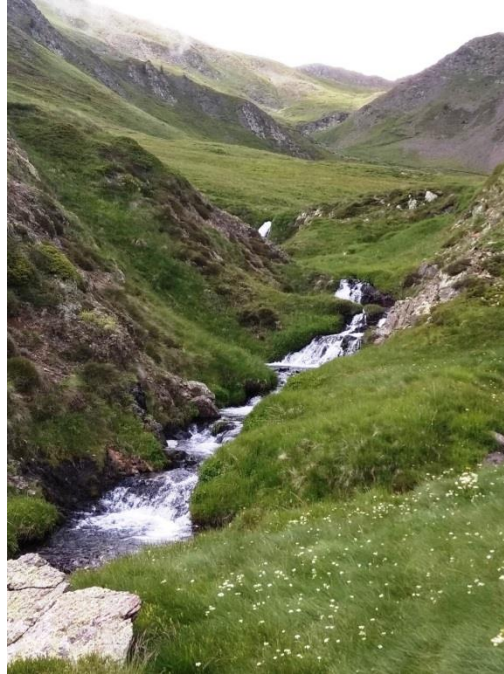
Figura 7. Imagen satélite con los puntos de vertido registrados por la CHE y observados durante este trabajo (verde Astún, negro Candanchú) y los con los puntos de muestreo (banderas rojas). Fuente: elaboración propia con el software ArcMap 10.3.

Teniendo en cuenta esos factores se barajaron distintas opciones, y dentro del tramo de río seleccionado se estudiaron *in situ* las posibles ubicaciones de los puntos de muestreo.

A lo largo del tramo de estudio se tomaron 4 puntos de muestreo cuya localización es la siguiente:



- Punto 1: aguas arriba de Astún, en el barranco del Escalar (Figura 8). Este punto se seleccionó por estar lejos de los puntos de vertido y cerca del nacimiento del río Aragón, por lo que con ello se determinará la calidad natural del agua sin influencia antrópica. *Coordenadas: latitud 42.814792, longitud -0.504516.*



*Figura 8. Vista del punto de muestreo 1, aguas arriba de Astún, en el barranco del Escalar.*

- Punto 2: aguas abajo de Astún, al final del parking de la estación de esquí de Astún (Figura 9). Este punto se sitúa por debajo de los puntos de vertido que tiene autorizados Astún por lo que aquí se conocerá la influencia de la estación de esquí de Astún y su urbanización. *Coordenadas: latitud 42.803350, longitud -0.517405.*



*Figura 9. Vista del punto de muestreo 2, aguas abajo de Astún, al final del parking de la estación de esquí de Astún.*

- Punto 3: aguas abajo de Candanchú (Figura 10). Este punto se eligió por estar aguas abajo de todos los puntos de vertido de las dos estaciones de esquí y sus urbanizaciones adyacentes por lo que aquí se observará la influencia de ambas en la calidad del río. *Coordenadas: latitud 42.783273, longitud -0.522736.*



*Figura 10. Vista del punto de muestreo 3, aguas abajo de Candanchú.*

- Punto 4: aguas arriba de la estación de esquí de Candanchú (Figura 11 a y b). Este punto se tomó fuera del tramo principal del río Aragón, en una de las vertientes de la cabecera del río que atraviesa de oeste a este la estación de Candanchú y su urbanización. *Coordenadas: latitud 42.780617, longitud -0.549253.*



*Figura 11. a) Vista del punto de muestreo, aguas arriba de la estación de esquí de Candanchú.*

*b) Vista del punto de muestreo 4. En detalle.*

### Fechas de muestreo

Una vez seleccionadas las zonas de muestreo, se decidió llevar a cabo la toma de muestras durante la campaña invernal cuando las estaciones de esquí estaban abiertas y había un mayor número de turistas y de alojamiento en segundas residencias, es decir, cuando había una mayor presión sobre los recursos hídricos, y al final de la temporada de esquí cuando se vuelve a la normalidad.

Durante la temporada invernal se comenzó tomando muestras semanalmente, los sábados por la tarde ya que era el día de la semana en el que había mayor actividad. Tras un primer análisis de laboratorio se determinó que los resultados no variaban mucho semanalmente, por lo que se procedió a tomar las muestras cada dos semanas. Por último al final de la temporada se realizó otro muestreo.

Debido a la pandemia de COVID-19 las estaciones de esquí del Valle del Aragón al igual que el

resto se cerraron precipitadamente el día 14 de marzo de 2020 para evitar la propagación del virus y ese mismo día el Gobierno de España decreto el estado de alarma lo que conlleva a una cuarentena nacional, por lo que, la toma de muestras se vio interrumpida.

A continuación, se especifican las fechas concretas en las que se tomaron muestras de los distintos puntos de muestreo:

- Durante la temporada de esquí (puntos 2 y 3): 28 de diciembre de 2019, 4, 11, 18, 25 de enero, 1, 15, 29 de febrero del 2020.
  
- Una vez finalizada la temporada de esquí:
  - Puntos 2 y 3, el 26 de mayo de 2020.
  - Puntos 1 y 4, el 27 de mayo de 2020.

#### Toma de muestras

Las muestras de agua fueron tomadas en botellas de plástico de 500ml de capacidad, previamente lavadas con una disolución al 5% de ácido clorhídrico y agua destilada. Una vez en el punto de muestreo se tomaba la botella y orientado la botella en dirección contraria a la corriente, lejos de la influencia de las manos y brazos para evitar la contaminación indirecta durante el llenado.

Cuando las botellas estuvieron completamente llenas se procedió a rotular el envase con el número del punto de muestreo, fecha y hora.

Una vez tomadas las muestras y realizados los análisis *in situ*, para evitar alteraciones en la concentración de los parámetros a medir las muestras fueron congeladas y posteriormente almacenadas en el laboratorio de la EPSH hasta su posterior análisis.

### **3.2.3- Análisis**

#### Análisis *in situ*

Dada la distancia de los puntos de muestreo a los laboratorios de la Escuela Politécnica Superior, se decidió aprovechar la existencia de kits rápidos comerciales para la realización de análisis preliminares *in situ*. Posteriormente, algunos de estos parámetros, se analizaron con mayor precisión en el laboratorio, con métodos estandarizados.

Se realizaron análisis *in situ*, mediante kits de campo para la detección de coliformes y *E. coli*

(Aquavial, Geminis Laboratories Inc., Canadá) y el uso de tiras reactivas de un solo uso (Water quality test strip, Smardy, Alemania) para medir diferentes parámetros (Tabla 1) entre ellos el nitrato y el pH, que posteriormente se midieron con una mayor precisión en el laboratorio.

Parámetro	Rango de medición
<b>Cloro libre</b>	0-20 ppm
<b>Hierro</b>	0-500 ppm
<b>Cobre</b>	0-10+ ppm
<b>Plomo</b>	0- 500 ppm
<b>Nitrato</b>	0-500 ppm
<b>Nitrito</b>	0-80 ppm
<b>Dureza total</b>	0-425 ppm
<b>Alcalinidad</b>	0-240 ppm
<b>pH</b>	6.0 – 9.0

Tabla 1. Parámetros que miden las tiras reactivas y rangos de medición.

Las **tiras reactivas** cambian de color para indicar la concentración de un parámetro. La tira se activaba al introducirse en la muestra de agua y después del tiempo de espera indicado se comparaba el color de la tira de prueba con una tabla de colores para saber el nivel de concentración del parámetro (Figura 12).

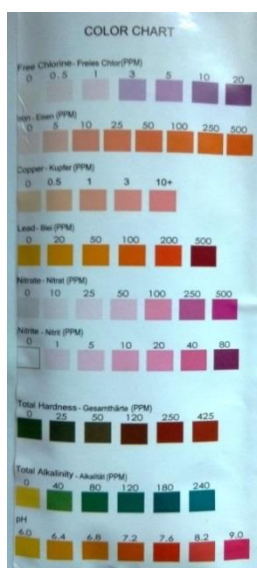


Figura 12. Imagen de la tabla de colores para la interpretación de resultados, parámetros y límites de detección.

Para determinar la presencia de ***E. coli*** y **coliformes** se usó un kit de campo que constaba de unos viales con un reactivo amarillo que cambia de color (Figura 13) en presencia de una enzima llamada Beta Galactosidasa producida por la mayoría de bacterias coliformes, tras un periodo de incubación de 48 horas a una temperatura de entre 20- 25° C, se comparaba el color del reactivo en el vial de prueba con el diagrama de color de la Figura 14.

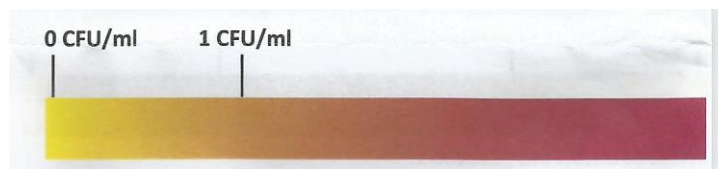


Figura 14. Diagrama de color para la interpretación de resultados de *E. coli*.

Figura 13. Viales de muestra para la determinación de la presencia de *E. coli*.

#### Análisis en el laboratorio

El **pH** es la medida de la concentración de iones de hidrogeno y representa la acidez o basicidad. Afecta a las reacciones químicas que tienen lugar en el agua así como a la presencia de vida acuática, ya que esta es muy sensible a las variaciones de pH fuera de un pequeño rango (6 a 9). Y la **conductividad** expresa la capacidad de la solución para conducir electricidad, Esta capacidad depende de la presencia de iones, su concentración y la temperatura, por lo que influirá el tipo de terreno que atraviese el río. Para la medida del pH y la conductividad, se tomó agua de la muestra en un vaso de precipitados y tras dejar que tomaran la temperatura ambiente, se realizaron las medidas directamente con una sonda multiparamétrica HACH HQ30 (Hach Lange Spain, S.L.U) previamente lavada y calibrada.

Para el análisis de **nitrato y fosfato** en laboratorio se siguieron las metodologías incluidas en *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* publicado por la Asociación Americana de Aguas (APHA-AWWA-WEF, 1992). En dicho manual se describe, para cada uno de los parámetros físico-químicos a analizar, el objetivo que se pretende conseguir mediante el análisis, los materiales necesarios a emplear y la metodología o pasos a seguir para la obtención de resultados fiables.

El método que se utilizó para el análisis de **fósforo** fue el método del ácido ascórbico (4500 P). Es un método espectrofotométrico que se basa en la determinación de fósforo en forma de ortofosfatos (fósforo soluble) en muestras de agua. El molibdato amónico y el

tartratoantimonilico potásico reaccionan en medio ácido con ortofosfato para formar un ácido heteropoliácido fosfomolibdibico que es reducido por ácido ascórbico a un complejo azul de molibdeno intensamente coloreado, se puede medir colorimétricamente a 880nm, comparando los resultados con patrones de fósforo como ion fosfato preparados en las mismas condiciones que las muestras, se obtiene la concentración de fosfato presente en las muestras de agua (Gómez, 2019 & APHA-AWWA-WEF, 1992).

En el caso del **nitrato** para su medición se utilizó el método de reducción del cadmio (4500-NO<sub>3</sub>). El nitrato se reduce casi cuantitativamente a nitrito en presencia de cadmio. Este método utiliza cadmio comercial en gránulos tratado con sulfato de cobre como relleno de una columna de vidrio. El nitrito así producido se determina por diazotado con sulfanilamida y acoplamiento con dihidroclorhidrato de N- (1-naftil)- etilendiamina para formar un colorante azo de color muy intenso, que se mide mediante espectroscopia a 880 nm (Cabrera, 2003 & APHA-AWWA-WEF, 1992). Así los resultados de este análisis correspondieron a la suma de las concentraciones de nitrito y nitrato.

## **4.-Resultados y discusión**

### **4.1- Revisión bibliográfica**

Tras seguir la metodología explicada en el apartado de “métodos” tras el análisis de los artículos encontrados se han seleccionado los siguientes artículos por su relevancia. 22 Estudios sobre vertidos de aguas residuales y otros contaminantes en aguas superficiales, 6 sobre la influencia del vertido de aguas residuales en la salud debido a las enfermedades transmitidas por el consumo de agua contaminada y 14 sobre la influencia del cambio climático en el esquí y sus repercusiones medioambientales, es decir, 42 estudios en total vinculados con la temática principal del presente trabajo, el estudio de la calidad de las aguas superficiales en las áreas de esquí.

El análisis de los artículos seleccionados permitió evidenciar que la problemática de la contaminación de agua cerca de las estaciones de esquí en España es un tema poco estudiado. En cambio en otros lugares del mundo esta problemática se ha estudiado más a fondo, algunos de esos artículos datan de los años 70, lo que indica que es un problema desde hace años. En el Valle del Aragón como ya se ha mencionado, Astún dispone de una decantadora mientras que Candanchú vierte directamente sus aguas residuales al río Aragón. No hay que olvidar que por normativa europea (Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas) las aguas residuales deben recibir un tratamiento adecuado y no está permitido su vertido sin control. Por ello España ha sido sancionada en varias ocasiones (Cáceres, 2020) tal y como queda reflejado en el BOE núm. 76, de 20 de marzo de 2020 (BOE, 2020). También se ha denunciado y sentenciado a pequeños municipios del Pirineo por verter las aguas residuales directamente a los ríos (Darío, 2019). Las obras de construcción de las depuradoras en la cabecera de los valles pirenaicos fueron declaradas de interés general del Estado y encomendadas al Gobierno de Aragón mediante un convenio en 2008. Actualmente está previsto poner en marcha entre este año y 2026 las plantas de saneamiento de Astún y Candanchú entre otras (Orden AGM/1724/2019).

#### **4.1.1- Contaminación de aguas superficiales en áreas de esquí**

Se ha constatado que las estaciones de esquí son importantes atracciones turísticas en muchas regiones de montaña del mundo y como en el caso que se estudia en este trabajo, el Valle del Aragón. El continuo desarrollo del turismo en estas zonas de montaña, afecta al medio



ambiente (Tsuyuzaki 1994 & Kangas et al. 2009) y uno de los impactos más preocupantes es el deterioro de la calidad del agua, especialmente en las zonas de cabecera de los ríos donde se produce contaminación por el vertido de aguas residuales, escorrentía de las pistas y de las carreteras (Pickering et al. 2003; Kangas et al. 2009 & Wemple et al. 2007). Esta preocupación por la calidad de las aguas en las áreas de esquí se refleja en la opinión de los responsables y trabajadores de áreas protegidas cercanas a estaciones de esquí en los Alpes Australianos. Ellos consideraron como factor más importante el impacto generado por los desechos humanos no tratados aguas abajo de las estaciones de esquí que contribuía a una reducción de la calidad del agua (Pickering et. al, 2003).

Las zonas de estudio de los artículos seleccionados son zonas cercanas a estaciones de esquí o las infraestructuras con ellas relacionadas (urbanizaciones, complejos hoteleros, parking,...). Las muestras de agua se tomaron en zonas en las que no había vertidos para tomar los valores de referencia así como en zonas donde se producían los vertidos y tras esos puntos de vertido conocidos, aguas abajo siguiendo el curso del río para saber si había un efecto acumulativo en la contaminación del agua o para conocer cómo los contaminantes examinados evolucionaban según se alejaban de los puntos de contaminación. La mayoría de los estudios realizaron sus muestreos a lo largo de todo el año para conocer la variación estacional de los contaminantes y saber qué factores eran los que más afectaban a la calidad del agua, como evolucionaban y cómo se influían o relacionaban entre ellos.

En general los parámetros analizados en los distintos estudios presentaron una clara variación estacional, tanto en los nutrientes como en los indicadores bacterianos de calidad del agua, mostrando el predominio de factores antropogénicos o del medio natural como se puede ver en los estudios de Lenart-Boroń, et. al, 2016; Bojarczuk, et. al, 2018; Molles & Gosz, 1980; Lenart-Boroń, 2019; Kikkert, 1975 y White et. al, 1978.

Durante la temporada de esquí (que en el hemisferio norte dura desde diciembre hasta mediados de abril, en función de la cantidad de nieve) se muestran valores más elevados tanto de microorganismos fecales como de la mayoría de los nutrientes. Esta es la época de mayor apogeo de turistas y por tanto cuando se generan más aguas residuales además de ser el momento en el que se extrae más agua de la cuenca tanto para uso humano como para la producción de nieve artificial (Rodríguez, 1987). A esto se suma que en las EDAR el tratamiento biológico no es muy efectivo durante el invierno por las bajas temperaturas (Winkler, et. al, 2004) y esto puede ocasionar que las EDAR se vean superadas, por un mal dimensionamiento, al no tener en cuenta la cantidad de efluentes que pueden llegar de forma puntual durante la

temporada (Lenart-Boroń, 2019). Esa agua residual puede entonces seguir dos caminos, ser almacenada en espera de tratamiento en los meses más cálidos o ser vertida directamente al río. Para aliviar parte de este problema en algunas estaciones de esquí, entre las que se encuentra la estación de esquí de Sierra Nevada (R. G, 2020), lo que proponen es el uso del agua residual para la producción de nieve artificial. Para ello sería necesario a parte del tratamiento que lleva normalmente y que se le aplica según la carga contaminante, un tratamiento terciario de ultrafiltración de membrana y/u ozonización para la eliminación de patógenos. (Tonkovic & Jeffcoat, 2002 & Bark et. al, 2010).

Una vez finalizada la temporada los valores de nutrientes, iones y bacterias fecales son inferiores a los que se dan durante la temporada. Esto es debido a que disminuye drásticamente la presión turística y por tanto la presión sobre los recursos hídricos. A esto se suma el efecto de dilución que se produce debido al aumento de los caudales provocados por las lluvias y el deshielo propios de este periodo del año (Lenart-Boroń, et. al, 2016 & Bojarczuk, et. al, 2018).

Con el aumento de la temperatura se incrementa el número de indicadores microbianos como el *E. coli* ya que es un momento en el que aumenta el número de turistas aunque no llega a ser tan elevado como en invierno. Los niveles de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo siguen manteniéndose bajos en el agua, esto se explica porque pese al aumento de vertidos de aguas residuales, su presencia queda mitigada por la asimilación de estos por la vegetación.

Según avanza el año y bajan las temperaturas la capacidad de asimilación de nutrientes por parte de la vegetación queda limitada, ya que el crecimiento vegetal no es tan elevado por tanto los niveles de compuestos de nitrógeno y fósforo aumentan. La presencia de bacterias fecales desciende al igual que número de turistas.

No todos los estudios seleccionados fueron capaces de encontrar un patrón en la evolución de los contaminantes en el agua a lo largo del año (Bojarczuk, et. al, 2018), esto puede deberse a las bajas concentraciones en el suelo, la actividad biológica o el caudal (Molles & Gosz, 1980). Pero al igual que en los estudios anteriores los valores de las características fisicoquímicas eran significativamente más altas en invierno.

La mayoría de artículos analizados, demostró que las estaciones de esquí afectan a la calidad de las aguas superficiales cercanas como es el caso de Val, 2002 que analizó la calidad ecológica del río Aragón desde su nacimiento hasta Jaca. En su caso la calidad del agua según los indicadores fisicoquímicos presentaba una calidad deficiente en un 71,5% de su longitud.

Estos resultados se achacaron al efecto que los vertidos sin depurar de las poblaciones y estaciones de esquí ejercían sobre la zona. Otro ejemplo de afección ocurre en el río Monachil (Granada) afectado por el vertido de aguas residuales procedentes de la estación de esquí de Sierra Nevada y las poblaciones cercanas (Casas, 1996).

A parte de los vertidos directos que se producen en las aguas superficiales existen artículos que hablan de otras fuentes de contaminación al medio acuático, relacionadas con las áreas de esquí. Como ejemplo de contaminación directa de las estaciones de esquí encontramos los artículos de Ristić et. al, 2009 y Kikkert, 1975, que concluyeron que las acciones de mantenimiento y funcionamiento de las pistas de esquí pueden provocar contaminación como: la erosión por la construcción y la escorrentía, acabando en el medio acuático y generando problemas por el aumento de turbidez. Y como problemas indirectos que generan las estaciones de esquí están los debidos a la gran afluencia de tráfico rodado que las áreas de esquí mueven y a los gases que estos emiten. Cappa, et.al, 2014 encontraron partículas de HAP y PCB en las muestras de glaciares cercanos y en los artículos de McKinzie, 1993; Gosz, 1977 & Molles & Gosz, 1980 se detectó la presencia de metales pesados aguas abajo de las estaciones de esquí y también se atribuyó a las emisiones generadas por el tráfico tanto en las carreteras como en los parkings. Otro factor a tener en cuenta es la aplicación de sal en las carreteras y en las pistas principalmente para las carreras que acaban afectando al medio acuático como el caso de Santa Fe en Nuevo México en el que Molles & Gosz, 1980; Gosz, 1977 y Mackenzie, 1993, tras la realización de sus análisis en diferentes parámetros aseveran que dicha causa es la que más afecta a la calidad del agua.

En otros casos a la influencia de las áreas de esquí se le suman otras actividades, que no tienen nada que ver con esta, como puede ser la agricultura o la ganadería extensiva, es el caso de Kangas, 2012 que en su artículo asevera que la concentración elevada de nutrientes que presentan varios lagos circundantes a estaciones de esquí, vienen causadas por esas pistas de esquí además de por la agricultura y silvicultura.

Hasta ahora se han analizado artículos que concluían que la principal causa de contaminación en las zonas estudiadas eran las áreas de esquí y su influencia, pero los artículos que se presentan a continuación atribuyen los efectos de a otras fuentes. En el caso del artículo de Arruebo, et. al, 2009, presentaba como principal fuente de contaminación de los ibones la ganadería extensiva que pasta durante el verano y White et. al, 1978 afirma que la contaminación provenía de la escorrentía superficial o la adición directa de efluentes procedentes de fuentes naturales, como puede ser la presencia de mamíferos en el entorno.

Algunos autores tras comprobar la contaminación de las aguas por sus diversas causas, realizaron un seguimiento de los vertidos aguas abajo, donde se comprobó que al cabo de una cierta distancia entre 700 m (Gosz, 1977), 2800m (Molles & Gosz, 1980) y 9500m (Rodríguez, 1987) los ríos conseguían ir volviendo a los valores de referencia. Lo que indica una buena capacidad de asimilación de desechos del río, es decir, la capacidad del receptor para adoptar y procesar una cierta cantidad de aguas residuales (Lenart-Boroń, 2019).

Después de ver como la mayoría de los artículos afirmaban que la influencia de las áreas de esquí sobre la calidad de las aguas afecta negativamente, vamos a ver como en algunos casos los parámetros aun con todo indican una buena calidad del agua como Kangas 2012 en el que solo hubo dos excepciones por exceso de fósforo, o en Kikkert, 1975 en el que también a pesar de los vertidos tienen una clasificación satisfactoria. Rodríguez, 1987 en su estudio sobre el río Hondo en Nuevo México (Estados Unidos) tras analizar los parámetros los resultados mostraron que la calidad del agua del río fue alta en general, aunque se superaron varias veces los límites para el fósforo total y los coliformes fecales. En todos los casos los valores que superaban el límite legal ocurrieron en el apogeo de la temporada de esquí entre diciembre y febrero.

Durante los casos en los que se superan los valores límite de bacterias fecales en aguas superficiales se pueden dar brotes de enfermedades producidos por el suministro de agua contaminada para consumo humano. Prueba de ello son los artículos de Hewitt, et.al, 2013; Karanis, et.al, 2007; Carrique-Mas, et.al, 2003; Ljungström & Castor, 1992; Hewitt, et.al, 2007 y Qin, et.al, 2016, que tratan sobre brotes de enfermedades producidos como consecuencia del consumo de agua contaminada en estaciones de esquí. Este consumo supone un peligro para la salud pública debido a la presencia de virus patógenos que se eliminan principalmente del tracto gastrointestinal humano (Grabow, 2007 & Le Guyader & Atmar, 2007 & Hewitt, et.al, 2007). Los valores de los indicadores bacterianos de mala calidad del agua como el *E. coli* se reconocen como el indicio de un mayor riesgo de la presencia de otras bacterias y virus transmitidos por las heces como la salmonella o la hepatitis A. (Rodríguez, 1987). Estos patógenos provocan una gran variedad de enfermedades. Algunas de estas enfermedades son, gastroenteritis, giardiasis, virus de tipo Norwalk (NLV) o amebiasis. El impacto de estos brotes ha llevado a un reconocimiento más amplio de la vulnerabilidad de los suministros de agua en las estaciones de esquí y lugares de montaña (Hewitt, et.al, 2007).

De este apartado se pueden sacar varias ideas principales que son:

- Para la mayoría de los autores, las áreas de esquí producen una alteración en la calidad de las aguas superficiales directa o indirectamente, aunque dicha alteración queda mitigada por los efectos naturales y el transcurso natural del ciclo del agua.
- Las concentraciones de los parámetros en general, varían estacionalmente presentándose valores más elevados durante la temporada de esquí.
- Pese a la evidencia de la contaminación, las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos hacen que estas aguas sean clasificadas como de buena calidad.
- La contaminación por aguas asimilables a urbanas se corrobora por la presencia de bacterias fecales en la mayoría de los casos.

#### **4.1.2- Influencia del cambio climático en el esquí y sus repercusiones medioambientales**

Después de ver como los vertidos de agua asociados a las estaciones de esquí afectan negativamente a la calidad de las aguas y sus efectos sobre la salud se van a revisar las consecuencias ambientales que conlleva el cambio climático para el esquí. El esquí, como industria dependiente de la nieve, ha atraído considerable atención por su vulnerabilidad al cambio climático (Scott et. al, 2012) puesto que tendrá consecuencias de largo alcance para muchas comunidades dependientes del turismo de esquí, ya que las alternativas económicas son limitadas principalmente en las regiones montañosas rurales (Steiger et. al, 2019 & Aall et. al, 2016). Los modelos a largo y medio plazo indican que debido al avance progresivo del calentamiento global, aumentará la demanda de agua para innivar artificialmente las pistas de esquí (Gauche & Kraszewski, 2019).

En el conjunto de los Pirineos la temperatura media anual ha mostrado un claro incremento, calculado en torno a 0,2 °C por década, siendo la última década la más cálida desde que existen registros (OPCC, 2018). En cuanto la situación futura, los principales modelos climáticos concuerdan en prever un agravamiento de la situación actual con incrementos medios de las temperaturas en los Pirineos de hasta +2°C para el 2070 y de hasta +4°C para el 2100 (OPCC, 2018; López-moreno et al., 2008; Ensembles, 2012 & Euro-Cordex, 2014). Debido al

incremento de la temperatura se espera una menor frecuencia de los episodios de nieve, a favor de las precipitaciones lluviosas (OPCC, 2018). Esto provocaría una disminución del número días con una acumulación de nieve suficiente para poder desarrollar con normalidad el esquí alpino. Bajo escenarios de cambio climático y la tecnología actual de fabricación de nieve, se proyectó que la temporada promedio de esquí se reduciría, entre un 7 y un 32% en la década de 2050 y entre un 11 y un 50% en la década de 2080 (Scott et. al, 2003).

En estos escenarios de cambio climático, la principal estrategia de las estaciones de esquí es incrementar el uso de la innivación artificial para poder permanecer operativas. El coste de la innivación artificial es alto, se dividen entre inversión, operación y mantenimiento. La nieve artificial puede ayudar a compensar el impacto del cambio climático sin tener que confiar tanto en las nevadas naturales, pero esto tiene límites, tanto económicos como físicos (Egorova, 2014 & Soboll & Schmude, 2011). Para producir nieve artificial, el agua se atomiza rociándola en el aire con cañones de nieve. Por lo general, se requieren temperaturas de menos de -3 °C para que las gotas de agua se congelen en el aire y caigan al suelo en forma de nieve (Lagriffoul et al., 2010 & Fauve et al., 2002) y además se necesita un fuerte consumo de agua, pues fabricar una hectárea de nieve requiere en torno a unos 3.000 metros cúbicos de agua (Gauche & Kraszewski, 2019 & Soboll & Schmude, 2011) lo que en un medio frágil como el de la alta montaña genera problemas de sostenibilidad ambiental, sobre todo por las infraestructuras de almacenamiento que es necesario instalar y el abastecimiento continuo que estas precisan (OPCC, 2018 & Loubier, 2004).

Las estaciones de esquí del Valle del Aragón, también están tomando medidas para poder continuar su actividad por ello han construido balsas de almacenamiento de agua. En el caso de Astún una balsa de 46.000 m<sup>3</sup> y en el caso de Candanchú de 14.400 m<sup>3</sup>. Los volúmenes de agua retirados de las cuencas de los ríos por municipio en los Pirineos son casi tres veces mayores en los municipios que comprenden estaciones de esquí que en municipios que no tienen (Gauche & Kraszewski, 2019 & Singh, 2009).

Para poder innivar a temperaturas más altas algunas estaciones de esquí agregan al agua de captación bacterias activas de nucleación de hielo (INA). Las bacterias utilizadas como INA contienen proteínas que se asemejan a la estructura de los cristales de hielo y, por lo tanto, mejoran la formación de hielo (Rixen et al., 2003; Wolber & Warren 1989 & Pattnaik et. al, 1997). El nucleador de hielo más común es "Snomax®", un producto que contiene la bacteria *Pseudomonas syringae* liofilizada y esterilizada. En Francia el uso de los productos derivados de

INAPSS fueron suspendidos debido a dudas sobre su impacto potencial sobre salud humana y el medio ambiente (Lagriffoul et al., 2010).

Otras sustancias que las estaciones esquí utilizan para el mantenimiento del manto nivoso son algunos tipos sales que se distribuyen en la nieve de las pistas de esquí para endurecer la superficie para las carreras. Estas sales pueden estar basadas en cloruro o nitrato, y pueden tener un impacto en el medio ambiente por sus contribuciones al crecimiento de la biomasa en el medio acuático (Lagriffoul et al., 2010 & Rixen et al., 2008).

La liberación de contaminantes de una capa de nieve que se derrite puede dar lugar a picos de concentración temporales en los cuerpos de agua receptores y la exposición de los organismos acuáticos a principios de la primavera, cuando muchas formas de vida se encuentran en una etapa vulnerable de desarrollo (Meyer et al., 2006).

Las estaciones de esquí son uno de los sectores afectados por el cambio climático pero también a su vez, estas también influyen en el cambio climático con sus acciones, como el uso de cañones de nieve o los aditivos.

Según los artículos analizados, el sector del esquí va ser uno de los más afectados por las repercusiones del cambio climático, esto desembocara en un aumento de la captación de agua y una bajada de su calidad en el momento de retorno.

## **4.2- Determinación de la calidad del agua en Astún y Candanchú**

Tras el análisis de los parámetros siguiendo la metodología explicada en el apartado de “Análisis”, los resultados obtenidos se muestran a continuación. A las muestras tomadas aguas arriba de las estaciones de esquí de Astún y Candanchú se les ha denominado “control” ya que se toman como puntos de referencia puesto que no están bajo la influencia de los puntos de vertido.

### **Tiras reactivas**

Los resultados de las tiras colorimétricas se presentan en la Tabla 2 para Astún y en la Tabla 3 para Candanchú. En las tablas se puede observar que apenas hay variación entre las muestras los únicos parámetros que varían son el cobre, plomo, dureza total y pH.

Los resultados que más relevantes son la detección de cobre y plomo, ya que el resto de parámetros que varían o simplemente dan algún valor diferente a 0 dependen de la naturaleza de los materiales que el río va atravesando. La presencia de plomo puede ser debida a la cantidad de tráfico que se produce durante la temporada de esquí ya que en las dos últimas muestras (A9, C9 y las muestras control) tomadas más de dos meses después del final de la temporada estos valores disminuyen a 0. En cuanto al cobre, puede tener un origen natural en cuyo caso, el incremento de la concentración se debe a un proceso de enriquecimiento natural, cuando el agua atraviesa sustratos que contienen metales en su composición. Su presencia en agua también suele estar relacionada con la escorrentía o excedentes de cultivo, ya que es un elemento presente en algunos pesticidas pero no es el caso de nuestros puntos ya que al ser una zona de alta montaña dedicada al turismo no existen zonas de cultivo cercanas. No obstante, teniendo en cuenta la sencillez del kit de campo, lo más recomendable sería repetir los análisis, con resultados positivos, en el laboratorio. En el Anexo X se muestran las fotografías realizadas a las tiras de cada una de las muestras.

Parámetro	Muestra									
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	Control
<b>Cloro libre (PPM)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Hierro (PPM)</b>	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0
<b>Cobre (PPM)</b>	0'5	1	0'5	0'5	1	0'5	1	0'5	0'5	0'5
<b>Plomo (PPM)</b>	20	20	20	20	50	20	20	20	0	0
<b>Nitrato (PPM)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Nitrito (PPM)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Dureza total (PPM)</b>	120	120	120	120	120	120	50	50	50	50
<b>Alcalinidad total (PPM)</b>	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
<b>pH</b>	6'8	6'8	6'8	6'8	6'8	7'2	6'8	6'8	7'2	7'2

*Tabla 2. Resultados de las tiras reactivas aguas abajo de Astún y en su punto de control.*



Parámetro	Muestra									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	Control
Cloro libre (PPM)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hierro (PPM)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cobre (PPM)	0'5	1	1	1	1	0'5	0'5	1	0'5	0'5
Plomo (PPM)	20	20	20	0	20	20	20	0	0	0
Nitrato (PPM)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitrito (PPM)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dureza total (PPM)	120	120	120	120	120	120	50	50	50	50
Alcalinidad total (PPM)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
pH	6'8	6'8	6'8	6'8	6'8	7'2	6'8	7'2	6'8	7'6

Tabla 3. Resultados de las tiras reactivas en el punto aguas abajo Candanchú y en su punto de control.

### ***E. coli* y coliformes**

Los resultados de los viales se muestran en la Tabla 4. Se indicó que había presencia cuando la solución cambiaba de color a naranja o violeta y está por encima de la marca de 1 CFU/ml. Cuanto mayor es la cantidad de *E. coli* presente en la muestra esta se torna más violeta, es por ello que en el Anexo II se muestran las fotos realizadas a cada una de las muestras comparándolas con la tabla de interpretación de los resultados.

Muestra	Presencia	Muestra	Presencia
	Ausencia		Ausencia
A1		C1	
A2		C2	
A3		C3	
A4		C4	
A5		C5	
A6		C6	
A7		C7	
A8		C8	
A9		C9	
Control		Control	

Tabla 4. Presencia ausencia de *E. coli* en las muestras tomadas. En verde: ausencia y en rojo: presencia.

Los resultados obtenidos para *E. coli* mostraron la presencia de dichas bacterias asociadas a la contaminación fecal durante la temporada de esquí y su ausencia en los puntos de control y al finalizar la temporada en Astún. La presencia de *E. coli* en la muestra tomada al final de la temporada de esquí aguas abajo de Candanchú se puede deber a la población existente, puesto que en Candanchú viven de manera continua aproximadamente 86 personas, mientras que en Astún hay censadas tan solo 8.

### **pH y conductividad**

La conductividad, como ya se ha dicho en el apartado anterior, expresa la cantidad de iones disueltos que hay en el agua mientras que el pH mide la concentración de iones de hidrógeno.

Los resultados son los que se muestran a continuación. En la Tabla 5 se exponen los resultados de las muestras de agua de Astún y la Tabla 6 hace referencia a los datos obtenidos para Candanchú.

<b>Muestra</b>	<b>Fecha</b>	<b>pH</b>	<b>Conductividad (<math>\mu\text{S}/\text{cm}^2</math>)</b>
<b>A1</b>	28/12/19	7'7	86
<b>A2</b>	04/01/20	8'0	93
<b>A3</b>	11/01/20	7'7	101
<b>A4</b>	18/01/20	7'7	163
<b>A5</b>	25/01/20	7'3	583
<b>A6</b>	01/02/20	7'8	100
<b>A7</b>	15/02/20	8'2	78
<b>A8</b>	29/02/20	8'0	91
<b>A9</b>	26/05/20	7'9	73
<b>Control</b>	27/05/20	7'9	73

*Tabla 5. Resultados pH y conductividad en los puntos aguas abajo de Astún y en su punto de control.*

Muestra	Fecha	pH	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ )
C1	28/12/19	7'82	135
C2	04/01/20	7'85	153
C3	11/01/20	7'88	140
C4	18/01/20	7'64	221
C5	25/01/20	7'52	606
C6	01/02/20	7'86	157
C7	15/02/20	8'2	114
C8	29/02/20	8'03	134
C9	26/05/20	8'04	96
Control	27/05/20	7'61	119

Tabla 6. Resultados pH y conductividad aguas abajo de Candanchú y en su punto de control.

Según los resultados mostrados en la Figura 15 se puede observar que los valores de pH se mantuvieron estables en valores básicos, entre 7'3 y 8'2, si bien en el caso de la muestra del 25 de enero, el pH fue el más bajo mientras que los más altos se registraron el 15 de febrero. Estas fluctuaciones pueden deberse a la variación de la temperatura.

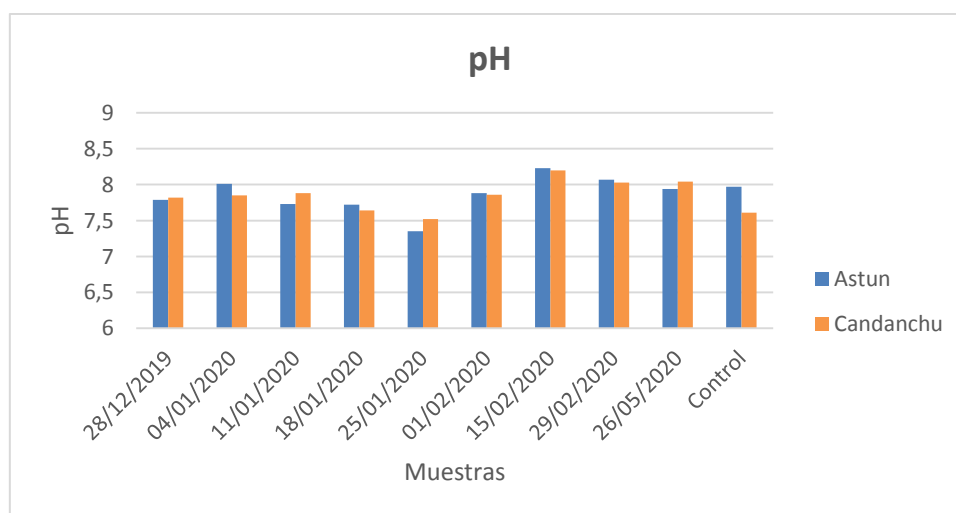


Figura 15. Representación gráfica de los valores de pH en Astún y Candanchú.

Para el estudio de la conductividad, en la Figura 16 se representa la conductividad en los puntos de muestreo. Se observó que la conductividad iba aumentando desde el inicio de la toma de muestras hasta alcanzar sus valores máximos el 25 de enero momento a partir del cual la conductividad fue disminuyendo.

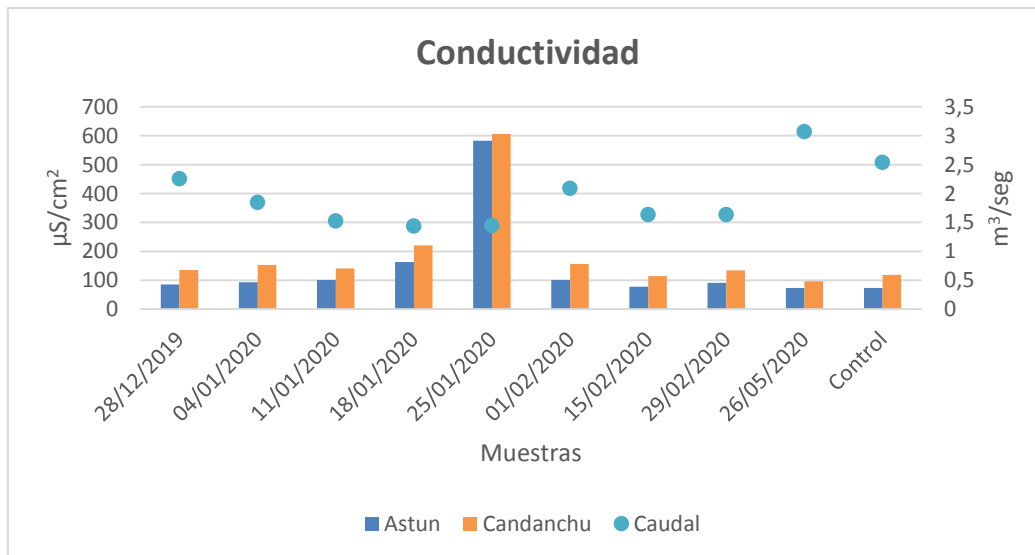


Figura 16. Representación gráfica de los valores de la conductividad y el caudal en los puntos de muestreo de Astún y Candanchú.

Estos datos más altos corresponden al periodo con el caudal más bajo y mayores aportes de sal a la carretera debido a las fuertes nevadas que sucedieron a finales de enero y la mayor afluencia de turistas. Posteriormente la conductividad decae de manera gradual cuando aumenta el caudal ya que el contenido en iones se diluye. Así mismo también se puede apreciar que en todas las muestras la conductividad es más elevada en el punto 3 es decir, aguas abajo de la estación de Candanchú, esto es debido a un proceso natural en las cuencas de hidrográficas y refleja la acumulación de iones que se produce por el drenado y lavado de los suelos con el discurrir del agua.

### Nitrato

Los resultados de los análisis de las muestras para el nitrato se reflejan en la Tabla 7 para Astún y en la Tabla 8 para Candanchú, mientras que gráficamente se muestran en la Figura 17.

Muestra	Fecha	Concentración (mg/l)
A1	28/12/2019	0,531
A2	04/01/2020	0,526
A3	11/01/2020	0,474
A4	18/01/2020	0,517
A5	25/01/2020	0,554
A6	01/02/2020	0,964
A7	15/02/2020	0,298
A8	29/02/2020	0,464
A9	26/05/2020	0,281
Control	27/05/2020	0,122

Tabla 7. Concentración de nitratos aguas abajo de Astún y en su punto de control.

Muestra	Fecha	Concentración (mg/l)
C1	28/12/2019	0,811
C2	04/01/2020	1,313
C3	11/01/2020	1,131
C4	18/01/2020	1,215
C5	25/01/2020	1,820
C6	01/02/2020	0,786
C7	15/02/2020	0,399
C8	29/02/2020	0,505
C9	26/05/2020	0,330
Control	27/05/2020	0,801

Tabla 8. Concentración de nitratos en el punto aguas abajo de Candanchú y su punto de control.

Dado que el punto aguas abajo de Candanchú se sitúa tras las zonas de vertido de ambas estaciones, los valores que presenta es la suma de los vertidos de estas. Mediante una resta se puede calcular cual es el aporte de vertido por parte de cada una de las estaciones (ya que gracias al muestreo ya se conoce el aporte de la estación de Astún). Los valores de este cálculo se muestran en la Tabla 9. No se tienen en cuenta los datos de los puntos de control ya que al no estar sometidos a la influencia de ningún punto de vertido no pueden representar los

aportes de las estaciones. El valor negativo corresponde al 1 de febrero y se debe a que la concentración de nitrato en el punto aguas abajo de Astún fue más elevada que en el punto aguas abajo de Candanchú. En el resto de fechas, la concentración de nitrato aumenta río abajo, tras la estación de Candanchú, entre un 7 y un 65%.

Fecha	Aporte de Astún (mg/l)	Aporte de Candanchú (mg/l)
28/12/2019	0,532	0,279
04/01/2020	0,543	0,770
11/01/2020	0,475	0,657
18/01/2020	0,518	0,698
25/01/2020	0,554	1,074
01/02/2020	0,964	-0,177
15/02/2020	0,315	0,100
29/02/2020	0,481	0,041
26/05/2020	0,298	0,049

Tabla 9. Aporte de nitrato de la estación de Astún y la de Candanchú.

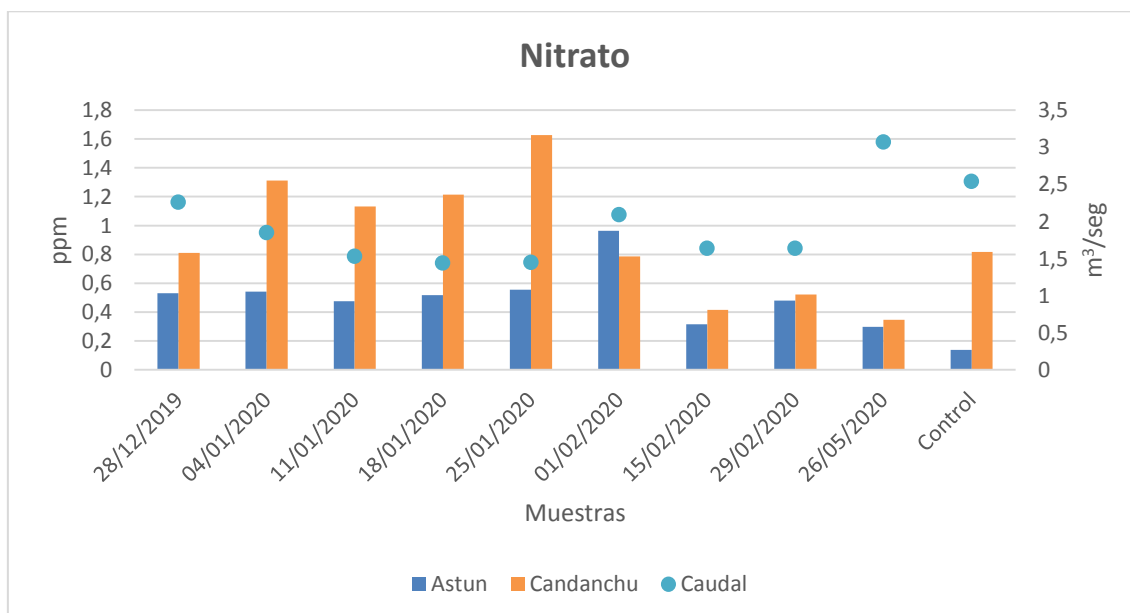


Figura 17. Representación gráfica de la concentración de nitrato y el caudal en los puntos de muestreo.

La concentración de nitrato fue muy variable y pudo tener su origen en el vertido de aguas residuales puntual o difusa, con las aguas de escorrentía. Las concentraciones más altas se produjeron en general en el punto de muestreo aguas abajo de Candanchú, esto es lo

esperado ya que en este punto se recogen las aguas de la zona de Astún y Candanchú por ello una vez que el agua llega al punto ha ido recogiendo iones desde el nacimiento del río presentándose aquí una concentración más elevada. Dicha tendencia se cumple en todas las muestras excepto el día 1 de febrero en el que la concentración de nitrato fue más elevada en Astún. Esta inversión de la tendencia coincide con el aumento del caudal más importante registrado en el tramo de estudio durante la temporada, entre los puntos aguas abajo de Astún y Candanchú, por lo que se trata de un efecto de dilución del nitrato asociado a la precipitación o deshielo.

Una vez finalizada la temporada (muestra del 26 de mayo) las concentraciones de nitrato caen en ambos puntos de muestreo. Esto indica que el aporte de nitrato pudo deberse a la actividad de las estaciones.

El resultado que más llamo la atención fue el del día 27 de mayo en el punto de control de Candanchú (0,80 mg/l) el cual fue tomado como punto de control al no haber en la zona donde se toma la muestra ninguna perturbación apreciable o conocida. El agua de ese arroyo proviene de una surgencia y podría tener esas concentraciones de manera natural. Por ello se buscó en la CHE los datos del manantial de Rioseta para su comparación, debido a su cercanía con el punto de muestreo y su origen subterráneo (Figura 18). En los análisis realizados en Rioseta los valores más actuales que proporciona la CHE, presentan una concentración de nitrato de 0'85 mg/l. Otra posibilidad que se barajo fue que esa cantidad de nitrato de debiera a los restos de heces de animales que se puedan acercar al arroyo a beber o del ganado que sube a pastar en verano pero quedó descartada puesto que los análisis de *E. coli* indicaron ausencia en esa muestra.

En cambio en el punto de control en Astún, el resultado fue lo que cabría esperar al encontrarse en un punto sin vertidos. El resultado en este punto da el valor de nitrato más bajo de todas la muestras realizadas 0'13 mg/l.

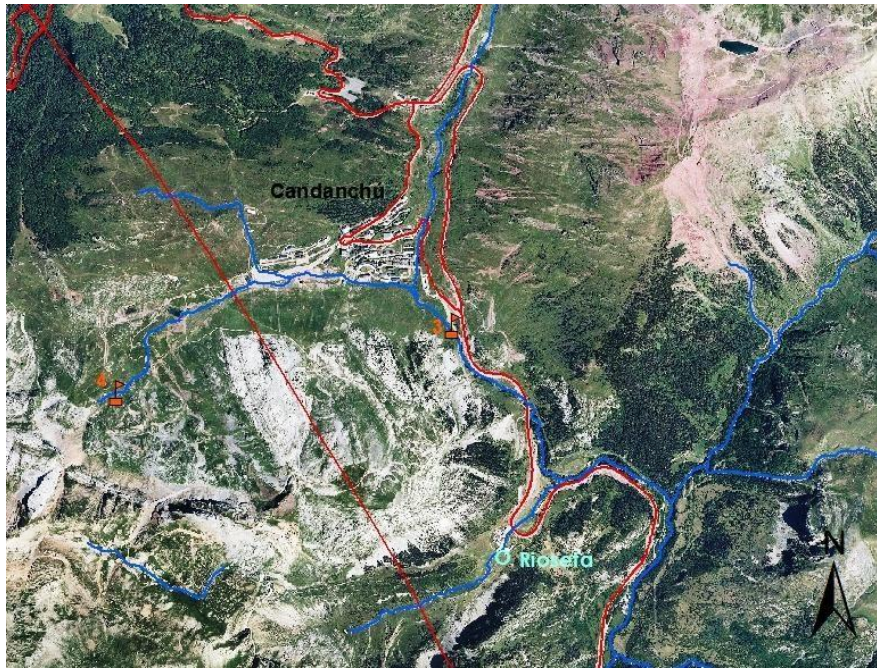


Figura 18. Ubicación del manantial de Rioseta. (Coordenadas: latitud: 42.770641, longitud: -0.520333).

### Fosfato

Los resultados de los análisis de las muestras para fosfato se reflejan en la Tabla 10 para Astún y en la Tabla 11 para Candanchú, mientras que gráficamente se muestran en la Figura 19.

Muestra	Fecha	Concentración (mg/l)
A1	28/12/2019	0,121
A2	04/01/2020	0,156
A3	11/01/2020	0,035
A4	18/01/2020	0,179
A5	25/01/2020	0,185
A6	01/02/2020	0,126
A7	15/02/2020	0,094
A8	29/02/2020	0,054
A9	26/05/2020	0,018
Control	27/05/2020	0,069

Tabla 10. Resultados de la concentración de fosfato en el punto aguas abajo de Astún y en su punto de control.



Muestra	Fecha	Concentración (mg/l)
C1	28/12/2019	0,142
C2	04/01/2020	0,366
C3	11/01/2020	0,073
C4	18/01/2020	0,169
C5	25/01/2020	0,179
C6	01/02/2020	0,190
C7	15/02/2020	0,054
C8	29/02/2020	0,069
C9	26/05/2020	0,008
Control	27/05/2020	0,008

Tabla 11. Resultados de la concentración de fosfato en el punto aguas abajo de Candanchú y en su punto de control.

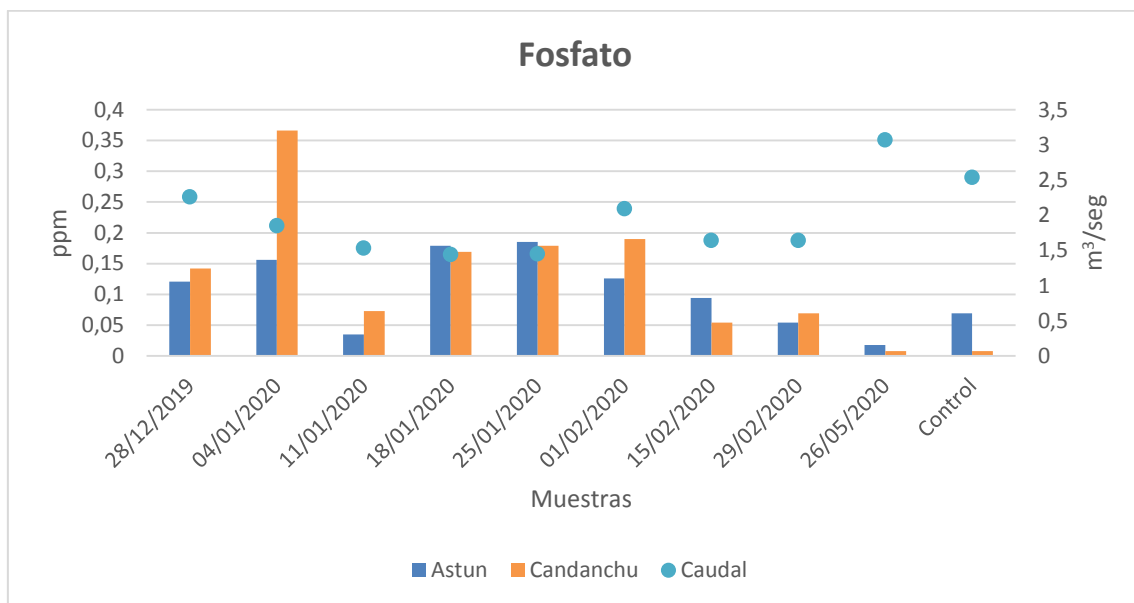


Figura 19. Representación gráfica de la concentración de fosfato y el caudal en los puntos de muestreo.

La concentración de fosfato en las aguas fue muy variable y no siguió ningún patrón discernible. Llama la atención que la concentración de fosfato en la mitad de las muestras fuera superior en Astún. La concentración de fosfato depende en parte de la naturaleza de los terrenos atravesados aunque también pudo tener su origen en el vertido de aguas residuales.

El 4 de enero se registró un pico puntual de fosfato en Candanchú, que dobla la concentración registrada aguas arriba en Astún, lo que sugiere una entrada puntual de este nutriente.

Para las muestras del día 26 de mayo, cuando la temporada de esquí ya había acabado se puede apreciar como los datos para los puntos aguas abajo de las estaciones de Astún y Candanchú son significativamente más bajos en comparación con el resto de muestras tomadas durante la temporada, de nuevo, parece producirse un efecto de dilución por incremento del caudal, igual que se observó con la concentración de nitrato.

Tras ver expuestos los resultados de todos los parámetros analizados podemos decir que el pH del agua es principalmente alcalino, es decir, superior a 7. La conductividad no sufre grandes variaciones salvo un pico el 25 de enero. El nitrógeno y fósforo disueltos, presentan grandes fluctuaciones en los puntos de muestreo durante el período de estudio, asociadas a variaciones del caudal o a vertidos puntuales. Se puede notar un aumento en las concentraciones de nitrato del punto aguas abajo de Candanchú con respecto a su homólogo en Astún.

Las concentraciones de nutrientes difieren significativamente en invierno de los datos de primavera tomados el 26 de mayo de 2020; por lo que se puede afirmar que existe una variabilidad estacional de los parámetros analizados de la calidad del agua. Al finalizar la temporada de esquí desciende el número de turistas y por tanto la cantidad de aguas residuales vertidas. Además el final de la temporada coincide con el incremento de las precipitaciones y el inicio del deshielo, haciendo que aumente el caudal del río. Este aumento de caudal conlleva a la dilución de las concentraciones de los nutrientes.

### **4.3- La calidad del agua en Astún y Candanchú**

Este apartado está dedicado a comparar los resultados de laboratorio obtenidos con la legislación vigente para determinar la calidad del agua, y con otros estudios y datos de puntos ubicados en la zona de la zona de estudio.

En cuanto a la legislación, la Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, expone que las aguas residuales deben recibir un tratamiento adecuado y no está permitido su vertido sin control. Por ello la Ley de Aguas (RDL 1/2001) incorpora a la legislación española los aspectos relativos a la protección de las aguas según lo dispuesto en la Directiva 2000/60/CE, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

Para cumplir con los objetivos medioambientales previstos en Ley de Aguas entre los que se incluye alcanzar el buen estado de las aguas superficiales tanto ecológico como químico, los

programas de seguimiento son una herramienta básica, y deben proporcionar la información necesaria para evaluar el grado de cumplimiento de los objetivos marcados. Este es el caso de los valores que han sido proporcionados en la CHE de los puntos del Ibón de Truchas y del Puesto de Santa Cristina que han sido utilizados para el presente trabajo.

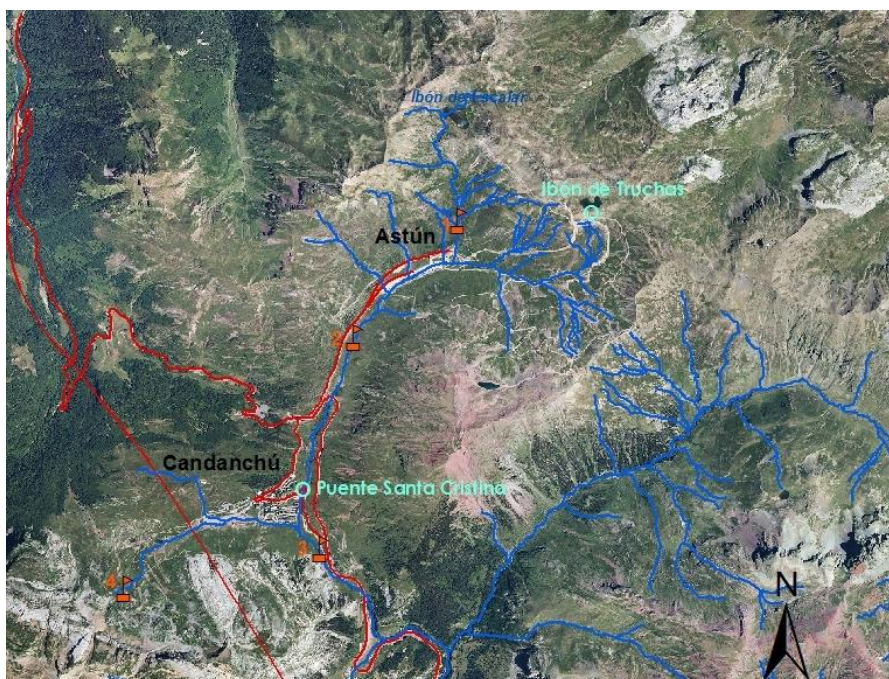
Para garantizar el cumplimiento de la DMA, el Real Decreto 817/2015 de 11 de septiembre, establece los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad en el Estado Español. En esta normativa, el río Aragón se engloba en el tipo "R-T26 Ríos de montaña húmeda calcárea". Al comparar los datos de este trabajo con los de la Tabla 12 de condiciones de referencia y límites de cambio de clase de estado, todos los parámetros analizados obtuvieron concentraciones menores que los proporcionados para "Muy bueno/bueno", por tanto la calidad del agua de nuestro área de estudio es muy buena. En caso de no conseguir un buen estado de las aguas, podría conllevar la apertura de un nuevo procedimiento de infracción contra España por incumplimiento de la Directiva Marco del Agua (RD. 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental).

Tipos Ríos	Indicador	Unidades	Condición de referencia/ condición específica del tipo	Límites de cambio de clase de estado			
				Indicadores biológicos e hidromorfológicos: RCE Indicadores químicos: medida			
				Muy bueno/ bueno	Bueno/ moderado	Moderado/ deficiente	Deficiente/ malo
R-T26	IBMWP	-	204	0,88	0,53	0,31	0,13
R-T26	IMMi-T	-	1	0,850	0,694	0,463	0,231
R-T26	IBMR	-	12,2	0,94	0,71	0,47	0,24
R-T26	IPS	-	18,6	0,93	0,70	0,47	0,23
R-T26	QBR	-	100	0,950			
R-T26	pH	-		6,5-8,7	6-9		
R-T26	Oxígeno	mg/L			5		
R-T26	% Oxígeno	%		70-100	60-120		
R-T26	Amonio	mg NH <sub>4</sub> /L		0,2	0,6		
R-T26	Fosfatos	mg PO <sub>4</sub> /L		0,2	0,4		
R-T26	Nitratos	mg NO <sub>3</sub> /L		10	25		

Tabla 12. Condiciones de referencia y límites de cambio de clase de estado (RD. 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental).

Como se ha mencionado con anterioridad, en la página de la CHE se encontraron los resultados del programa de seguimiento de la calidad de las aguas superficiales de los cuales dos puntos fueron de nuestro interés ya que debido a su ubicación (Figura 20) nos permitieron comparar con nuestros resultados. El primero de ellos se encontraba en el Ibón de Truchas que está en la cabecera del río Aragón muy cerca del Ibón Escalar. El siguiente punto se localizaba

en el Puente de Santa Cristina, lugar que se encuentra entre los puntos aguas abajo de Astún y aguas abajo de Candanchú. Otros datos con los que también se pudo comparar fueron como ya se mencionó, los obtenidos en el estudio de Val, 2002. Este nos permitió comparar sus resultados con los obtenidos para el presente trabajo puesto que el estudio se llevó a cabo en el río Aragón desde su nacimiento hasta Jaca y al analizarlo comprobamos que 3 de sus puntos de muestreo estaban cerca de los elegidos para este trabajo. Los datos de estos estudios se encuentran en el Anexo III.



*Figura 20. Ubicación del Ibón de Truchas y el Puente Santa Cristina. Elaboración propia con el software ArcMap 10.3.*

La comparación de los resultados presentó dificultades debido a la escasez de datos concretos ya que muchos de los resultados se exponían como intervalos.

Dada la similitud entre los puntos de muestreo de la cabecera del río y la toma de muestras que realizó durante un año, el estudio de Val 2002 es comparable con nuestros resultados y nos permitió obtener la visión de la evolución de los parámetros a lo largo del Valle del Aragón. Los resultados que obtuvo durante el invierno no presentaron un patrón claro ni para el nitrato ni para el fosfato a lo largo de los puntos de muestreo del río, desde aguas arriba de Astún hasta Jaca. El hecho de no seguir un patrón claro podría deberse a la existencia de distintos puntos de aportaciones de vertidos y pérdidas o consumos, lo que hace que no se produzca un efecto acumulativo aguas abajo. Al igual que en nuestro estudio, en el de Val,

2002, existe una tendencia a la disminución de las concentraciones de nutrientes entre la temporada de esquí y la finalización de la misma.

Los puntos del Ibón de Truchas y el Puente de Santa Cristina nos proporcionaron la perspectiva de la evolución de la concentración de nutrientes a lo largo del tiempo puesto que se tomaron muestras en intervalos de tiempo mucho más largos (una vez al año o menos). En el punto de muestreo del Puente de Santa Cristina los valores se mantienen en general constantes a lo largo de los años con algunas pequeñas variaciones y según los datos de la CHE para el estado de la calidad de las aguas superficiales en este punto es “Muy bueno” (CHE, 2020).

Con respecto al ibón de Truchas, en general, este presenta concentraciones más bajas, excepto en los datos más recientes donde se aprecia un aumento de ambos parámetros (N y P). Esto se puede deber a la puesta en funcionamiento de los telesillas de Astún en los últimos años durante el verano para facilitar el acceso de los turistas a los ibones, donde además disponen de una cafetería al lado de dicho telesilla, aumentando la presión antrópica sobre los ibones durante el verano.

Sin tener unas tendencias claras aparte de las ya comentadas se puede decir que los resultados de los estudios de la zona del Valle del Aragón y el nuestro se encuentran en el mismo rango de concentraciones.

Después de comparar nuestros resultados con lo vistos en los estudios revisados, tanto en el valle como a nivel internacional, se puede decir que la zona de estudio sigue la tendencia estacional propia de un área de esquí. Los nutrientes aumentan durante el invierno por la presión turística y los bajos caudales. Esta tendencia cambia conforme se acerca la primavera y finaliza la temporada de esquí, ya que aumenta el caudal debido al incremento de las precipitaciones y comienza el deshielo lo que aumenta el proceso de dilución; además el turismo deja de tener tanta presencia por lo que en esta época se presentan concentraciones inferiores.

A pesar del aumento de las concentraciones de nutrientes y la reducción de la calidad que esto conlleva, los nutrientes no superan los límites establecidos en el RD. 817/2015 para la clasificación de “muy buena”, excepto una vez. Pero puede que en el futuro de seguir así y en un escenario de cambio climático, con menos volumen de agua circulando por el río, la situación pueda empeorar. También hay que tener en cuenta el riesgo inherente para la salud que generan los vertidos sin tratar por la presencia de bacterias fecales.

## 5.-Conclusiones

- En el análisis de recopilación bibliográfica realizado, la mayoría de las estaciones de esquí muestran una influencia negativa sobre la calidad de las aguas superficiales.
- Los estudios consultados coinciden en que el cambio climático va a conllevar un aumento de las temperaturas y aumento de los episodios de lluvia en detrimento de las nevadas. Por lo que será necesario el mayor uso de innivación artificial para la continuidad de la actividad de la industria del esquí. Esto aumentará la presión sobre los recursos hídricos y su calidad.
- Al comparar nuestros resultados de los puntos aguas abajo de las estaciones de esquí, tomados durante la temporada de esquí con los de una vez finalizada la temporada, se aprecia una reducción considerable de las concentraciones de nitrato y fosfato. Esto puede ser debido a la influencia de las estaciones de esquí sobre la calidad del agua del río y también al incremento de caudal en primavera.
- Se aprecia una relación de la concentración de nutrientes y la conductividad con el caudal. Cuando aumenta el caudal, en primavera, el nitrato y el fosfato disminuyen por dilución y por la disminución de vertidos.
- No podemos afirmar por nuestros resultados que la calidad de las aguas superficiales se vea afectada negativamente solo por las áreas de esquí ya que en los puntos de control tenemos valores superiores de nitrato y fosfato a las de algunas muestras tomadas aguas abajo de los vertidos durante la temporada de esquí.
- Los resultados obtenidos respecto a la presencia de *E. coli* ponen de manifiesto, que el origen de las aguas fecales son los vertidos de aguas residuales sin tratamiento, lo que podría solucionarse con la implantación de una estación depuradora.
- Al comparar nuestros resultados con la legislación vigente (RD. 817/2015) en materia de aguas, se obtiene una clasificación de la calidad del agua como “muy buena” excepto en un punto en el que supera el límite de fosfato. Aun así, el vertido continuado de aguas residuales sin tratar podría llevar al incumplimiento de la legislación en materia de agua y de la DMA en el futuro próximo.

## 6.-Bibliografía

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) Y Water Pollution Control Federation (WPCF). 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales.

Aragón. Decreto 107/2009, de 9 de junio, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba la revisión del Plan Aragonés de Saneamiento y Depuración. Boletín Oficial de Aragón de 1 de julio de 2009, núm. 125, pp: 16908- 17243. Consultado el día: 28/05/20. En línea: <http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=385874840808>

Aragón. Decreto 204/2010, de 2 de noviembre, del Gobierno de Aragón, por el que se crea el Inventario de Humedales Singulares de Aragón y se establece su régimen de protección. Boletín Oficial de Aragón de 11 de noviembre de 2010, núm. 220, pp: 25386- 25400. Consultado el día: 30/05/20. En línea: <http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=558856590404>

Aragón. Ley 10/2014, de 27 de noviembre, de Aguas y Ríos de Aragón. Boletín Oficial de Aragón de 10 de diciembre de 2014, núm. 241, pp: 38661- 38710. Consultado el día: 28/05/20. En línea: <http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=825631424141&type=pdf>

Aragón. Reglamento regulador de los vertidos de aguas residuales a las redes municipales de alcantarillado. Boletín Oficial de Aragón de 10 de marzo de 2004, núm. 30, pp: 2419- 2427. Consultado el día: 28/05/20. En línea: <http://www.boa.aragon.es/cgi-bin/EBOA/BRSCGI?CMD=VEROBJ&MLKOB=376569325554>

Arruebo, T., Pardo, A., Rodríguez, C., Lanaja, F. J., & Del Valle, J. (2009). Método específico para la evaluación medioambiental de los lagos de origen glaciar pirenaicos y su aplicación al lago de Sabocos. *Pirineos*, Vol.164, pp:135-164. Consultado el día: 10/06/20. En línea: <http://pirineos.revistas.csic.es/index.php/pirineos/article/view/33>

Arruñada, A. (2013). La estacionalidad en los deportes de invierno en Asturias: El caso de la estación de Fuentes de Invierno. Universidad de Oviedo. Consultado el día: 25/05/20. En línea: [http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/19271/3/TFM\\_Aldara%20Arru%c3%b1ada.pdf](http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/19271/3/TFM_Aldara%20Arru%c3%b1ada.pdf)

Bark, R.H., Colby, B.G. & Dominguez, F. (2010). Snow days? Snowmaking adaptation and the future of low latitude, high elevation skiing in Arizona, USA. *Climatic Change*. Vol. 102, pp: 467–491. Consultado el día: 11/06/20. En línea: <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9708-x>

Benvenuto, V. P. (2017). Determinación de Escherichia coli enteropatógena (ECEP) en agua de mar del Circuito de Playas de la Costa Verde. Consultado el día: 28/05/20. En línea: [http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/1016/Benvenuto\\_vp.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/1016/Benvenuto_vp.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Bojarczuk, A., Jelonkiewicz, Ł., & Lenart-Boroń, A. (2018). The effect of anthropogenic and natural factors on the prevalence of physicochemical parameters of water and bacterial water quality indicators along the river Białka, southern Poland. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 25, nº10, pp: 10102-10114. Consultado el día: 11/06/20. En línea: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-018-1212-2>

Broto, S. (1979). *El Pirineo Aragonés*. Ed. Everest.

Cabrera, E; Hernández, L; Gómez, H y Cañizares, MP. (2003). Determinación de nitratos y nitritos en agua: Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. *Revista de la Sociedad Química de México*, Vol.47, pp: 88-92. Consultado el día: 04/06/20. En línea: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0583-76932003000100014&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0583-76932003000100014&lng=es&tlng=es)

Cáceres, P. (2020). *Cronología de 20 años de incumplimiento en depuración de aguas*. El Ágora, diario del agua. Consultado el día: 21/06/20. En línea: <https://www.elagoradiario.com/agua/cronologia-de-20-anos-de-incumplimiento-en-depuracion-de-aguas/>



Calianno, M.; (2020). « La méthode des analogues : reproduire le caractère saisonnier de la distribution d'eau potable dans les stations touristiques de montagne », *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine* Vol. 108-1. Consultado el día: 25/05/20. En línea: <http://journals.openedition.org/rga/6704>

Cappa, F., Suciú, N., Trevisan, M., Ferrari, S., Puglisi, E., & Cocconcelli, P. S. (2014). Bacterial diversity in a contaminated Alpine glacier as determined by culture-based and molecular approaches. *Science of the total environment*, Vol.497, pp:50-59. Consultado el día: 12/06/20. En línea: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969714011310>

Carrique-Mas, J., Andersson, Y., Petersen, B., Hedlund, K. O., Sjögren, N., & Giesecke, J. (2003). A Norwalk-like virus waterborne community outbreak in a Swedish village during peak holiday season. *Epidemiology & Infection*, Vol.131, n1, pp: 737-744. Consultado el día: 09/06/20. En línea: <https://www.cambridge.org/core/journals/epidemiology-and-infection/article/norwalklike-virus-waterborne-community-outbreak-in-a-swedish-village-during-peak-holiday-season/4BC2458F546FA81521F8682FC21FBD92>

Casas, J.J.; (1996). Dinámica espacio- temporal de las características físico- químicas de un río de montaña no regulado, sometido a vertidos de aguas residuales (Río Monachil, Sierra Nevada, España): una aproximación multivariante. . En IV Simposio sobre el agua en Andalucía. Vol.II, pp: 249- 255. Madrid: Instituto Tecnológico GeoMinero de España.

Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). (2008). Plan hidrológico del río Aragón. Consultado el día: 01/06/20. En línea: <http://www.adelpa.com/descargas/aragon.pdf>

Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). (2019). Censo de Vertidos Autorizados. Ministerio para la Transición Ecológica. Consultado el día: 15/12/19. En línea: <http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=12105&idMenu=2211>

Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). (2020). Estado de la calidad del agua en el Río Aragón desde su nacimiento hasta Canal Roya (Puente Santa Cristina). Ministerio para la Transición Ecológica. Consultado el día: 20/04/20. En línea: <http://www.datosuperficiales.chebro.es:81/WCASF/>

Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). (2020). Resultados datos de calidad de aguas superficiales. Ibón de Astún (Truchas). Ministerio para la Transición Ecológica. Consultado el día: 25/04/20. En línea: <http://www.datossuperficiales.chebro.es:81/WCASF/>

Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). (2020). Resultados datos de calidad de aguas superficiales. Río Aragón desde su nacimiento hasta Canal Roya. Ministerio para la Transición Ecológica. Consultado el día: 20/04/20. En línea: <http://www.datossuperficiales.chebro.es:81/WCASF/>

Darío, R. (2019). *Sigue el goteo de sentencias contra municipios del Pirineo por verter al río sus aguas residuales*. Heraldo de Aragón. Consultado el día: 21/06/20. En línea: <https://www.heraldo.es/noticias/aragon/huesca/2019/04/30/sigue-el-goteo-de-sentencias-contra-municipios-del-pirineo-por-verter-al-rio-sus-aguas-residuales-1312063.html>

Deloitte, Folia consultores y Tuaming S.A. (2013). *Solicitud de declaración de interés general de Aragón plan de unión de estaciones de esquí Valles de Tena y del Aragón*. Corporación Empresarial Pública de Aragón. Consultado el día: 03/06/20. En línea: [http://bases.cortesaragon.es/bases/ndocumenVIII.nsf/e86600a24e054a61c12576d2002e551c/03c838f103ad31abc1257deb002d38af/\\$FILE/20131128%20Plan\\_de\\_Uni%C3%B3n.pdf](http://bases.cortesaragon.es/bases/ndocumenVIII.nsf/e86600a24e054a61c12576d2002e551c/03c838f103ad31abc1257deb002d38af/$FILE/20131128%20Plan_de_Uni%C3%B3n.pdf)

Díaz, G., Yurley, A., Leobn, P., y Daniela, D. (2019). *Revisión Sistemática De Literatura Para Establecer El Efecto Del Uso Del Suelo Sobre La Calidad Del Agua En Ecosistemas De Alta Montaña* (Doctoral dissertation, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Ing. Civil). Consultado el día: 25/05/20. En línea: <http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/13033/1/175041.pdf>

Directiva 2008/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial de la Unión Europea. L348, 16 de diciembre de 2008, pp: 84- 97. Consultado el día: 28/05/20. En línea: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:348:0084:0097:ES:PDF>

Directiva Marco del Agua. Directiva 2000/60/CE del Parlamento europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial de la Unión Europea. L327, 23 de octubre de 2000, pp: 1-72. Consultado el día: 28/05/20. En línea: <https://eur->

[lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0008.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0008.02/DOC_1&format=PDF)

Directiva 2006/11, de la Comisión y el Parlamento Europeo, de 15 de febrero de 2006, sobre la polución causada por ciertas sustancias peligrosas en el medio acuático de la Comunidad. Diario Oficial de la Unión Europea. L 64, 15 de febrero de 2006, pp: 52-59 Consultado el día: 28/05/20. En línea: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:064:0052:0059:ES:PDF>

Directiva 2006/118/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 12 de diciembre de 2006 relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro. Diario Oficial de la Unión Europea. L372, 12 de diciembre de 2006, pp: 19- 31. Consultado el día: 28/05/20. En línea: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0118&from=ES>

Directiva 2006/7/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de febrero de 2006, relativa a la gestión de la calidad de las aguas de baño y por la que se deroga la Directiva 76/160/CEE. Diario Oficial de la Unión Europea. L64, 15 de febrero de 2006, pp: 37- 51. Consultado el día: 28/05/20. En línea: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0007&qid=1590749449266&from=ES>

Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. Diario Oficial de la Unión Europea. L135, 21 de mayo de 1991, pp: 40-52. Consultado el día: 28/05/20. En línea: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0271&from=ES>

Directiva 98/83/CE, del Consejo, de 3 de noviembre de 1998, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. DOCE nºL.330, 05-12-1998. Diario Oficial de la Unión Europea. L330, 3 de noviembre de 1998, pp: 32-54. Consultado el día: 28/05/20. En línea: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:31998L0083&from=ES>

Egorova, K. (2014). Changements climatiques et stations de ski: pistes possibles d'adaptation et modèles de gestion pour un avenir durable. Consultado el día: 10/06/20. En línea: <https://archipel.uqam.ca/6748/>

España. Boletín Oficial del Estado (BOE) Nº 76. Disposición 3938 del BOE núm. 76 de 2020, pp: 26402- 26463. Ministerio de Política Territorial y Función Pública. Consultado el día: 20/06/20. En línea: [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2020-3938](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2020-3938)

España. Real Decreto 1341/2007, de 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño. Boletín Oficial del Estado, 26 de octubre de 2005, núm. 257, pp: 43620- 43629. Consultado el día: 28/05/20. En línea: <https://www.boe.es/boe/dias/2007/10/26/pdfs/A43620-43629.pdf>

España. Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. Boletín Oficial del Estado, 21 de febrero de 2003, núm. 45, pp: 7228- 7245. Consultado el día: 28/05/20. En línea: <https://www.boe.es/boe/dias/2003/02/21/pdfs/A07228-07245.pdf>

España. Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. Boletín Oficial del Estado, 29 de marzo de 1996, núm. 77, pp: 12038-12041. Consultado el día: 28/05/20. En línea: <https://www.boe.es/boe/dias/1996/03/29/pdfs/A12038-12041.pdf>

España. Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. Boletín Oficial del Estado, 12 de septiembre de 2015, núm. 219, pp: 80582- 80677. Consultado el día: 28/05/20. En línea: <https://www.boe.es/boe/dias/2015/09/12/pdfs/BOE-A-2015-9806.pdf>

España. Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. Boletín Oficial del Estado, 24 de julio de 2001, núm. 176, pp: 26791- 26817. Consultado el día: 28/05/20. En línea: <https://www.boe.es/boe/dias/2001/07/24/pdfs/A26791-26817.pdf>

España. Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. Boletín Oficial del Estado, 30 de diciembre de 1995, núm. 312, pp: 37517- 37519. Consultado el día: 28/05/20. En línea: <https://www.boe.es/boe/dias/1995/12/30/pdfs/A37517-37519.pdf>

Estación de esquí de Candanchú. (2020). Skiinfo. Consultado el día: 30/05/20. En línea: <https://www.skiinfo.es/aragon/candanchu/estacion-de-esqui.html>

Folia Consultores y Smartpoint. (2009). *Estudio sobre el sector de la nieve en Aragón Documento 4.1 Síntesis de diagnóstico y escenarios de futuro*. Gobierno de Aragón. Consultado el día: 05/06/20. En línea: [http://aragonparticipa.aragon.es/sites/default/files/estudio\\_del\\_sector\\_de\\_la\\_nieve\\_1.pdf](http://aragonparticipa.aragon.es/sites/default/files/estudio_del_sector_de_la_nieve_1.pdf)

Francy, D. S., Helsel, D. R., y Nally, R. A. (2000). Occurrence and distribution of microbiological indicators in groundwater and stream water. *Water Environment Research*, Vol.72 (nº2),pp: 152-161. Consultado el día: 28/05/20. En línea: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2175/106143000X137220>

Gauche, M., & Kraszewski, M. (2019). Atlas environnemental des stations de ski et des communes supports de stations. Consultado el día: 08/06/20. En línea: [http://www.epsilon.insee.fr/jspui/bitstream/1/95193/1/SDES\\_data\\_atlas%20environnemental\\_2019.pdf](http://www.epsilon.insee.fr/jspui/bitstream/1/95193/1/SDES_data_atlas%20environnemental_2019.pdf)

Gauche, M., & Kraszewski, M. (2019). L'eau dans les stations de ski: une ressource sous pression. Consultado el día: 08/06/20. En línea: [http://www.epsilon.insee.fr/jspui/bitstream/1/92453/3/SDES\\_dataessentiel\\_eau-stations%20de%20ski\\_2019.pdf](http://www.epsilon.insee.fr/jspui/bitstream/1/92453/3/SDES_dataessentiel_eau-stations%20de%20ski_2019.pdf)

Gomez, E., Navas, D., Aponte, G. y Betancourt, L.A.(2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *DYNA: revista de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín*, Vol.81, Nº 184, pp: 158-163. Consultado el día: 02/06/20. En línea: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4717293>

Gómez, M. C. (2019). Validación del método del ácido ascórbico para la determinación de fósforo total y ortofosfato en agua potable, natural y residual en el licam sena-ccit. Consultado el día: 03/06/20. En línea: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/2595>

Gosz, J. R. (1977). Effects of Ski Area Development and Use on Stream Water Quality of the Santa Fe Basin New Mexico. *Forest Science*, Vol.23,, nº2, pp:167-179. Consultado el día:05/06/20. En línea: <https://academic.oup.com/forestscience/article-abstract/23/2/167/4675756>

Hewitt, J., Bell, D., Simmons, G. C., Rivera-Aban, M., Wolf, S., & Greening, G. E. (2007). Gastroenteritis outbreak caused by waterborne norovirus at a New Zealand ski resort. *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol.73, nº 24, pp. 7853-7857. Consultado el día: 09/06/20. En línea: <https://aem.asm.org/content/aem/73/24/7853.full.pdf>

Hewitt, J., Greening, G. E., Leonard, M., & Lewis, G. D. (2013). Evaluation of human adenovirus and human polyomavirus as indicators of human sewage contamination in the aquatic environment. *Water research*, Vol.47, nº17, pp: 6750-6761. Consultado el día: 09/06/20. En línea: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135413006787>

Kangas K, Tolvanen A, Kalkaja T, Siikamäki P (2009) Ecological impacts of revegetation and management practices of ski slopes in northern Finland. *Environ Management* Vol. 44, nº3, pp: 408–419. Consultado el día: 12/06/20. En línea: <https://doi.org/10.1007/s00267-009-9336-2>

Kangas, K; Vuori, K.M; Määttä-Juntunen, H. and Siikamäki, P. (2012). Impacts of ski resorts on water quality of boreal lakes: a case study in northern Finland. *Boreal Environment Research*, Vol. 17, pp: 313-325. Consultado el día: 28/05/20. En línea: <http://eds.b.ebscohost.com/abstract?site=eds&scope=site&jrnl=12396095&AN=77893121&h=U%2bTUXnFoEfbOLsEWqDT%2bGiF8ZrSCTt9va02Vxh9KJEhDefuNXJEKyTXrB6WaLdR75toWYiJd%2baWTGZYEto%2byg%3d%3d&crl=c&resultLocal=ErrCrlNoResults&resultNs=Ehost&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d12396095%26AN%3d77893121>

Karanis, P., Kourenti, C., & Smith, H. (2007). Waterborne transmission of protozoan parasites: a worldwide review of outbreaks and lessons learnt. *Journal of water and health*, Vol.5, nº1, pp: 1-38. Consultado el día: 09/06/20. En línea: <https://iwaponline.com/jwh/article/5/1/1/1987/Waterborne-transmission-of-protozoan-parasites-A>

Kikkert, D. W. (1975). Winter water quality of the Big Mountain ski area, Whitefish, Montana. Consultado el día: 12/06/20. En línea: <https://scholarworks.umt.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=5122&context=etd>

Lagriffoul, A., Boudenne, J. L., Absi, R., Ballet, J. J., Berjeaud, J. M., Chevalier, S & Morris, C. E. (2010). Bacterial-based additives for the production of artificial snow: What are the risks to human health?. *Science of the total environment*, Vol. 408, Nº7, pp: 1659-1666. Consultado el día: 11/06/20. En línea: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969710000112>

Larrea-Murrell, J. A. (2017). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*. Vol: 44 (nº3) pp: 24-34. Consultado el día: 28/05/20. En línea: <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181229302004.pdf>

Lavie, E., Morábito, J., Bermejillo, A., y Filippini, M. F. (2010). Contaminación por fosfatos en el oasis bajo riego del río Mendoza. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, Vol. 42. Consultado el día: 25/05/20 En línea: [https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/3553/t42-1-12-lavie.pdf](https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/3553/t42-1-12-lavie.pdf)

Lenart-Boroń, A., Bojarczuk, A., Jelonkiewicz, Ł., & Żelazny, M. (2019). The effect of a Sewage Treatment Plant modernization on changes in the microbiological and physicochemical quality of water in the receiver. *Archives of Environmental Protection*, Vol.45, nº2. Consultado el día: 11/06/20. En línea: <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-3c2497d2-5aea-4f36-b6f4-71eb192c9cc4>

Lenart-Boroń, A., Wolanin, A. A., Jelonkiewicz, Ł., & Żelazny, M. (2016). Factors and mechanisms affecting seasonal changes in the prevalence of microbiological indicators of water quality and nutrient concentrations in waters of the Białka River catchment, Southern Poland. *Water, Air, & Soil Pollution*, Vol.227, nº9, pp: 302. Consultado el día: 11/06/20. En línea: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-016-2931-y>

Lenart-Boroń, A., Wolanin, A., Jelonkiewicz, Ł., Chmielewska-Błotnicka, D., & Żelazny, M. (2016). Spatiotemporal variability in microbiological water quality of the Białka River and its relation to the selected physicochemical parameters of water. *Water, Air, & Soil Pollution*, Vol.227, nº1. Consultado el día: 10/06/20. En línea: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-015-2725-7>

Ljungström, I., & Castor, B. (1992). Immune response to *Giardia lamblia* in a water-borne outbreak of giardiasis in Sweden. *Journal of medical microbiology*, Vol.36, nº5, pp. 347-352. Consultado el día: 09/06/20. En línea: <https://www.microbiologyresearch.org/docserver/fulltext/jmm/36/5/medmicro-36-5-347.pdf?expires=1591788059&id=id&accname=guest&checksum=F2E2350149C41112E45F57617CA36F3C>

Loubier, J. C. (2004). *Perception et simulation des effets du changement climatique sur l'économie du ski et la biodiversité* (Doctoral dissertation, Université Joseph-Fourier-Grenoble)

l). Consultado el día: 09/06/20. En línea: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00006990/document>

Marco, A. (2002). Contaminación global por nitrógeno y declive de anfibios. *Revista española de herpetología*, Vol.16 (nº5), pp:97- 109. Consultado el día: 26/05/20. En línea: [https://www.researchgate.net/profile/Adolfo\\_Marco/publication/255639251\\_Contaminacion\\_global\\_por\\_nitrogeno\\_y\\_declive\\_de\\_anfibios/links/00b7d53a8c834ac8f4000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Adolfo_Marco/publication/255639251_Contaminacion_global_por_nitrogeno_y_declive_de_anfibios/links/00b7d53a8c834ac8f4000000.pdf)

Mateu Cuenca, A. (2017). *Los problemas de eutrofización de las aguas superficiales en relación con la agricultura* (Doctoral dissertation). Consultado el día: 27/05/20. En línea: <https://riunet.upv.es/handle/10251/78548>

McKinzie, C. (1993). Ski area development after the national forest ski area permit act of 1986: still an uphill battle. *Virginia Environmental Law Journal*, Vol.12, nº2, pp: 299-328. Consultado el día: 11/06/20. En línea: [www.jstor.org/stable/24782067](http://www.jstor.org/stable/24782067)

Menéndez, A., y Tarela, P. (2010). Transporte de contaminantes en el medio acuático. *Universidad Tecnológica Nacional. Maestría en Ingeniería Ambiental*. Consultado el día: 26/05/20. En línea: [http://www.redmodelacion.com.ar/images/pdf/docencia/utn/Apunte\\_ContamAguas.pdf](http://www.redmodelacion.com.ar/images/pdf/docencia/utn/Apunte_ContamAguas.pdf)

Meyer, T., Lei, Y. D., & Wania, F. (2006). Measuring the release of organic contaminants from melting snow under controlled conditions. *Environmental science & technology*, 40(10), 3320-3326. Consultado el día: 11/06/20. En línea: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es060049q>

Meza, L. J. G. (2011). *Estandarización de las técnicas de fosfatos y cloruros en aguas crudas y tratadas para el laboratorio de la Asociación Municipal de Acueductos Comunitarios (AMAC) en el municipio de Dosquebradas* (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Tecnología Química). Consultado el día: 30/05/20. En línea: <https://core.ac.uk/download/pdf/71396582.pdf>

Molles, M. C., & Gosz, J. R. (1980). Effects of a ski area on the water quality and invertebrates of a mountain stream. *Water, Air, and Soil Pollution*, Vol.14, nº1, pp:187-205. Consultado el día: 12/06/20. En línea: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00291835>

Morros, A y Infante, J. El Valle del Aragón: turismo, influencias y propuestas. Universidad de Zaragoza. Consultado el día: 27/05/20. En línea: <https://zaguan.unizar.es/record/13130/files/TAZ-TFM-2013-1196.pdf>



Nebel B.J. & Wright R.T., "Environmental Science: Toward a Sustainable Future", 8th Edition, Prentice Hall, USA (2002).

Observatorio Pirenaico del Cambio Climático (OPCC). (2018). El Cambio climático en los Pirineos: impactos, vulnerabilidades y adaptación Bases de conocimiento para la futura estrategia de adaptación al cambio climático en los Pirineos. Consultado el día: 08/06/20. En línea: <https://www.opcc-ctp.org/sites/default/files/documentacion/opcc-informe-es-print.pdf>

Pickering, C. M., Harrington, J., & Worboys, G. (2003). Environmental impacts of tourism on the Australian Alps protected areas. *Mountain Research and Development*, Vol.23, nº3, pp:247-254. Consultado el día: 13/06/20. En línea: [https://bioone.org/journals/Mountain-Research-and-Development/volume-23/issue-3/0276-4741\(2003\)023\[0247:EIOTOT\]2.0.CO;2/Environmental-Impacts-of-Tourism-on-the-Australian-Alps-Protected-Areas/10.1659/0276-4741\(2003\)023\[0247:EIOTOT\]2.0.CO;2.full](https://bioone.org/journals/Mountain-Research-and-Development/volume-23/issue-3/0276-4741(2003)023[0247:EIOTOT]2.0.CO;2/Environmental-Impacts-of-Tourism-on-the-Australian-Alps-Protected-Areas/10.1659/0276-4741(2003)023[0247:EIOTOT]2.0.CO;2.full)

Polo Ibáñez, A. R y Vargas Vélez, I. C. (2019). *Eliminación de fosfatos y nitratos de agua residual municipal mediante un inóculo optimizado de Chlorella sp. en un sistema de fotobiorreactores verticales con columna de burbujeo a escala piloto* (Doctoral dissertation, Universidad de la Costa). Consultado el día: 27/05/20. En línea: <http://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/5297/Eliminaci%3bn%20de%20fosfatos%20y%20nitratos%20de%20agua%20residual%20municipal%20mediante%20un%20in%3bculo%20optimizado%20de%20Chlorella%20sp.%20en%20un%20sistema%20de%20fotobiorreactores%20verticales%20con%20columna%20de%20burbujeo%20a%20escala%20piloto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Qin, M., Dong, X. G., Jing, Y. Y., Wei, X. X., Wang, Z. E., Feng, H. R., ... & Li, J. (2016). A waterborne gastroenteritis outbreak caused by norovirus GII. 17 in a Hotel, Hebei, China, December 2014. *Food and environmental virology*, Vol.8, nº3, pp:180-186. Consultado el día: 09/06/20. En línea: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12560-016-9237-5>

R. G. (2020). Monachil quiere que Sierra Nevada produzca nieve artificial con aguas residuales. GranadaHoy. Consultado el día: 20/06/20. En línea: [https://www.gradahoy.com/sierra\\_nevada/aguas-residuales-nieve-artificial-Monachil\\_0\\_1475552673.html](https://www.gradahoy.com/sierra_nevada/aguas-residuales-nieve-artificial-Monachil_0_1475552673.html)

Ramos-Ortega, L. M., Vidal, L. A., Vilardey, S., y Saavedra-Díaz, L. I. N. A. (2008). Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la Bahía de Santa Marta, Caribe

colombiano. *Acta Biológica Colombiana*, Vol:13(3), pp: 87-98. Consultado el día: 28/05/20. En línea: <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v13n3/v13n3a7.pdf>

Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. Boletín Oficial del Estado. Nº 219, de 12 de septiembre de 2015. pp: 80582- 80677. Consultado el día: 23/06/20. En línea: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2015-9806>

Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina (**RAP-AL**) Uruguay, (2010). Contaminación y eutrofización del agua. Impactos del *modelo de agricultura industrial*. Uruguay. Consultado el día: 27/05/20. En línea: <http://www.rapaluguay.org/agrotoxicos/Uruguay/Eutrofizacion.pdf>

Ristić, R., Vasiljević, N., Radić, B., & Radivojević, S. (2009). Degradation of landscape in Serbian ski resorts-aspects of scale and transfer of impacts. *Spatium*, Vol.20, pp: 49-52. Consultado el día: 11/06/20. En línea: <http://scindeks.ceon.rs/article.aspx?artid=1450-569X0920049R>

Rixen, C., Stoeckli, V., & Ammann, W. (2003). Does artificial snow production affect soil and vegetation of ski pistes? A review. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, Vol. 5, nº4, pp: 219-230. Consultado el día:11/06/20. En línea: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S143383190470061X>

Rodriguez, S. (1987). Impact of the ski industry on the río Hondo watershed. *Annals of Tourism Research*, Vo.14, nº1, pp: 88-103. Consultado el día: 11/06/20. En línea: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0160738387900491>

Romero, M. (2010). Proceso de eutrofización de afluentes y su prevención por medio de tratamiento de efluentes. *Revista Electrónica Ingeniería Primero-ISSN*, Vol. 17, pp: 64-74. Consultado el día: 27/05/20. En línea: [https://www.academia.edu/8580689/PROCESO\\_DE\\_EUTROFIZACION\\_DE\\_AFLUENTES\\_Y\\_SU\\_PREVENCIÓN\\_POR\\_MEDIO\\_DE\\_TRATAMIENTO\\_DE\\_EFLUENTES](https://www.academia.edu/8580689/PROCESO_DE_EUTROFIZACION_DE_AFLUENTES_Y_SU_PREVENCIÓN_POR_MEDIO_DE_TRATAMIENTO_DE_EFLUENTES)

Sande , P., Mirás-Avalos, J. M., Vidal , E., y Paz, A. (2005). Formas de fósforo y su relación con la erosión en aguas superficiales bajo clima atlántico. Consultado el día: 25/05/20. En línea: <https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/555/21-Sande.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Santa Fe Basin New Mexico. *Forest Science*, Vol.23, n<sup>o</sup>2, pp: 167-179. Consultado el día: 11/06/20. En línea: <https://academic.oup.com/forestscience/article-abstract/23/2/167/4675756>

Santamarta, J. (2000). Turismo y medio ambiente. *World Watch*, Vol. 52 pp:307-310. Consultado el día: 25/05/2020. En línea: <https://www.nodo50.org/worldwatch/ww/pdf/turismo.pdf>

Scott, D., McBoyle, G., & Mills, B. (2003). Climate change and the skiing industry in southern Ontario (Canada): exploring the importance of snowmaking as a technical adaptation. *Climate research*, Vol.23, n<sup>o</sup>2, pp:171-181. Consultado el día: 09/06/20. En línea: <https://www.int-res.com/articles/cr2003/23/c023p171.pdf>

Singh, B., Savoie, M., Bryant, C., Granjon, D., & Pécheux, I. (2009). Impacts et adaptations aux changements climatiques pour les activités de ski et le tourisme dans le sud du Québec. *Tourisme et territoires*, 175-201. Consultado el día: 09/06/20. En línea: [https://www.researchgate.net/profile/Christopher\\_Bryant3/publication/266023222\\_Impacts\\_et\\_adaptations\\_aux\\_changements\\_climatiques\\_pour\\_les\\_activites\\_de\\_ski\\_et\\_le\\_tourisme\\_dans\\_le\\_sud\\_du\\_Quebec/links/54f1b9d60cf2f9e34efef85b.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Christopher_Bryant3/publication/266023222_Impacts_et_adaptations_aux_changements_climatiques_pour_les_activites_de_ski_et_le_tourisme_dans_le_sud_du_Quebec/links/54f1b9d60cf2f9e34efef85b.pdf)

Soboll, A., & Schmude, J. (2011). Simulating tourism water consumption under climate change conditions using agent-based modeling: the example of ski areas. *Annals of the Association of American Geographers*, Vol.101, n<sup>o</sup>5, pp:1049-1066. Consultado el día: 08/06/20. En línea: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00045608.2011.561126>

Steiger, R., Scott, D., Abegg, B., Pons, M., & Aall, C. (2019). A critical review of climate change risk for ski tourism. *Current Issues in Tourism*, 22(11), 1343-1379. Consultado el día: 08/06/20. En línea: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13683500.2017.1410110>

Tonkovic, Z., & Jeffcoat, S. (2002). Wastewater reclamation for use in snow-making within an alpine resort in Australia-resource rather than waste. *Water science and technology*, Vol.46, n<sup>o</sup>6-7, pp:297-302. Consultado el día: 11/06/20. En línea: <https://iwaponline.com/wst/article/46/6-7/297/9983/Wastewater-reclamation-for-use-in-snow-making>

Vázquez, S., O'Neill, S. y Legnani, M. (2013). Importancia de los coliformes en los alimentos. *Food Microbiology*, 1-2. Consultado el día: 28/05/20. En línea:

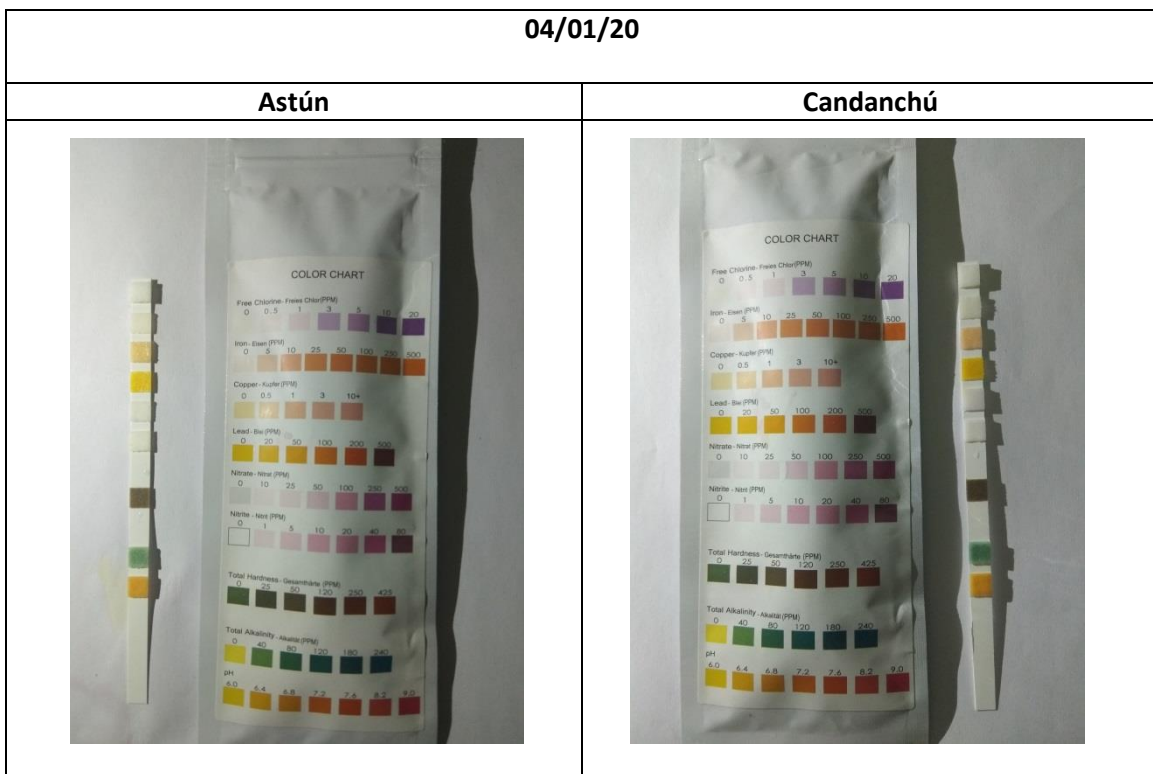
[https://montevideo.gub.uy/sites/default/files/importancia de los coliformes en los alimentos.pdf](https://montevideo.gub.uy/sites/default/files/importancia_de_los_coliformes_en_los_alimentos.pdf)

Wemple, B., Shanley, J., Denner, J., Ross, D., & Mills, K. (2007). Hydrology and water quality in two mountain basins of the northeastern US: assessing baseline conditions and effects of ski area development. *Hydrological Processes: An International Journal*, Vol.21, nº12, pp:1639-1650. Consultado el día: 11/06/20. En línea: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/hyp.6700>

White, C. S., Gosz, J. R., & Moore, D. I. (1978). Impact of a Ski Basin on a mountain watershed. *Water, Air, and Soil Pollution*, Vol.10, nº1, pp: 71-79. Consultado el día: 12/06/20. En línea: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00161997>

Winkler, S., Natsché, N., Gamperer, T., & Dum, M. (2004). Sewage-treatment under substantial load variations in winter tourism areas—a full case study. *Water Science and Technology*, Vol.50, nº7, pp:147-155. Consultado el día: 10/06/20. En línea: <https://iwaponline.com/wst/article/50/7/147/10144/Sewage-treatment-under-substantial-load-variations>

**Anexo I: Fotografías de los resultados de las tiras reactivas.**



11/01/20

Astún



Candanchú



18/01/20

Astún



Candanchú



25/01/20

Astún



Candanchú



01/02/20

Astún



Candanchú



15/02/20

Astún



Candanchú



29/02/20

Astún



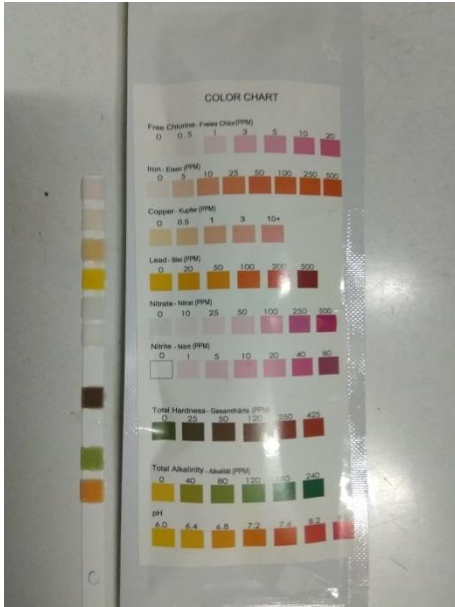
Candanchú





26/05/20

Astún



Candanchú



27/05/20

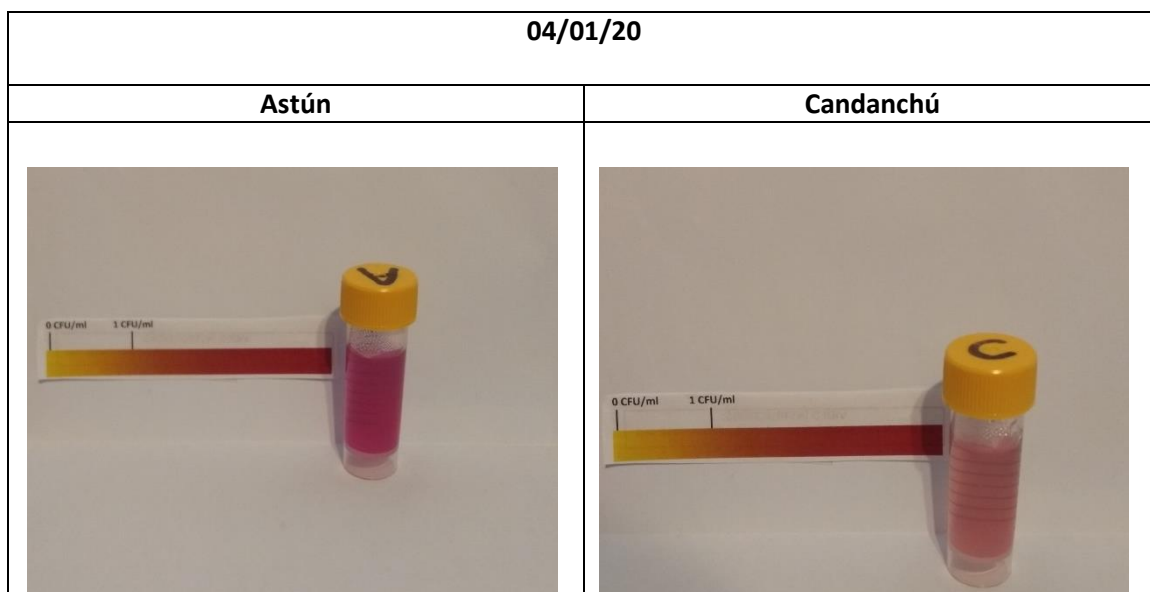
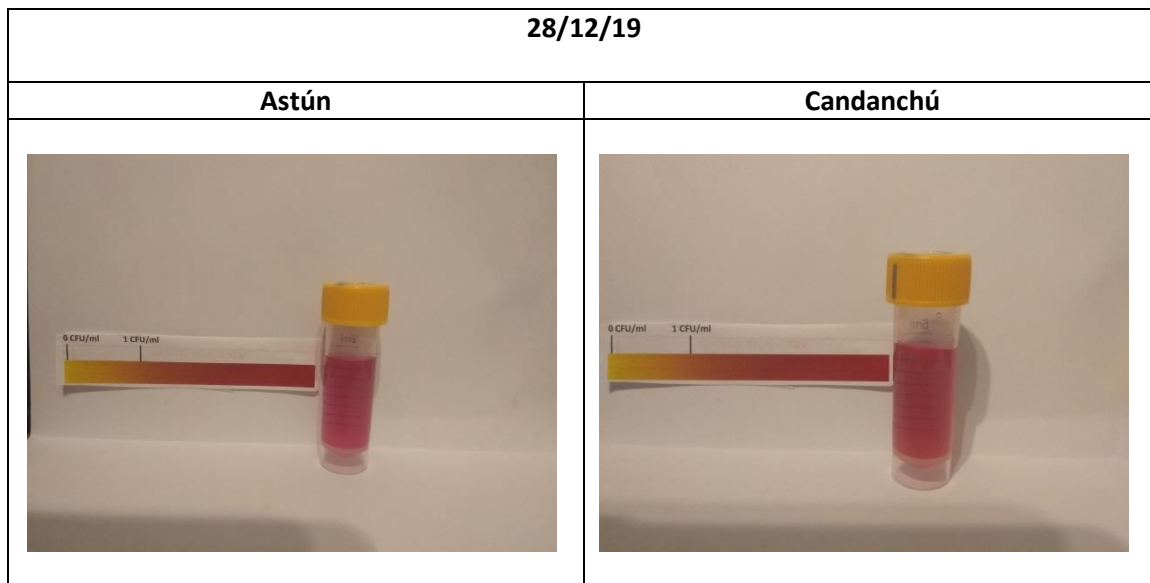
Astún



Candanchú

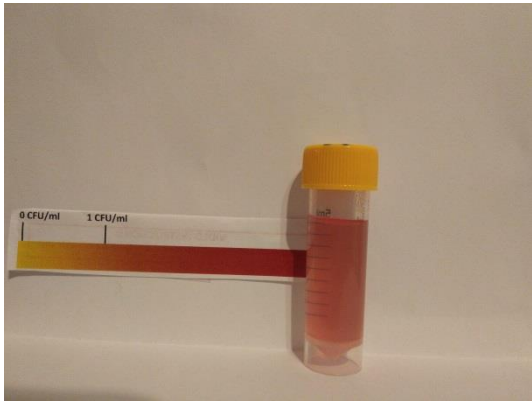


**Anexo II: Fotografías de los resultados de los viales para determinar la presencia de *E. coli*.**

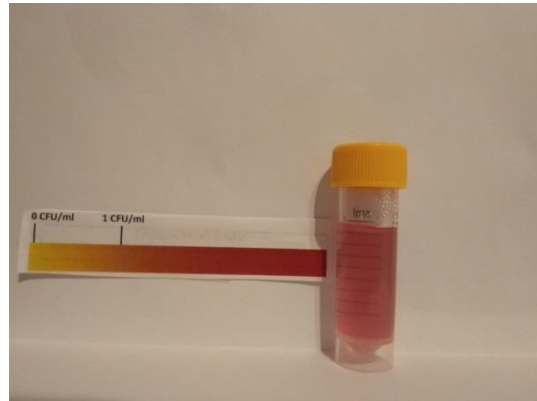


11/01/20

Astún

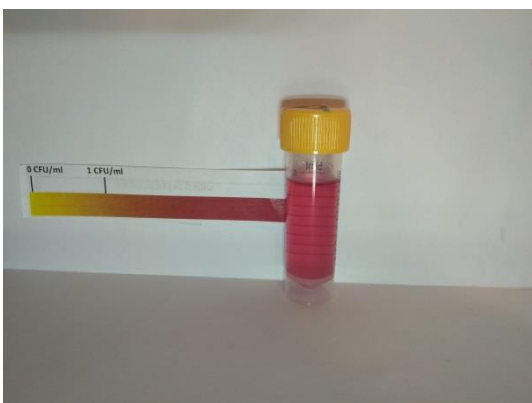


Candanchú



18/01/20

Astún



Candanchú

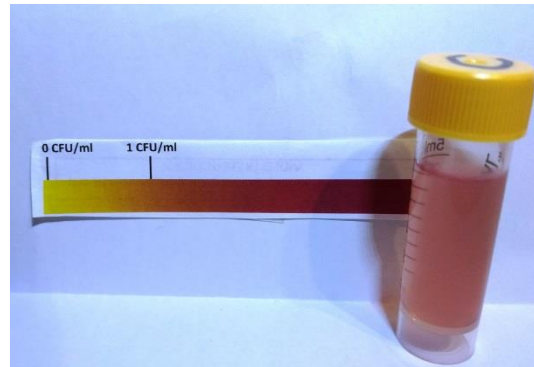


25/01/20

Astún

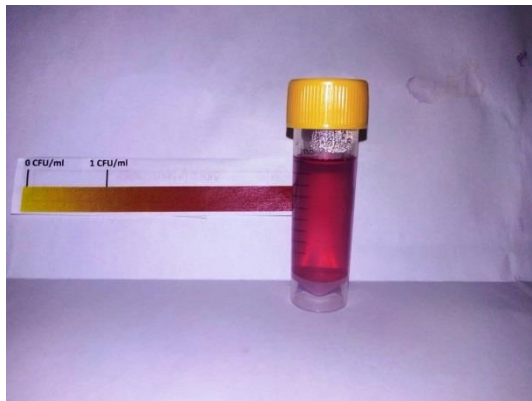


Candanchú

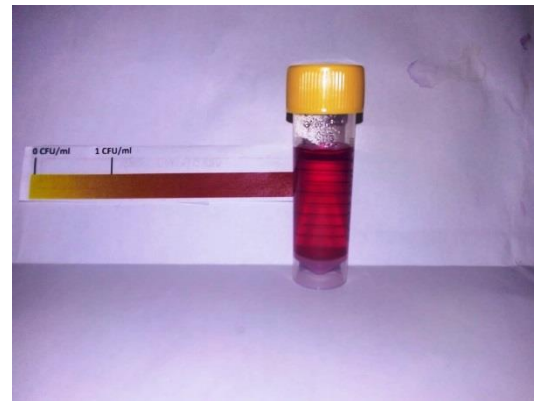


01/02/20

Astún

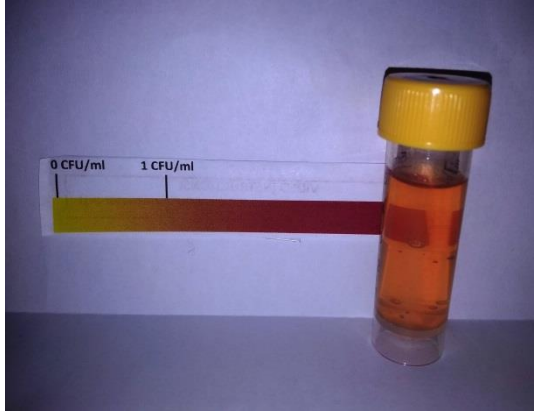


Candanchú

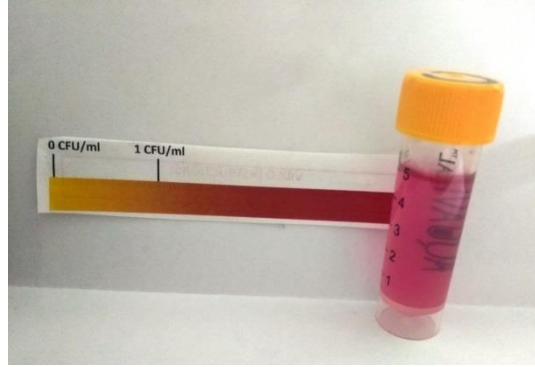


15/02/20

Astún

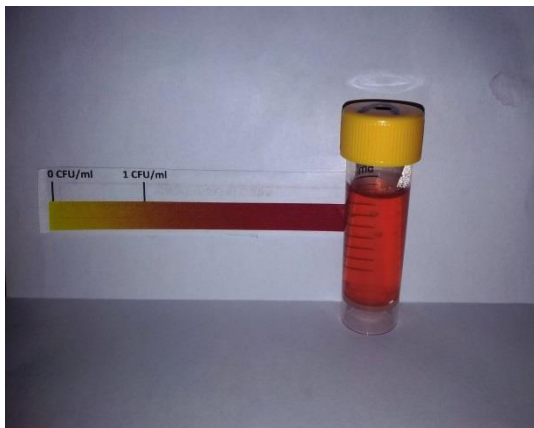


Candanchú

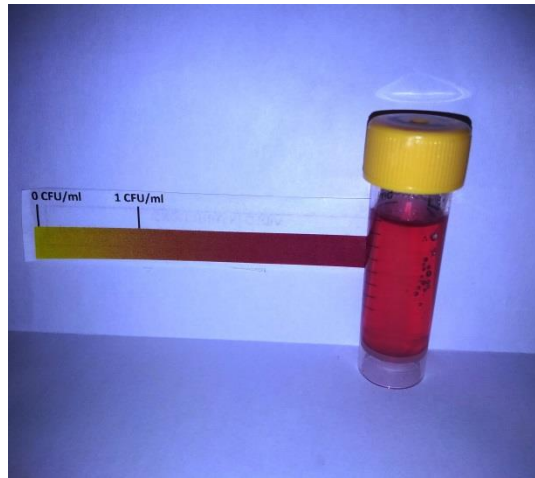


29/02/20

Astún

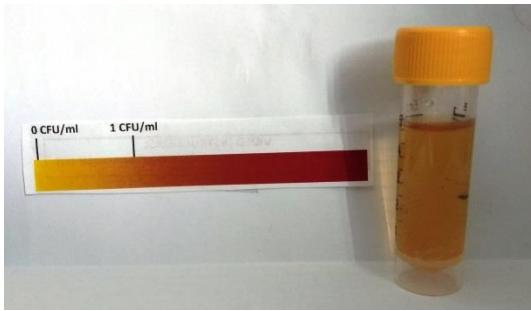


Candanchú

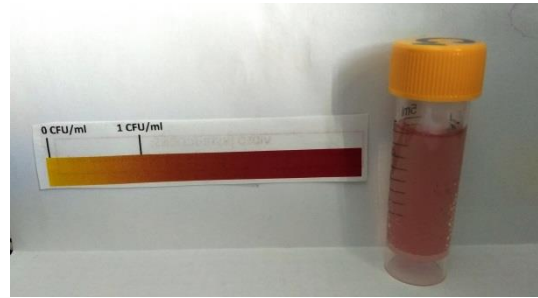


26/05/20

Astún



Candanchú



27/05/20

Astún



Candanchú



### Anexo III: Datos de parámetros fisicoquímicos en el Valle del Aragón.

- Resultados del Estudio de calidad ecológica del río Aragón desde su nacimiento en el Valle de Astún hasta Jaca (Val, 2002).

	Muestra	pH	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ )	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)
<b>Invierno</b>	Punto 1	7,8	61	<0,5	0,24
	Punto 2	7,5	163	69,3	0,34
	Punto 3	8,5	455	2,6	<0,005
	Punto 4	8,8	274	<0,5	<0,006
	Punto 5	9,5	421	<0,5	<0,007
	Punto 6	8,4	245	<0,5	<0,005
	Punto 7	8,1	261	0,5	0,08
	Punto 8	8,7	296	<0,5	0,08
	Punto 9	8,5	542	2,9	0,18
	Punto 10	8,6	324	<0,5	0,07
	Punto 11	8,6	301	1,4	0,03
<b>Primavera</b>	Punto 1	7,3	79	<0,5	<0,005
	Punto 2	8,2	125	<0,5	0,06
	Punto 3	8,1	217	<0,5	0,1
	Punto 4	7,7	260	<0,5	<0,005
	Punto 5	8,1	201	<0,5	<0,005
	Punto 6	8,2	346	<0,5	0,02
	Punto 7	8,1	334	<0,5	<0,005
	Punto 8	8,4	396	<0,5	<0,005
	Punto 9	8,4	408	<0,5	<0,005
	Punto 10	8,2	494	<0,5	0,01
	Punto 11	8,2	381	<0,5	<0,005

- Datos obtenidos del plan de seguimiento de la CHE para el punto del Ibón Truchas (CHE, 2020).

Fecha	pH	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ )	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)
25/09/2016	7,9	30	<5,4	<0,09
21/07/2016	7	27	<5,4	0,092
06/09/2010	7,4	-	0,035	-
20/08/2009	6,5	23	0,007	-
19/08/2007	8,5	<50	0,045	-
09/10/2004	7,8	34	0,030	0,001

- Datos obtenidos del plan de seguimiento de la CHE para el punto del Puente de Santa Cristina (CHE, 2020).

Fecha	pH	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ )	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)
10/10/2019	8,3	276	<1	<0,05
08/08/2019	8	309	<1	<0,05
26/06/2019	8,5	308	<1	<0,05
25/03/2019	8,1	156	<1	<0,05
11/12/2018	8,2	342	<1	<0,05
04/10/2018	8,3	285	<1	<0,05
27/06/2018	8,1	119	<1	<0,05
22/03/2018	8,1	501	<1	<0,05
19/12/2017	8,1	535	<1	<0,05
30/08/2017	8,3	261	1	0,06
26/06/2017	8,3	288	<1	<0,05
07/03/2017	8	188	<1	<0,05
19/12/2016	8,5	216	<1	<0,05
24/08/2016	8,1	262	1,7	<0,05
20/06/2016	8,3	153	<1	<0,05
28/03/2016	8,1	187	<1	<0,05
28/12/2015	8,4	196	<1	<0,05
06/08/2015	8,2	362	1,2	<0,05
29/06/2015	8,4	266	<1	<0,05
30/03/2015	8	167	<1	<0,05
04/12/2014	8,1	145	<1	<0,05
06/08/2014	8,5	287	<1	<0,05
11/06/2014	7,3	77	<1	<0,05
16/12/2013	8,4	606	0,7	<0,1
17/08/2009	8,54	195	0,19	0,12
02/06/2009	8,2	72	0,5	<0,1
16/03/2009	8,1	279	0,7	<0,1
06/08/2008	8,2	220	3	<0,1
04/08/2008	8,14	215	0,077	0,03
24/06/2008	8,1	98	0,5	<0,1
31/03/2008	8,2	270	0,7	<0,1
14/11/2007	8,3	168	0,8	<0,1
05/09/2007	8,9	215	0,5	<0,1
07/08/2007	8,24	223	2,91	0,05