

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA AGRONÒMICA I DEL MEDI
NATURAL



ESTUDIO DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DEL RIO VILLAHERMOSA

TRABAJO FIN DE GRADO

ALUMNO/A: CARLOS PALLARÉS RAMOS

TUTOR/A: Dr. SARA IBÁNEZ ASENSIO

Curso Académico: 2013/2014

VALENCIA, JUNIO 2014

Reserva de todos los derechos

RESUMEN

ESTUDIO DE CALIDAD DE LAS AGUAS DEL RÍO VILLAHERMOSA

El presente trabajo está basado en el análisis de la calidad del agua que circula por el río Villahermosa. Se ha realizado una campaña de muestreo en diferentes puntos del curso del río a lo largo de cuatro meses, seguida del análisis de las muestras en laboratorio. Para el examen de las muestras se han evaluado los parámetros físicos químicos que se detallan en el estudio.

La interpretación y el análisis de los resultados se acompaña con la cartografía elaborada: planos de localización, litología, cobertura vegetal y red hidrográfica de estudio.

PALABRAS CLAVE: río Villahermosa, estudio calidad, parámetros físico-químicos, cartografía.

AUTOR: Carlos Pallarés Ramos.

LOCALIDAD Y FECHA: VALENCIA, JUNIO 2014.

TUTOR: Dr. Sara Ibáñez Asensio.

RESUM

ESTUDI DE LA QUALITAT DE LES AIGÜES DEL RIU VILLAHERMOSA

El present treball està basat en l'anàlisi de la qualitat de l'aigua que circula pel riu Villahermosa. S'ha realitzat una campanya de mostreig en diferents punts del curs del riu al llarg de quatre mesos, seguida de l'anàlisi de les mostres al laboratori. Per a l'examen de les mostres s'han avaluat els paràmetres físic-químics que es detallen en l'estudi.

La interpretació i l'anàlisi dels resultats s'acompanya amb la cartografia elaborada: plànols de localització, litologia, cobertura vegetal i xarxa hidrogràfica d'estudi.

PARAULES CLAU: riu Villahermosa, estudi de qualitat, paràmetres físic-químics, cartografia.

AUTOR: Carlos Pallarés Ramos.

LOCALITAT I DATA: VALÈNCIA, JUNY 2014.

TUTOR: Dr. Sara Ibáñez Asensio.

ABSTRACT

STUDY OF WATER QUALITY FROM RIVER VILLAHERMOSA

This work is based on the analysis of the quality of water flowing through the river Villahermosa. A sampling campaign has been conducted at different points of the river during four months, which has been followed by the analysis of the samples in the laboratory. Physical and chemical parameters listed in the study were evaluated in order to examine the samples.

The interpretation and analysis of these results is accompanied by elaborated cartography: maps of location, lithology, vegetation cover and hydrographic network study.

KEY WORDS: river Villahermosa, quality, physical and chemical parameters, cartography.

AUTHOR: Carlos Pallarés Ramos.

PLACE AND DATE: VALENCIA, JUNE 2014.

TUTOR: Dr. Sara Ibáñez Asensio.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETO.....	1
1.2. LOCALIZACIÓN.....	1
1.3. ANTECEDENTES.....	1
2. OBJETIVOS	2
3. MATERIALES Y MÉTODOS:	3
3.1. DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL MEDIO:	3
3.1.1. Hidrología.....	3
3.1.2. Fisiografía.....	3
3.1.3. Geología.....	4
3.1.4. Edafología.....	4
3.1.5. Climatología.....	5
3.1.6. Vegetación.....	7
3.1.7. Fauna.....	8
3.2. CAMPAÑA DE MUESTREO	9
3.3. PUNTOS DE MUESTREO	10
3.4. MÉTODOS ANALÍTICOS	11
3.4.1. pH.....	11
3.4.2. Conductividad.....	12
3.4.3. Sodio y potasio. Método FLAAS.....	12
3.4.4. Calcio y magnesio. Dureza.....	12
3.4.5. Sulfatos.....	13
3.4.6. Carbonatos y bicarbonatos.....	13
3.4.7. Cloro.....	13
3.4.8. Clorofila.....	13
3.4.9. Sólidos totales, suspendidos, volátiles y fijos.....	14
3.4.10. Demanda química de oxígeno (DQO).....	15
3.4.11. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	16
3.5. PROGRAMAS INFORMÁTICOS UTILIZADOS.	16
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
4.1. pH.....	17
4.2. Conductividad eléctrica (CE).....	18
4.3. Sodio.....	19
4.4. Potasio.....	20
4.6. Magnesio.....	21
4.7. Sulfatos.....	22

4.8. Carbonatos.....	23
4.9. Bicarbonatos.....	23
4.10. Cloro.	24
4.11. Clorofila.	25
4.12. Sólidos suspendidos totales.....	25
4.13. DQO.	26
4.14. DBO.....	26
4.15. SAR: Relación de Adsorción de Sodio.....	26
4.16. Clasificación de las aguas.....	27
5. CONCLUSIONES:	31
6. BIBLIOGRAFÍA:	32

ANEXOS

ANEXO 1: CARTOGRAFÍA.

ANEXO 2: RESULTADOS.

ANEXO 3: FICHAS MUESTREO.

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS.

Figura 1: Diagrama climático.....	6
Figura 2: Gráfico bioclimático.....	6
Figura 3: Cuadro de datos climáticos.....	6
Figura 4: Localización de los puntos de muestreo.....	10
Figura 5: Variación temporal del pH.....	17
Figura 6: Variación temporal de la CE.....	18
Figura 7: Variación temporal del Sodio.....	19
Figura 8: Relación Ca^{2+}/SO_4^{2-}	21
Figura 9: Variación temporal del Magnesio.....	22
Figura 10: Variación temporal del Sulfato.....	23
Figura 11: Diagrama radial.....	27
Figura 12: Diagrama de balance de iones.....	28
Figura 13: Variación temporal de Bicarbonatos.....	24
Figura 14: Variación temporal del Cloro.....	25
Figura 15: Clase calidad agua riego.....	30
Tabla 1: Fechas de cada uno de los muestreos realizados.....	9
Tabla 2: Coordenadas UTM (m) de los puntos de muestreo.....	10
Tabla 3: Metodología analíticas de aguas.....	11
Tabla 4: Regresión Ca^{+2}/SO_4^{-2}	20
Tabla 5: Resultados DBO.....	26
Tabla 6: Clasificación salinidad.....	29
Tabla 7: Clasificación sodicidad.....	29

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETO

El objeto del presente trabajo es analizar e interpretar los parámetros físico-químicos que determinan la calidad del agua del río Villahermosa con el fin de establecer el potencial de uso de la misma.

1.2. LOCALIZACIÓN

El río Villahermosa es el principal afluente del Mijares por su margen izquierdo y constituye el eje natural de poblamiento de una pequeña subcomarca del Alto Mijares. Nace en la sierra de Gúdar en la provincia de Teruel, a 1900 m.s.n.m y durante su recorrido de 57 km pasa por los municipios de Linares de Mora, Villahermosa del Río y Argelita hasta desembocar en el río Mijares a la altura del municipio de Fanzara.

1.3. ANTECEDENTES

Tradicionalmente el agua del río Villahermosa ha sido considerada de gran calidad, debido a la pureza de sus aguas en el nacimiento del río, a los pies de la Sierra de Gúdar (Teruel). Sumado a esto destaca la presencia de trucha común en gran parte del recorrido del río, siendo el papel de las aguas el factor más importante para la presencia y desarrollo de esta especie.

Sin embargo, los estudios de la calidad del agua de este río son escasos. A excepción de las analíticas realizadas por la Confederación Hidrográfica del Júcar hasta el año 2011 (CHJ. 2013), no existe ningún estudio actual que permita conocer el estado de las aguas.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo es determinar la calidad del agua de un sector de 37 km del río Villahermosa con el fin de fijar su estado actual y las posibilidades de uso de la misma.

Los objetivos secundarios son:

- ✓ Determinar la calidad físico-química de las aguas del río Villahermosa.
- ✓ Controlar y analizar la variación espacial de la calidad de las aguas.
- ✓ Estudiar la variación temporal del estado de las aguas del río Villahermosa.

3. MATERIALES Y MÉTODOS:

3.1. DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL MEDIO:

3.1.1. Hidrología.

El río Villahermosa está situado en la cuenca del río Mijares, localizado a su vez en la demarcación del río Júcar. Constituye parte del sistema Mijares-Plana de Castellón. La longitud del sector analizado es de 37 km.

Es el principal afluentes por la margen izquierda del Mijares y nace en las montañas de Teruel cerca de la divisoria de aguas con el Turia. Su red hidrográfica es de cuarto orden según la clasificación de Strahler. Es consecuente con el relieve y, especialmente en su curso alto y medio, ha construido varios meandros, algunos de los cuales se han encajado profundamente. Desde el Castillo de Villamalefa hasta Vallat puede englobarse su curso en los tramos medio y bajo de su cuenca, con claro límite en la hoz de la Muela, entre Ludiente y Argelita, que constituye el paso más estrecho del río (50-100m). El valle se ensancha brevemente en los terrenos triásicos de Ludiente y Argelita, antes de inflexionar 90° su rumbo en las Peñas Negras (coto de pesca). Posteriormente, recupera el sur y se funde con el Mijares en las proximidades de Vallat.

Su principal afluente es el barranco de Santa Ana, por el margen derecho. Antes le afluyen los barrancos de la Nao, Monrencet, Centenar y Vereda, todos ellos de aguas torrenciales y esporádicas. La red es disimétrica, ya que por la izquierda solo se fusiona con el Villahermosa el barranco Hondo, en la misma hoz de la Muela. Al sur de Ludiente la red hidrográfica la capta principalmente el Mijares.

Afluentes por su derecha: arroyo de la Umbría, arroyo de la Fuente del Panal, arroyo del Mas de la Morera, arroyo del Regajo, arroyo Bueno y Bco. de S. Bartolomé o S^a Ana.

Afluentes por su izquierda: barranco del Hostalejo, barranco del Agua, barranco del la Carrasca, Río Carbó, rambla Podrida, barranco Juanela, barranco de la Hoz, barranco de San Vicente, arroyo de la fuente de Villar, arroyo Biviox y barranco Villamalefa.

En el apartado de anexos se incluyen los planos de la cuenca hidrográfica e hidrología de la zona de estudio.

3.1.2. Fisiografía

El relieve de la cuenca del río Villahermosa queda representando en un paisaje agreste de espolones y crestas, que no ha favorecido la instalación humana. De los 900 m.s.n.m. del Castillo de Villamalefa a los 300 m.s.n.m. de Vallat, el río Villahermosa desciende por valles estrechos fruto de la erosión causada sobre las laderas a lo largo de los siglos.

El relieve es muy abrupto y en la cuenca alta se elevan cornisas calcáreas inclinadas por el empuje diapírico y, a su pie, el río se encaja profundamente dejando espolones y numerosas oquedades y simas suspendidas. El valle se ensancha en el tramo central y ocasionalmente aparecen acaravamientos por erosión hídrica en las

margas y arcillas. Para alcanzar su objetivo final, el Villahermosa efectúa un máximo esfuerzo erosivo en la hoz de la Muela, diseccionada por un cañón de paredes semiverticales próximas a los 600 m. El valle se ensancha en Argelita, con suaves vertientes y 300 m de canal máximo de avenida con menos de 5% de pendiente.

Por último, en líneas generales, se pueden individualizar dos unidades geomorfológicas con bisectriz en el río (SANFELIU, 1985). En la margen izquierda dominan las formas subtabulares y el relieve pesado, aunque no se vea exento de los empujes diapíricos. En la orilla derecha, la dirección ibérica se hace más patente y se distingue la alineación más clara de la cuenca en la Sierra del Cabezo.

3.1.3. Geología

Los terrenos cretácicos, con arenas, margas y arcillas, cubren la mayor parte del territorio, en los que se encaja el río ensanchando su valle al alcanzar el Triásico (SANFELIU, 1985), formando un enclave de dolomías en los alrededores de Ludiente y Argelita (M.G.N., 1:50000, Alcora). El Jurásico se desarrolla a la altura de Argelita, extendiéndose en el interfluvio de los ríos Villahermosa y Lluca, donde corta sus calizas el Salto del Caballo. Las suaves laderas jurásicas, al NE de Argelita, constituyen uno de los pocos terrenos de labor de la zona.

Los conglomerados del Oligoceno se pueden encontrar en el *barranco de la Huertica*. Finalmente, las zonas cuaternarias de arcillas, arenas y gravas ocupan una parte mínima en el valle bajo del Villahermosa y en las inmediaciones del cauce, en Argelita y Vallat.

3.1.4. Edafología

Distinguimos cuatro tipos de suelos:

El suelo calizo forestal es el de mayor extensión en la zona. El sustento de las principales masas boscosas es el suelo calizo forestal, con dos zonas en las laderas de Penyagolosa y al este del núcleo de Ludiente. Es un suelo sin lavado de carbonatos y con un horizonte de *mull* forestal muy desarrollado. Posee un perfil A/C y su capacidad de uso es baja, con acusadas limitaciones en la zona radicular.

El suelo pardo calizo sobre material consolidado se desarrolla en tres franjas al norte, centro y sur de la cuenca y próximas al cauce. En las alturas mayores está asociado a litosuelos y su horizonte húmico es prácticamente inexistente. Al igual que el anterior tipo de suelo tiene una capacidad de uso muy baja a lo que se une los mismos problemas radiculares.

El tercer tipo es el suelo pardo calizo sobre material no consolidado con perfil A/(B)/C. Ocupa el sector central de la cuenca y aunque su horizonte de humus está poco desarrollado y tiene serios problemas de erosión, es el que mayor capacidad de uso alcanza y por tanto el más cultivado.

Por último, aunque su extensión superficial es mínima, destaca por su valor agrícola el suelo aluvial de las huertas inmediatas al río. Es un suelo altamente antropizado, lavado por el riego y de textura y horizontes artificiales por el añadido de abonos inorgánicos para aumentar su fertilidad.

3.1.5. Climatología

De los 900 m.s.n.m. del Castillo de Villamalefa a los 300 m.s.n.m. de Vallat, la más palpable de las transiciones geográficas es la climática, la cual, aún conservándose las características generales del clima mediterráneo en ambos casos, viene dada por la influencia marítima en las tierras bajas abiertas por el valle del Mijares y la atemperación climática de la montaña.

La situación geográfica de la cuenca del Villahermosa en un cantil montañoso a 60 km de la costa, la inscribe en el área de influencia del Mediterráneo, factor clave en la climatología regional (QUEREDA, 1985). El único matiz diferenciador del clima local es de tipo térmico y lo introducen las diferencias de altitud. En la cabecera del río se superan los tres mil metros, mientras que las cotas del nivel de base se sitúan en los trescientos metros. De esta forma, se reduce la temperatura media anual en torno a los 3°C en las partes altas, siendo un tanto más acusada en invierno.

Sin embargo, estas diferencias no son tan perceptibles en las lluvias, cuyos valores anuales son muy semejantes tanto en la parte alta como en la baja del río.

Con los criterios matemáticos de Köpen, el clima de la cuenca es Csa, es decir, templado con verano seco y cálido. La diferencia más notable entre las tierras altas y la zona basal, además de las apuntadas, es la continentalidad.

La aridez y la ausencia de cobertura vegetal es un problema cada vez más importante. En relación con la altura y coincidiendo con el mapa vegetal, los índices de Thornhwaite se traducen en un clima húmedo en las altas laderas meridionales del macizo de Penyagolosa, por encima de 1300 m. Y boscosas en su mayor parte. El nivel subhúmedo se alcanza alrededor de los 1000 m. Entre esta cota y los 500 m, el 80% del territorio estudiado, el matiz climático es seco subhúmedo y por debajo de la isohipsa de 500 m, domina el clima semiárido propio de las tierras bajas.

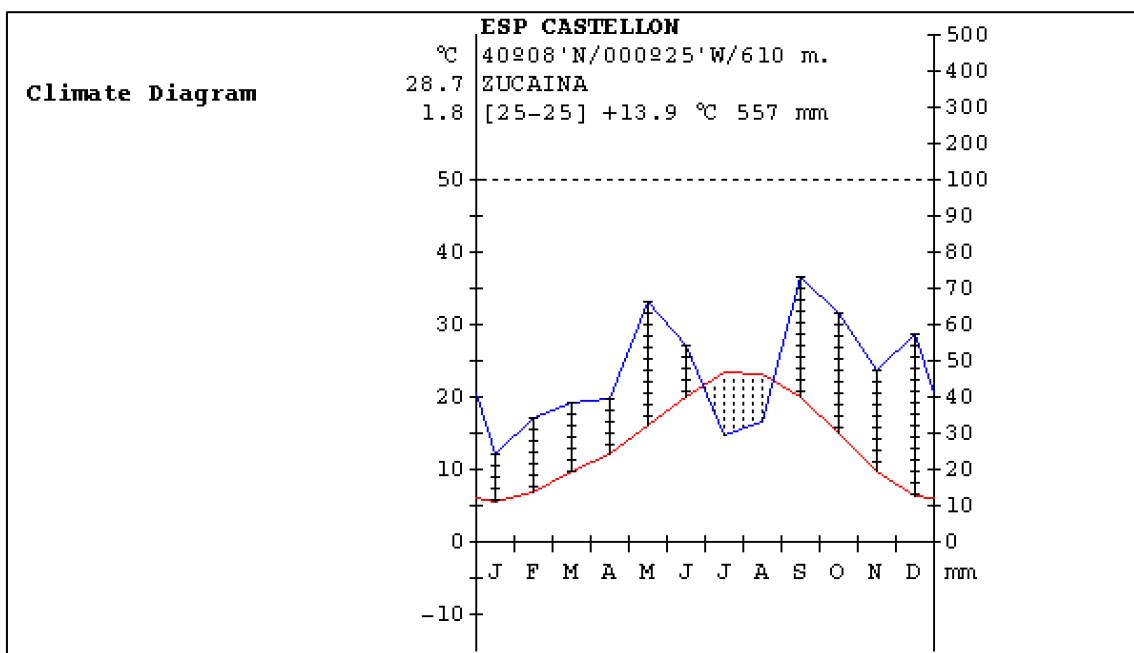


Figura 1: Diagrama climático. Fuente: Sistema de Clasificación Bioclimática Mundial. Centro de Investigaciones Fitosociológicas.

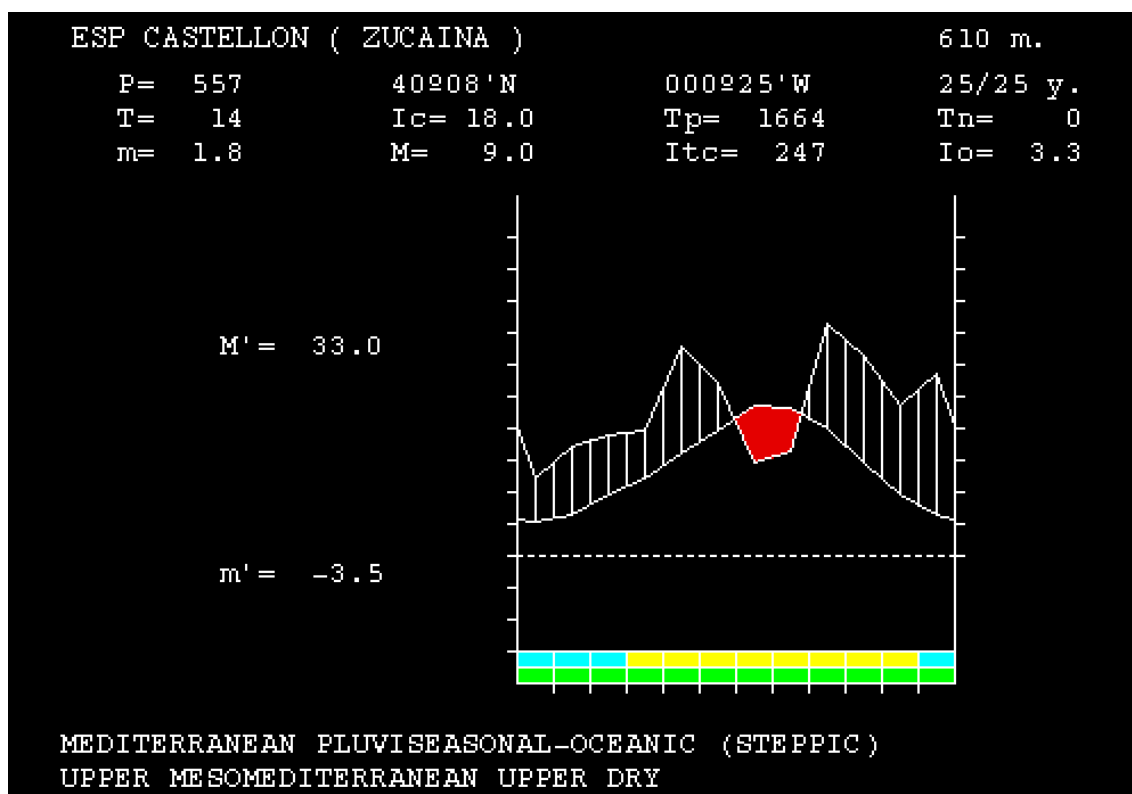


Figura 2: Gráfico bioclimático. Fuente: Sistema de Clasificación Bioclimática Mundial. Centro de Investigaciones Fitosociológicas. T(°C), P(mm).

ESP CASTELLON (ZUCAINA) Altitude: 610 m.

Latitude: 40°08'N Longitude: 000°25'W
Temperature observation period.: 1943-1967(25)
Rainfall observation period....: 1943-1967(25)

(C°/mm)	Ti	Mi	mi	M'i	m'i	Pi	PEi
Jan	5.4	9.0	1.8	15.5	-3.5	24.0	11.3
Feb	6.6	10.9	2.4	17.0	-3.0	34.0	15.0
Mar	9.5	14.3	4.7	20.9	-0.8	38.0	31.5
Apr	12.1	17.1	7.1	22.7	2.4	39.0	48.1
May	15.9	21.0	10.8	26.8	5.8	66.0	79.9
Jun	19.8	24.8	14.8	30.2	9.6	54.0	110.6
Jul	23.4	28.7	18.2	33.0	13.9	29.0	143.2
Aug	23.1	28.3	17.9	32.9	13.6	33.0	130.6
Sep	20.0	24.9	15.2	29.8	10.4	73.0	93.4
Oct	14.8	19.2	10.4	24.8	4.8	63.0	55.7
Nov	9.5	13.6	5.5	18.9	0.8	47.0	25.4
Dec	6.3	9.8	2.8	14.9	-1.9	57.0	13.7
Year	13.9	18.5	9.3	24.0	4.3	557.0	758.3

Figura 3: Cuadro de datos climáticos. Fuente: Sistema de Clasificación Bioclimática Mundial. Centro de Investigaciones Fitosociológicas.

3.1.6. Vegetación

La asociación climática de bosque de encinas está muy degradada ya retrocedido a los lugares de más difícil acceso. Aunque la presión humana no ha sido tan fuerte como en los relieves tabulares del Maestrazgo, sí que ha existido un aprovechamiento del bosque y la garriga que, junto a los recientes incendios de las últimas décadas, ha deteriorado enormemente el tapiz vegetal arbóreo e incluso arbustivo.

Las principales masa forestales de pinos se enclavan en las faldas de Penyagolosa y en las partes elevadas de la cuenca. El pino carrasco (*Pinus halepensis*) es el más común y en altura se combina con el albar (*Pinus sylvestris*). Encontramos de forma aislada algunos ejemplares de carrasca (*Quercus ilex sub. Rotundifolia*).

La garriga arbustiva de densidad media constituye el paisaje vegetal más extendido. La aliaga común (*Genista scorpius*), junto a la coscoja (*Quercus coccifera*), son las especies más numerosas, antiguamente explotadas como combustibles. El romero (*Rosmarinus officinalis*) es la principal especie del estrato arbóreo. Más aislada y en zonas altas y húmedas se encuentra la sabina (*Juniperus sabina*). En los anexos se incluye un mapa de vegetación elaborado en el que se observa con claridad el tipo de vegetación presente en la cuenca hidrográfica y el recorrido del río Villahermosa.

La vegetación de ribera se incluye en la clase *Querco-Fagetea* y dentro de ellas las saucedas, choperas, olmedas y fresnedas se encuentran en el orden *Populetalia albae* (Costa, 1999).

Las saucedas presentes en el río Villahermosa se clasifican dentro de la alianza *Salicion triandrae-neotrichae* (Roselló, 1994), encontrando *Salix atrocinerea* y *Salix eleagnos* a lo largo del curso del río.

Conforme nos alejamos del cauce, encontramos las choperas incluidas en la alianza *Populion albae* (Roselló, 1994) de *Populus nigra*, aunque también se puede encontrar *Populus alba* en zonas más termófilas. Es frecuente encontrar paralela a la línea de chopos, el olmo (*Ulmus minor*) acompañados por el almez (*Celtis australis*), nogal (*Juglans regia*) e higuera (*Ficus carica*).

La etapa de sustitución de las formaciones anteriores la constituye la clase *Rhamno-Prunetea* (Roselló, 1994) en donde aparecen especies como zarzas (*Rubus ulmifolium*), hiedras (*Hedera helix*), rubias (*Rubia peregrina*), madre selvas (*Lonicera etrusca* y *L. implexa*), majuelos (*Crataegus monogyna*), rosas (*Rosa ssp.*), aladierno (*Rhamnus alaternus*) y cornizos (*Cornus sanguinea*).

Por último podemos encontrar vegetación acuática sumergida en su totalidad o parte de sus estructuras en el cauce del río. Pertenecen a la clase *Potamogetonetea pectinati* (Roselló, 1994) con especies como *Potamogeton nodosus*.

3.1.7. Fauna

Entre la fauna asociada al riquísimo ecosistema del Penyagolosa destaca la ornitofauna de grandes rapaces diurnas y nocturnas, como el águila real (*Aquila chrysaetos*), el águila perdicera (*Hieraetus fasciatus*) y el búho real (*Bubo bubo*).

También es relevante la presencia del piquituerto (*Loxia curvirostra*), el pico picapinos (*Dendrocopos major*) y de la chova piquirroja (*Pyrrhocorax pyrrhocorax*). Entre los mamíferos es importante la presencia del gato montés (*Felis silvestris*), la cabra montés (*Capra pyrenaica*), gineta (*Genetta genetta*), el tejón (*Meles meles*) y el jabaí (*Sus scrofa*).

De entre la fauna invertebrada sobresalen las mariposas isabelina (*Graellsia isabellae*) y apolo (*Parnassius apollo*).

Entre la fauna acuática destaca la presencia de poblaciones estables de trucha común (*Salmo trutta L.*), cacho levantino (*Squalius valentinus*, *Doadrio & Carmona*), barbo mediterráneo (*Luciobarbus guiraonis*, *Steind.*) y barbo colirojo (*Barbus haasi*, *Mertens*).

3.2. CAMPAÑA DE MUESTREO

Se llevo a cabo de esta manera una campaña de muestreo basada en un método científico de recolección de muestras y análisis de datos, con el fin de garantizar la utilidad de los datos y realizar un correcto trabajo de análisis e interpretación de datos.

Uno de los objetivos del presente trabajo es evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río Villahermosa. Partiendo de esta premisa, se fijó un calendario de muestreos, entre los meses de enero y abril.

Durante estos cuatro meses se realizaron un total de cuatro muestreos en los 6 puntos, seguidos del posterior análisis de las muestras en laboratorio.

Tabla 1: Fechas de cada uno de los muestreos realizados.

MUESTREO	1	2	3	4
FECHA	11 -Ener-2014	15-Febrer-2014	9-Marzo-2014	5-Abril-2014

Se han realizado un total de 4 muestreos durante toda la campaña, siendo el total de puntos muestreados de 6. El total de muestras analizadas asciende a 24.

3.4. MÉTODOS ANALÍTICOS

Los resultados se basan en 24 análisis repartidos en 4 meses. Se decidió realizar el análisis de los mayoritarios aniones y cationes entre otros. Cabe destacar también los análisis de DBO y DQO. Estos dos últimos parámetros no se han analizado en todas las muestras debido a las limitaciones de tiempo y material requerido.

El tipo de recipiente utilizado fueron frascos de polietileno con tapón roscado con una capacidad de 250ml, llenados completamente sin espacios de aire, para que la muestra no se altere durante el transporte, según la norma (UNE-EN ISO 5667-3) de conservación y manipulación de las muestras, así como la norma (UNE-EN ISO 5667-1) de diseño de campañas de muestreo. Se utilizaron tanto frascos transparentes como opacos, estos últimos contenían las muestras destinadas al análisis de los niveles de clorofila.

En la siguiente tabla se resumen los parámetros analizados:

Tabla 3: Metodología analíticas de aguas.

Parámetro	Técnica	Referencia al método	Unidades habituales
pH	Electrometría	SM 4500 - H ⁺ B	Ud. pH
Conductividad eléctrica	Electrometría	SM 2510 B	dS/m
Sodio	Fotometría de llama	SM 3500 - KB	meq/l
Potasio	Fotometría de llama	SM 3500 NAB	meq/l
Bicarbonatos	Titulación (HCl)	SM 2320 - B	meq/l
Carbonatos	Titulación (HCl)	SM 2320 - B	meq/l
Calcio	Titulación (EDTA)	SM 3500 - Ca B	meq/l
Cloruros	Titulación (AgNO ₃)	SM 4500 - Cl B	meq/l
Magnesio	Titulación (EDTA)	SM 3500 -Mg B	meq/l
Sulfato	Turbidimetría (BaCl ₂)	SM 4500 - S ₀₄ ⁻² E	meq/l
Clorofila	Electrometría	SM 10200 H	mg/m ³
DQO	Colorimetría	SM 5220 C	ppm
DBO	Digestión	SM 5210	ppm
Sólidos totales	Filtración	SM 2540 - B	mg/l

3.4.1. pH.

Para la determinación del pH se utiliza el pH-metro "MicropH 2000" de la marca comercial *Crison*, internamente controlado por un microprocesador, que asegura y simplifica la calibración del instrumento. El electrodo utilizado es pH 5202 de la marca comercial *Crison*. Para la calibración del mismo se utilizan patrones comerciales de la misma marca, a pH 4.01 Y 7.02. El sensor utilizado es del tipo High Quality Sensor.

El método consiste en la determinación de la actividad de iones hidrógeno por medidas potenciométricas usando un electrodo estándar de hidrógeno con un electrodo de referencia.

3.4.2. Conductividad.

Para la determinación de la conductividad se utiliza el conductímetro "Conductimer 522" de la marca comercial *Crison*. Como patrón de conductividad se utiliza un reactivo de la misma marca con un valor de 1413uS/cm a 25°C.

Este método consiste en la medida directa de la conductividad utilizando una celda de conductividad previamente estandarizada con una solución de KCL. Se aconseja realizar el análisis en las 24 horas siguientes de la recolección de la muestra. En caso de no ser así, es posible preservarla a 4°C hasta 28 días.

3.4.3. Sodio y potasio. Método FLAAS.

Para la determinación del sodio y potasio utilizamos el espectrofotómetro de llama modelo *Sherwood Photometer 410*.

Cuando una muestra de agua se dispersa en pequeñas gotitas, pulverizándose sobre la llama de un mechero quemador, los átomos o radicales producidos en el proceso de disociación son excitados por medio de la energía térmica de la llama pasando a niveles superiores de energía. El retorno al estado fundamental es inmediato y va acompañado de la emisión de radiación de frecuencia característica del elemento a determinar y cuya intensidad es función de su concentración. Las medidas de la radiación se realizan a 86 nm para la lectura del sodio y a 765 nm para la lectura del potasio.

3.4.4. Calcio y magnesio. Dureza.

Para la determinación del calcio utilizamos el método complexométrico. Esta determinación está basada en la capacidad de los iones calcio de formar un complejo tipo quelato con la sal disódica del ácido etilendiaminotetracético (EDTA), en un medio tamponado a pH 12 para que los iones Mg^{2+} , precipiten en forma de hidróxido y no intervengan en la reacción.

El indicador utilizado en la reacción es la murexida, la cual forma con el calcio un complejo de color rosa. El punto final de la valoración viene indicado por el cambio de color rosa a malva.

Para la determinación de la dureza utilizamos el mismo método. La dureza de un agua se define como la concentración de carbonato calcio que es químicamente equivalente a la concentración de cationes multivalentes (principalmente calcio y magnesio) del agua. Su determinación se basa en la capacidad de los iones de calcio y magnesio de formar un complejo tipo quelato con la sal disódica del ácido etilendiaminotetracético (EDTA), en una solución acuosa a pH 10.

El indicador utilizado en la valoración es el negro de eriocromo T, el cual forma con el magnesio un complejo de color rojo vino. Durante la valoración (EDTA) reacciona primero con los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} libres y posteriormente con el Mg^{2+} completado con el indicador. El punto final de la valoración viene indicado por el cambio de color de rojo vino a azul.

3.4.5. Sulfatos.

Para la determinación del sulfato se sigue el método turbidimétrico. Los iones sulfato de una muestra de agua son precipitados en un medio con ácido clorhídrico como sulfato de bario $BaSO_4$ por adición de una disolución de cloruro de bario.

El precipitado así obtenido, se estabiliza por medio de una solución de polivinilpirrolidona. En la suspensión homogénea de $BaSO_4$ se mide la turbidez mediante un espectrofotómetro.

3.4.6. Carbonatos y bicarbonatos.

Los carbonatos y bicarbonatos de una muestra de agua se determinan por neutralización de un cierto volumen de agua con un ácido mineral patrón, en presencia de indicadores ácido-base. El indicador utilizado para valorar los carbonatos es la fenolftaleína (pH 8.3), el punto final de la valoración viene indicado por el cambio de color de la disolución de rosa a incoloro.

El indicador utilizado para valorar el bicarbonato es el naranja de metilo (pH 4.3), el punto final de la valoración viene indicado por el cambio de color de la disolución de amarillo a naranja.

3.4.7. Cloro.

Para la determinación del cloruro se utiliza el "Método de Mohr", basado en el siguiente fundamento: los iones de cloruro de una muestra de agua neutra o ligeramente alcalina, se determinan precipitándolos como cloruro de plata (AgCl), con una solución valorada de nitrato de plata.

El indicador utilizado en esta volumetría de precipitación es el cromato potásico. Una vez precipitado todo el cloruro, el ión cromato, de color amarillo, reacciona con la plata formando un segundo precipitado de cromato de plata Ag_2CrO_4 de color rojo, que indica el punto final de la valoración.

3.4.8. Clorofila.

La concentración de los pigmentos fotosintéticos se utiliza ampliamente para calcular la biomasa del fitoplancton. El desarrollo de éste depende en gran medida del contenido de nutrientes disueltos en el agua. La clorofila "a" es el pigmento que

poseen los vegetales. Así pues, la clorofila "a" presente en el agua es un buen indicador del grado de eutrofización existente en un ecosistema acuático.

El método utilizado para calcular la cantidad de clorofila presente en las muestras de agua, está basado en la utilización de acetona como sustancia fijadora de la clorofila. Después de someter las muestras a un proceso de centrifugación y refrigeración se realiza una lectura a 750 nm en el espectrofotómetro, que permite calcular los niveles de clorofila de la muestra.

3.4.9. Sólidos totales, suspendidos, volátiles y fijos.

- Los sólidos totales son los residuos resultantes luego de la evaporación y secado de la muestra en una estufa a 103-105°C. Los sólidos totales incluyen volátiles y fijos.
- Los sólidos fijos son los residuos resultantes luego de calcinar la muestra a 550±50 °C.
- Los sólidos volátiles corresponden a los compuestos perdidos durante la calcinación a 550±50 °C. Se determinan por diferencia de peso entre sólidos totales y fijos.

Equipos y materiales:

- Filtros de fibra de vidrio: Whatman 934 AH o Gelman A/E o Milipore AP 40. Preferentemente de 4,7 cm de diámetro.
- Equipo de filtración por vacío: embudo de membrana filtrante, preferentemente de 4,7 cm de diámetro, frasco de succión de suficiente capacidad para la muestra, trampa de agua, bomba de vacío.
- Estufa para operar a 103-105°C.
- Mufla para operar a 550 ± 50°C.
- Balanza analítica de precisión 0.1 mg.
- Cápsulas de porcelana.
- Probetas

Procedimiento:

1. Preparación del papel de filtro:
Colocar el filtro en el embudo de filtración. Aplicar vacío y enjuagar con tres porciones de 20 mL de agua destilada. Continuar la succión hasta eliminar totalmente el agua. Secar en estufa 103-105°C por 1 hora en un soporte de porcelana o similar. Si se va a determinar volátiles muflar por 15 min. a 550 °C, enfriar en desecador y pesar. Repetir el ciclo de muflado, enfriado y pesado hasta peso constante.
2. Tomar un volumen de muestra homogeneizada que de un residuo seco entre 2.5 y 200 mg. Verter el volumen medido en el embudo de filtración. Comenzar la succión. Lavar 3 veces sucesivas con 10 mL de agua destilada cada vez, permitiendo un completo drenaje en los lavados. Continuar la succión por 3 minutos hasta que la filtración sea completa.

3. Remover el filtro y colocarlo sobre un soporte de porcelana. Secar por 1 hora a 103-105°C en estufa, enfriar en desecador hasta temperatura ambiente y pesar. Repetir el ciclo de secado, enfriado, y pesado hasta peso constante o hasta que la pérdida de peso sea menor que el 4% del peso previo o 0.5 mg.
4. Colocar el filtro anterior en la mufla a 550 ± 50°C durante 1 hora. Enfriar en desecador y pesar. Repetir la secuencia hasta obtener peso constante o hasta que la pérdida de peso sea menor que el 4% del peso previo o 0.5 mg.

Cálculos y expresión de resultados:

$$ST, \text{ mg/L} = (P_2 - P_1) \times 1000 / V$$

$$STF, \text{ mg/L} = (P_3 - P_1) \times 1000 / V$$

$$STV, \text{ mg/L} = ST - STF$$

Donde:

ST= sólidos totales en mg/L

STF= sólidos totales fijos en mg/L

STV= sólidos totales volátiles en mg/l

P1= peso de la cápsula preparada en mg.

P2= peso de la cápsula más el residuo seco a 103-105°C en mg.

P3= peso de la cápsula más el residuo seco a 550°C en mg.

V= volumen de muestra tomada en mL.

3.4.10. Demanda química de oxígeno (DQO).

Mediante el Método Fotométrico 577-580nm para 10-2000mg/l O₂. Se utiliza un Kit Dinko DQO de 25 tubos estandarizados de 16mm de diámetro para digerir la muestra. En dicha digestión se utiliza un digestor modelo Dinko D-65. En el método DQO de Dinko, la muestra de agua es oxidada por digestión en un tubo de reacción cerrado con ácido sulfúrico y dicromato potásico en presencia de un catalizador de sulfato de plata.

El dicromato reducido es proporcional a la demanda química de oxígeno (DQO). A lo largo del rango del Kit se producen una serie de colores desde amarillo,

pasando por el verde hasta el azul. El color indica la DQO y se mide en un espectrofotómetro.

3.4.11. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Procedimiento experimental que mide el oxígeno requerido por los organismos en sus procesos metabólicos al consumir la materia orgánica presente en una muestra de agua. Las condiciones estándar del ensayo incluyen incubación en la oscuridad a 20°C por un tiempo determinado, generalmente cinco días.

METODOLOGÍA

1. Preparación de la solución que se añadirá junto con la muestra de agua al OxiTop.
2. Se introduce un volumen definido de la muestra en un recipiente opaco que evite que la luz pueda introducirse en su interior (se eliminarán de esta forma las posibles reacciones fotosintéticas generadoras de gases). Estos recipientes reciben el nombre de OxiTop, marca que los comercializa.
3. Se introduce un agitador magnético en su interior, y se tapa la boca de la botella con un capuchón de goma en el que se introducen algunas lentejas de sosa. Se cierra la botella con un sensor piezoeléctrico, y se introduce en una incubadora a 20 °C durante 5 días. Dicha incubadora tiene la opción de acoplar un sistema de agitación lo que permite el funcionamiento continuo de agitación sin riesgos de interrupción.
4. Los cambios de presión que se producirán a lo largo de los días en el interior de la botella son controlados por un microprocesador interno que traduce los valores de presión a valores de DBO. Dicho sensor almacena 5 medidas a intervalos de 24 horas permitiendo realizar mediciones no los fines de semana. Es posible además hacer una lectura directa. Este sensor está alimentado por 2 pilas de litio.
5. La demanda biológica de oxígeno se obtiene como al restar la demanda de oxígeno inicial menos la demanda de oxígeno final.

3.5. PROGRAMAS INFORMÁTICOS UTILIZADOS.

Hardware:

- MAC Book Pro. 2.5 GHZ Intel Core i5. 8GB 1600 MHz DDR3.

Software:

- **Filemarker:** aplicación multiplataforma de base de datos relacional. Integra el motor de la base de datos con la interfaz. Con dicho programa se tratan los datos y se describe la calidad de las aguas.
- **AcQua:** programa para representar los datos y observar los posibles errores de medición.
- **ArcGis 10:** programa de representación cartográfica.
- **Microsoft Excel.**
- **Stargraphics:** programa estadístico para tratar los análisis.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se han dispuesto en una hoja Excel con el fin de facilitar su tratamiento. Además del tratamiento directo de los mismos (cálculo de concentraciones a partir de valoraciones y lecturas, suma de cationes y aniones...) se han utilizado programas informáticos como el *Aqua o Filemarker* que permiten obtener más información del estado de las muestras, a partir de los parámetros analizados en laboratorio. Las fichas de cada una de las muestras obtenidas mediante el uso del programa Filemarket, se incluyen en los anexos.

A continuación se comentan los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros analizados:

4.1. pH.

El valor del pH de las muestras fluctúa entre un mínimo de 6.04 (muestra nº 18 tomada el 09/03/14 en el punto 6) y un máximo de 8.44 (muestra nº 7 tomada el 15/02/14 en el punto 1) , siendo la media de 7.96. En la **figura 5**, se representa la variación temporal y espacial de los valores de pH para cada punto de muestreo. El valor de pH se mantiene constante a lo largo de la campaña de muestreo, a excepción de la muestra 18 que alcanza un mínimo de 6.04. Cabe destacar que esta muestra fue tomada del Río Mijares, del que el Río Villahermosa es principal afluente por su margen derecho.

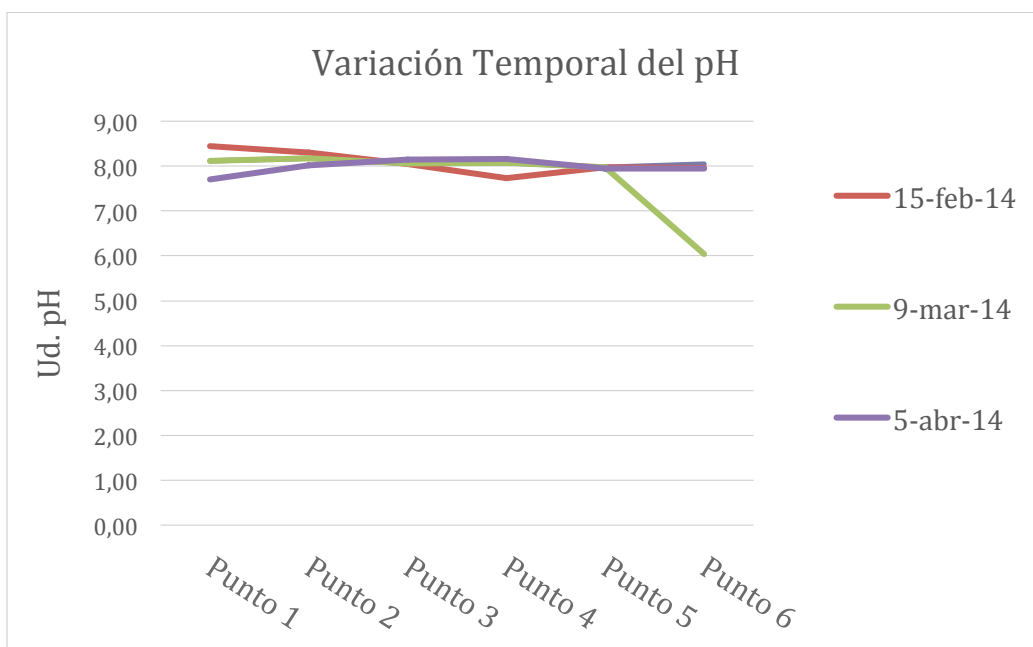


Figura 5: Variación temporal del pH.

4.2. Conductividad eléctrica (CE).

Los valores de CE fluctúan entorno a una media de 0.63 dS/m siendo el valor máximo de 1.01dS/m (muestra nº 24 tomada el 05/04/14 en el punto 6) y el mínimo de 0.35 dS/m (muestras nº 13 y 14 tomadas el 09/03/14 en los puntos 1 y 2). Como norma general los valores de CE tienden a aumentar a medida que descendemos en el río. Esto se debe al aumento en la concentración de cationes y aniones así como sólidos. Durante su recorrido el agua va erosionando las rocas y aumentando su carga de iones y sustancias disueltas. Así pues, cuanto mayor es la cercanía al mar, mayor es el contenido de estos iones.

En la **figura 6** observamos como para cada punto de muestreo, los valores de conductividad van aumentando, correspondiéndose el valor mínimo con el punto de muestreo 1 y el valor máximo con el punto de muestreo 6. Por otra parte, observamos también que los valores de CE, se mantienen constantes entre el primer y segundo muestreo, mientras que en el tercer muestreo se produce una disminución del valor. Esto puede deberse al aumento del caudal en el momento del muestreo (9 de marzo), debido a las lluvias y a la fusión de la nieve en la cabecera del río. Cuando se efectuó el último muestreo (5 de abril) los valores de CE habían vuelto a aumentar, pero sin llegar a alcanzar los valores obtenidos en el primer y segundo muestreo.

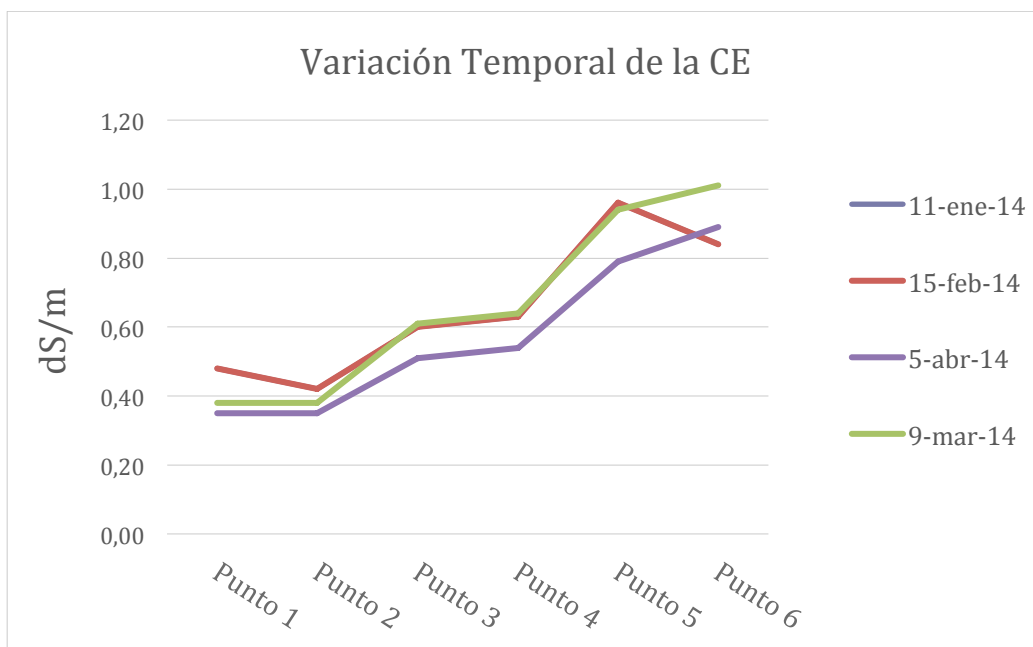


Figura 6: Variación temporal de la CE.

4.3. Sodio.

La concentración media de sodio presente en el agua es de 0.61 meq/l, siendo el valor mínimo de 0.13 meq/l en el primer punto de muestreo (muestra nº 20 tomada el 05/04/14 en el punto 2) y el valor máximo de 2.2 meq/l (muestra nº 18 tomada el 09/03/14 en el punto 6). El origen geoquímico de sodio en el agua se debe a la presencia de minerales con este ión en la cuenca del río. La circulación del agua, tanto superficial como subterránea conlleva la disolución de este entre otros metales (IGME 1985).

El sodio es liberado por la meteorización de silicatos tipo albita y depósitos evaporíticos en que se presenta fundamentalmente como NaCl. En la **figura 7** podemos observar como la concentración de sodio aumenta a medida que descendemos en el cauce, al aumentar la superficie barrida por el agua y por lo tanto la cantidad de minerales que contengan sodio.

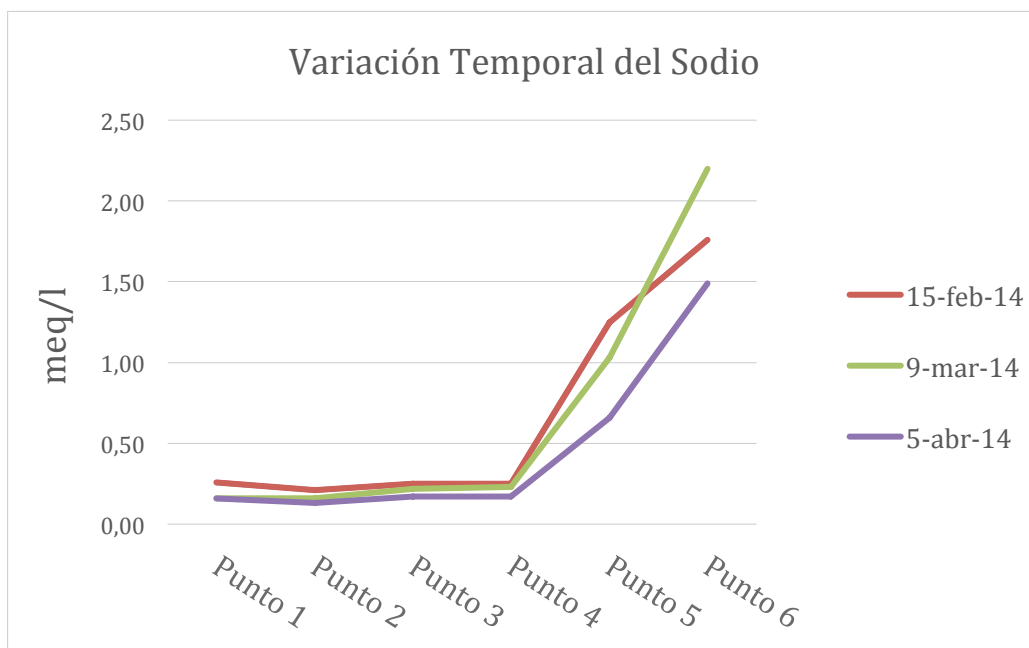


Figura 7: Variación temporal del Sodio.

Por otra parte, tal y como se muestra en la **figura 7**, la concentración de Na se mantiene más o menos constante en el tiempo en los 6 puntos de muestreo, aunque se producen ligeros descensos en los dos últimos muestreos. Esto puede deberse al aumento del caudal del río, y al aumento de la temperatura ambiente.

4.4. Potasio.

El potasio procede de la meteorización de los feldspatos y de la disolución de depósitos de evaporitas. El ion potasio tiende a ser fijado irreversiblemente en la formación de arcillas y por adsorción en la superficie de minerales con alta capacidad de intercambio iónico.

El instrumental disponible en el laboratorio no ha permitido obtener los valores de potasio presentes en el agua. La concentración mínima detectable de este ión en laboratorio es de 0.2 meq/l. En las muestras analizadas, la concentración está por debajo de este mínimo. Este hecho hace patente los bajos niveles de este catión en el agua del Río Villahermosa.

4.5. Calcio.

El calcio es el catión de mayor concentración en las muestras analizadas. La concentración media del mismo es de 5.82 meq/l, siendo el valor mínimo y el máximo de 2.15 (muestra nº 20 tomada el 05/04/14 en el punto 2) y 9.6 meq/l (muestras nº 11 y 12 tomadas el 15/02/14 en los puntos 5 y 6) respectivamente. Los valores máximos de Ca se obtuvieron en el segundo muestreo, y los mínimos en el último.

La aparición de Ca en el agua se debe a la presencia de minerales con este ión en la cuenca del río (tales como conglomerados, arcillas y rocas calcáreas). La circulación del agua, tanto superficial como subterránea conlleva la disolución de este entre otros iones.

Los niveles de calcio guardan una cierta relación con los de sulfato, tal y como se muestra en la **figura 8**. Las concentraciones de ambos iones se ajustan a una regresión con un coeficiente de correlación múltiple de 0.94 y un R^2 de 0.89.

Tabla 4: Regresión Ca^{2+}/SO_4^{2-} .

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.9458
Coefficiente de determinación R^2	0.8945
R^2 ajustado	0.8897
Error típico	0.8319
Observaciones	24

Así pues, podemos afirmar que a partir de las muestras analizadas, el agua que circula por el río Villahermosa es del tipo sulfato-cálcica.

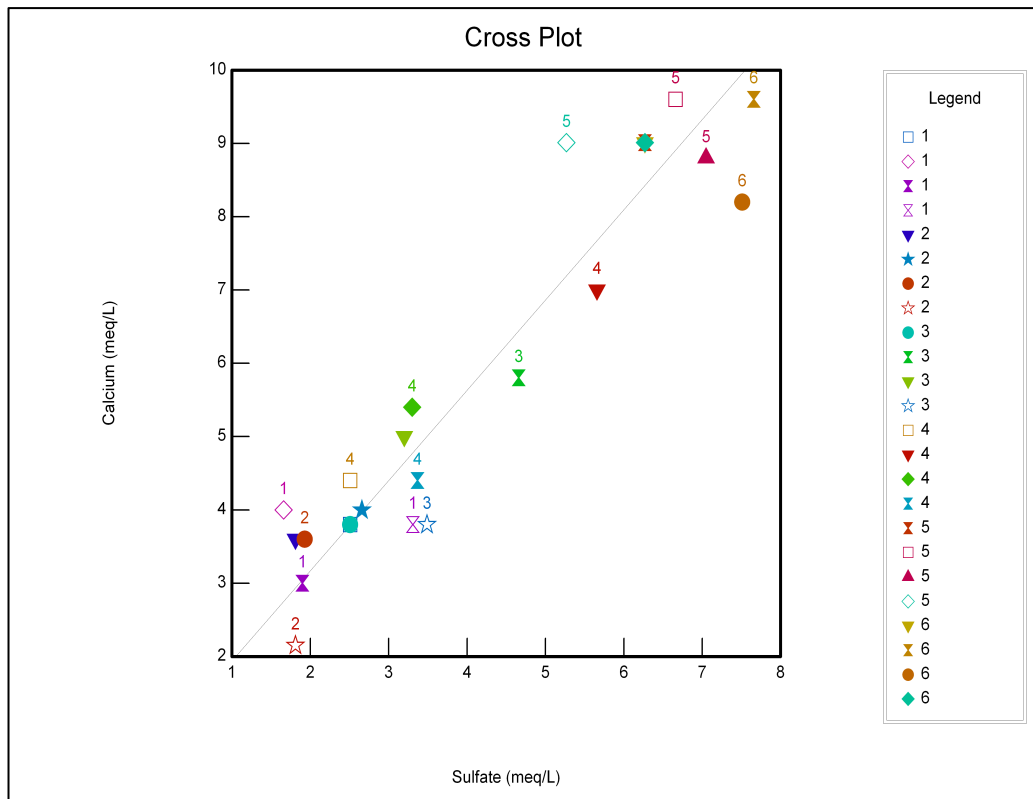


Figura 8: Relación Ca^{2+}/SO_4^{2-} .

4.6. Magnesio.

La concentración media del catión magnesio es de 0.12 meq/l, siendo el valor mínimo y el máximo de 0.07 meq/l (muestra n°19 tomada el 05/04/14 en el punto 1) y 0.21 meq/l (muestra n°5 tomada el 11/01/14 en el punto 5) respectivamente.

La presencia de magnesio en el río se debe principalmente a disolución de rocas carbonatadas (dolomías y calizas magnesianas), evaporitas y de la alteración de silicatos ferromagnesianos (IGME, 1985). La concentración de Mg^{2+} aumenta a medida que descendemos en el cauce, tal y como vemos en la figura 9. Los valores más altos de Mg^{2+} se obtienen en los puntos de muestreo localizados en el tramo bajo del río.

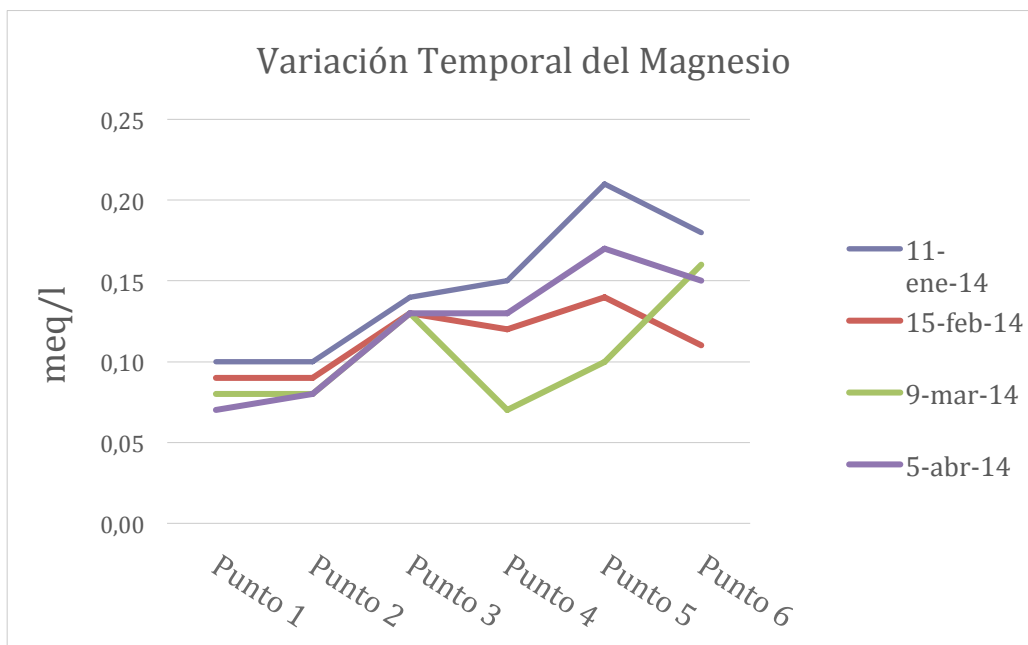


Figura 9: Variación temporal del Magnesio.

4.7. Sulfatos.

El anión sulfato es el de mayor concentración en las muestras analizadas. La concentración media es de 4.13 meq/l, siendo el valor mínimo y el máximo de 1.66 meq/l (muestra nº7 tomada el 15/02/14 en el punto 1) y 7.66 meq/l (muestra nº12 tomada el 15/02/14 en el punto 6) respectivamente.

El ion sulfato procede del lavado de materiales sedimentarios salinos, de la oxidación de sulfuros, de la descomposición de sustancias orgánicas (tales como excrementos de *capra pyrenaica* y otros tipos de ganado doméstico). La disolución de yeso (y anhidrita) representa la mayor cantidad aportada de este ión a las aguas (IGME, 1985). Su comportamiento esta condicionada por su tendencia a formar iones complejos con Na^+ , Ca^{2+} y a incorporarse a los procesos biológicos.

Tal y como se muestra en la **figura 10**, la concentración de sulfatos aumenta a medida que descendemos en el cauce, alcanzando el máximo valor en el punto de muestreo 6.

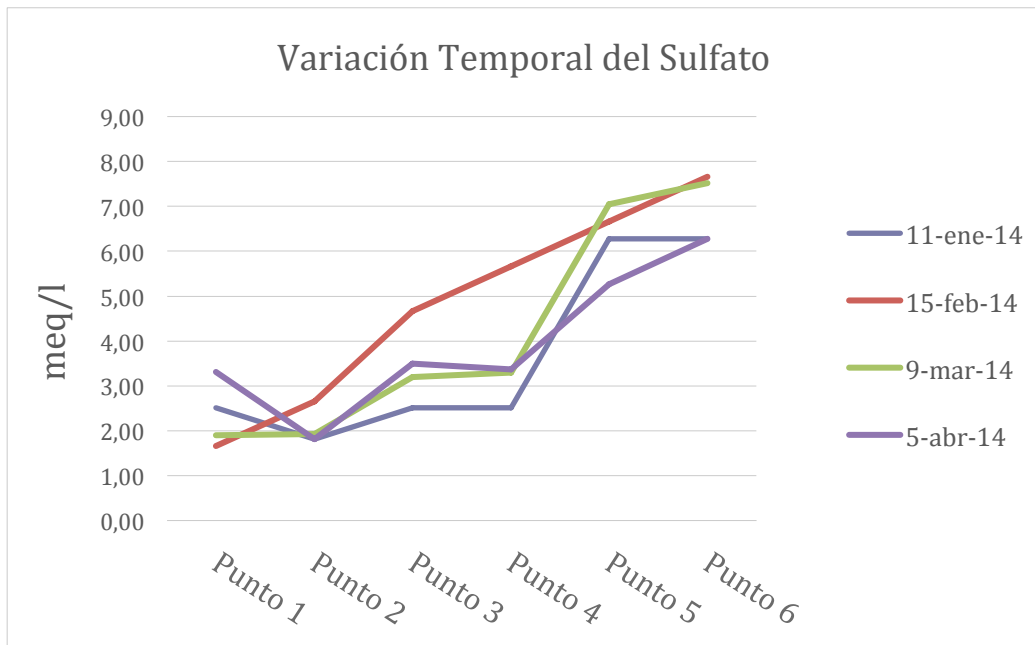


Figura 10: Variación temporal del Sulfato.

La proporción de cada una de ellos se deja ver en la **figura 12**, (diagrama de balance de iones), en el cual el sulfato y el calcio son los principales aniones y cationes respectivamente.

4.8. Carbonatos.

El análisis de carbonatos en las muestras ha sido negativo, por lo tanto se descarta la presencia de los mismos en las muestras tomadas del Río Villahermosa, justificado también por un pH de las muestras menor de 9.

4.9. Bicarbonatos.

El anión bicarbonato presenta una concentración media de 0.45 meq/l, siendo el valor mínimo y el máximo de 0.29 meq/l (muestra nº9 tomada el 15/02/14 en el punto 3) y 0.69 meq/l (muestra nº2 tomada el 11/01/14 en el punto 2) respectivamente. Tal y como se observa en la **figura 13**, los niveles más altos del anión se obtuvieron en los dos primeros muestreos, mientras que en los dos últimos la concentración de bicarbonato descendió prácticamente a la mitad de la inicial en la mayoría de los puntos de muestreo. Una posible explicación es el aumento del caudal del río, motivo de las lluvias y el deshielo en la cabecera del río, con la consecuente disminución en la concentración de metales disueltos en el agua.

La presencia de bicarbonatos está justificada por la naturaleza dolomítica de parte de la cuenca del río, poseyendo este mineral un radical CO_3^{2-} .

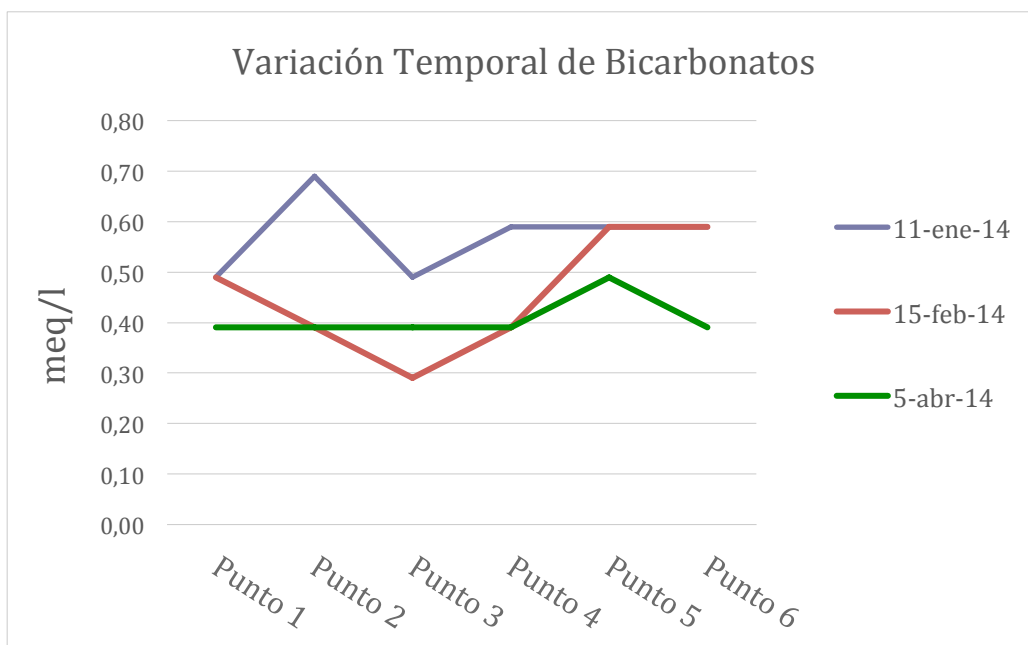


Figura 11: Variación temporal de Bicarbonatos.

4.10. Cloro.

La presencia de anión cloro en las aguas naturales se debe principalmente a la disolución de depósitos de sal gema (halita) y a efluentes de actividades agrícolas, domésticas y/o industriales.

En las muestras analizadas la concentración media de anión cloro es de 1.94 meq/l, siendo el valor mínimo y el máximo de 0.1 meq/l (muestra n° 20 tomada el 05/04/14 en el punto 2) y 3.98 meq/l (muestra n°5 tomada el 11/01/14 en el punto 5) respectivamente. A partir del mapa geológico (M.G.N., 1:50000, Alcora) podemos descartar la presencia de algún depósito de halita en la cuenca del río.

Así pues la presencia de cloro en el agua se debe principalmente a efluentes externos. A esta teoría se suma el aumento de la concentración del anión a medida que descendemos en el cauce, alcanzándose los mayores valores en el punto de muestreo 6 (**figura 14**). Aguas arriba de este punto el río Villahermosa atraviesa los núcleos de población de Villahermosa del Río, Castillo de Villamalefa, Argelita y Ludiente, que cuentan con sus correspondientes depuradoras de agua. El uso de cloro en el agua potable puede ser la causa de la presencia de este en el agua del río.

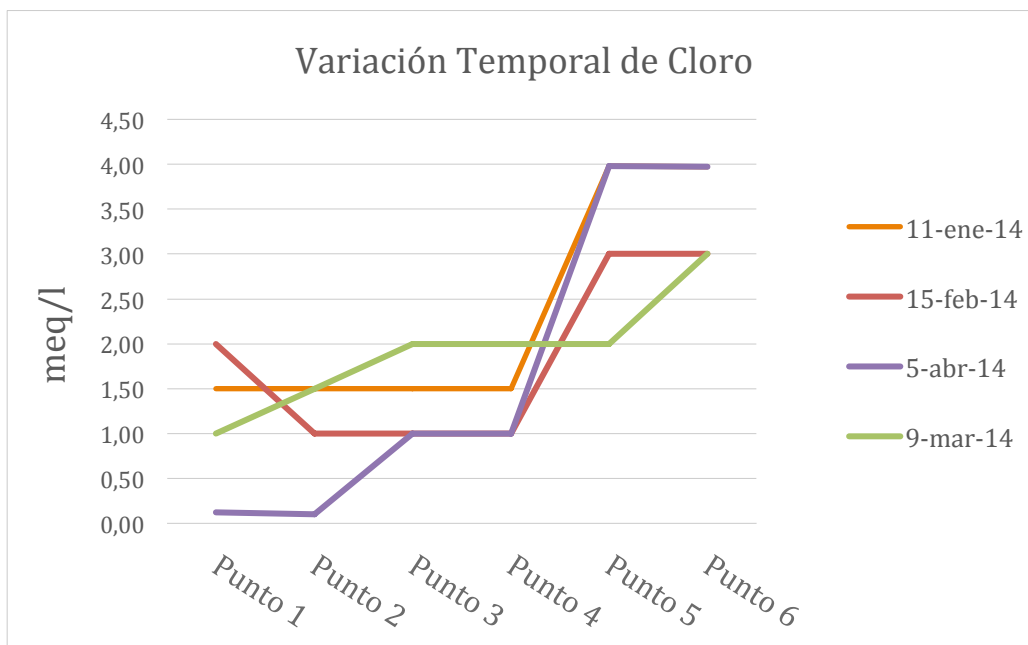


Figura 12: Variación temporal del Cloro.

4.11. Clorofila.

La presencia de pigmentos de clorofila a en el río Villahermosa es esporádica. En ningún caso supera los 25 mg/m³, por lo que los niveles de eutrofización son débiles o en la mayoría de las muestras tomadas inexistentes. Los niveles de clorofila están relacionados con la morfología del cauce (Elosegi. A. 2009), siendo estos mayores cuando la velocidad del curso es menor.

En el río Villahermosa se cumple esta premisa, obteniéndose concentraciones de clorofila en las zonas en las que el cauce se ensancha y la velocidad del curso disminuye (puntos de muestreo en el tramo medio y bajo).

4.12. Sólidos suspendidos totales.

A partir del análisis de las muestras tomadas, se ha obtenido una concentración media de sólidos de 16.56 mg/l, siendo el valor mínimo y el máximo de 29.89 y 10 mg/l respectivamente.

Sólo una muestra, concretamente la nº 20 tomada aguas debajo de la piscifactoría de Villahermosa del Río, supera el valor de tolerancia exigibles a las aguas continentales para especies salmonícolas que se recogen en el Real Decreto 927/1988.

4.13. DQO.

La demanda química de oxígeno mide la capacidad de una gua para consumir oxidantes en procesos químicos. En aguas naturales el valor usual de DQO varía desde 1 a 30 mg/l (IGME, 1985). Los valores de las muestras analizadas oscilan alrededor de 30 mg/l.

4.14. DBO.

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno precisa para eliminar, por procesos biológicos aerobios, la materia orgánica contenida en el agua (IGME, 1985). Suele referirse a un periodo de cinco días. El análisis de 4 muestras, dio los siguientes resultados:

Tabla 5: Resultados DBO.

MUESTRA	DBO (mg/l)
21	7
22	3
23	3
23	9

4.15. SAR: Relación de Adsorción de Sodio

La relación de adsorción de sodio puede usarse como “índice de sodio” o “peligro de sodificación” que presenta un agua de riego. Si se tiene en cuenta la existencia de carbonatos y bicarbonatos en el agua, el índice pasa a llamarse SAR ajustado. De las muestras analizadas, el máximo valor obtenido es de 1.31 meq/l, siendo el riesgo de adsorción de sodio nulo.

4.16. Clasificación de las aguas.

En la figura 11, que se corresponde con un diagrama radial, se puede distinguir como el SO_4^{2-} , el Ca^{2+} y en menor medida el cloro son los metales predominantes en las muestras analizadas

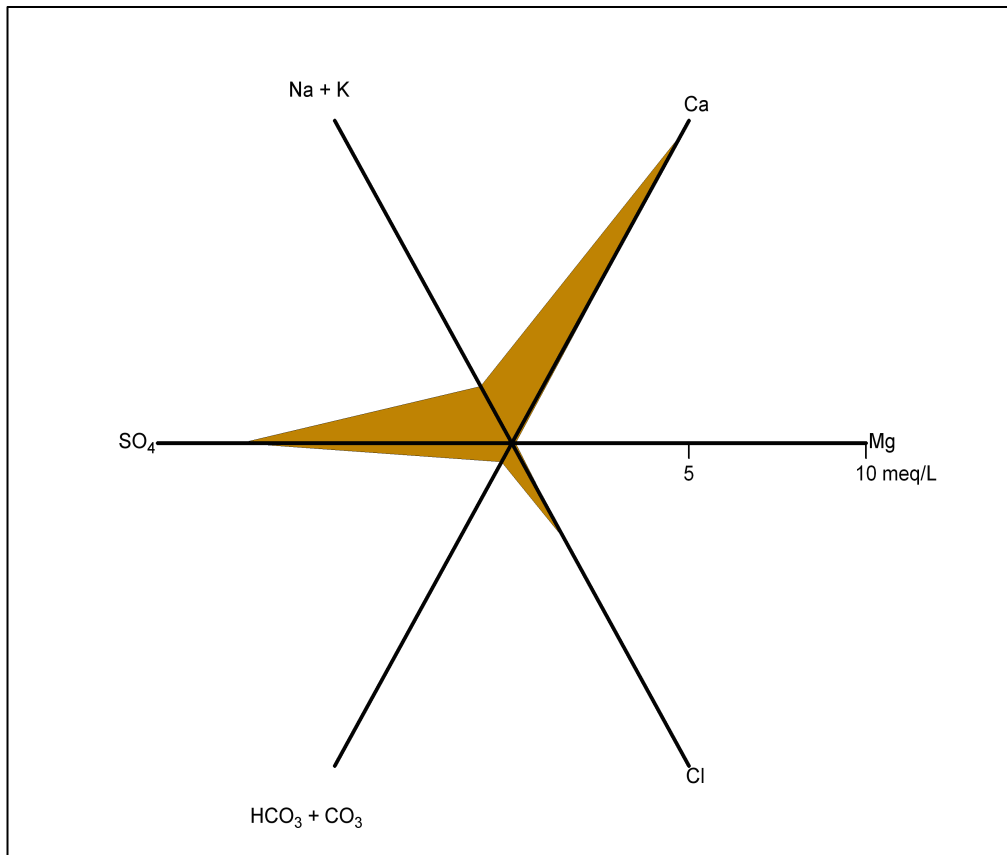


Figura 13: Diagrama radial.

La proporción de cada una de ellos se deja ver en la figura 12, (diagrama de balance de iones), en el cual el sulfato y el calcio son los principales aniones y cationes respectivamente.

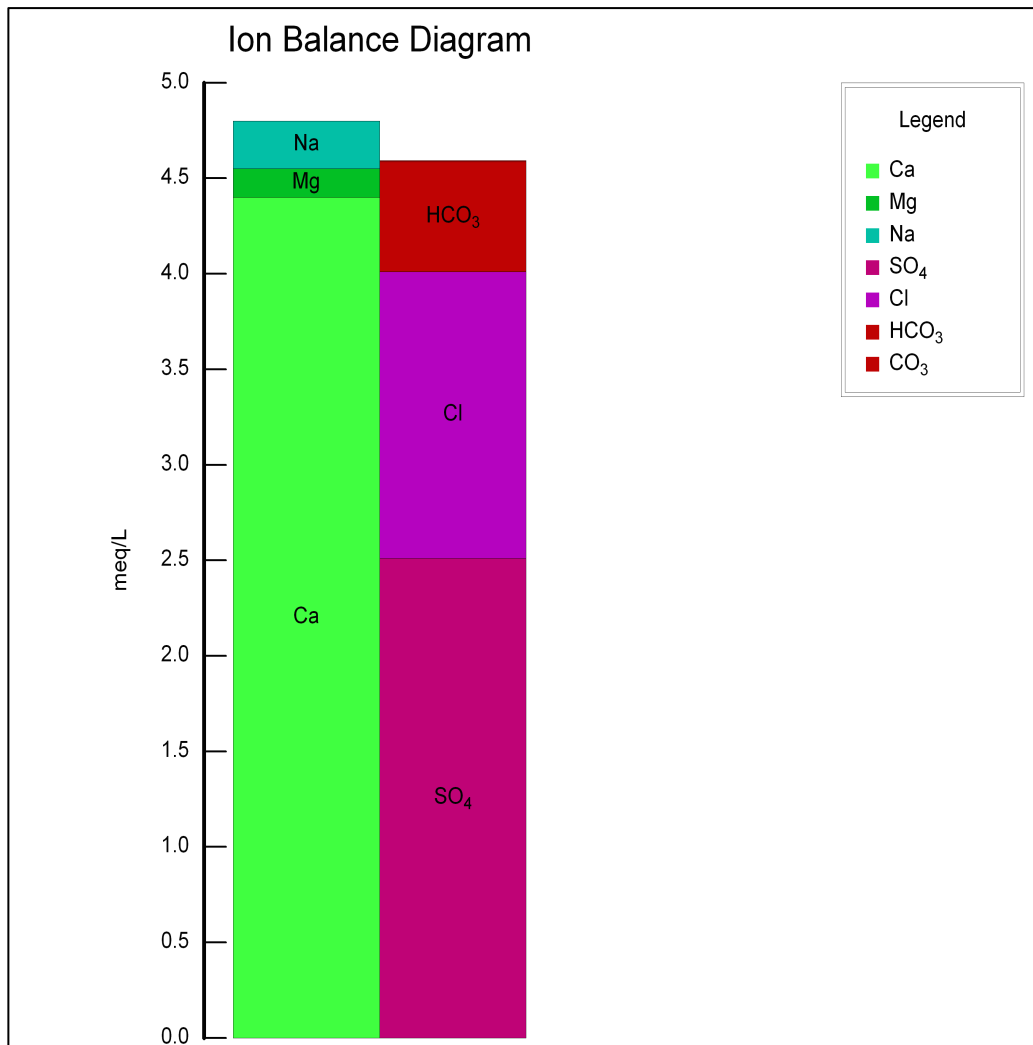


Figura 14: Diagrama de balance de iones.

Tal y como afirma Cheboratev (1955), las aguas sufren cambios en su composición a medida que circulan tanto por superficie como por acuíferos en su camino hacia el océano. En la secuencia desarrollada por Cheboratev que se describe a continuación, las muestras analizadas del río Villahermosa estarían en el penúltimo paso antes de pasar a ser aguas cloradas y verterse al océano.

Secuencia de Cheboratev (1955):

Aguas bicarbonatadas - Aguas bicarbonato-cloradas - Aguas cloruro-bicarbonatadas - Aguas cloruro-sulfatadas o sulfato-cloradas - **Aguas sulfatadas** - Aguas cloradas.

El US Salinity laboratory of Riverside, clasifica las aguas según su calidad e idoneidad para el riego de cultivos. En las fichas de cada una de las muestras se clasifica cada muestra según su calidad y según si es apta o no para el riego. El sistema de clasificación Riverside se basa en tres parámetros: la salinidad (C), la sodicidad (S) y el carbonato sódico residual (CSR).

Tabla 6: Clasificación salinidad. Fuente: AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION

SALINIDAD	TIPO	CALIDAD
C1 (0-250 meq/L)	Baja	Apta para el riego en todos los casos. Problemas en suelos de baja permeabilidad.
C2 (250-750 meq/L)	Media	Apta para el riego. Necesario emplear volúmenes en exceso y cultivos tolerantes.
C3 (750-2250 meq/L)	Alta	Utilizar en suelos con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso y cultivos muy tolerantes.
C4 (2250-5000 meq/L)	Muy alta	Salinidad excesiva, sólo debe emplearse en casos muy contados.

Tabla 7: Clasificación sodicidad. Fuente: AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION.

SODICIDAD	TIPO	CALIDAD
S1	Baja	Apta para casi todos los cultivos a excepción de frutales de hueso
S2	Media	Peligro significativo de sodicidad
S3	Alta	Necesario lavado de suelo
S4	Muy alta	Aguas no aptas para el riego a excepción de que la salinidad sea baja

De las 24 muestras analizadas, 16 se clasifican dentro del tipo C2-S1 y 8 dentro del tipo C3-S1. Es decir, todas presentan un riesgo de salinidad medio o bajo un riesgo de sodicidad (S) bajo. Así pues, tal y como se muestra en la figura 15, el 67% de las muestras analizadas presentan una salinidad media, y un 33% una salinidad alta. En los anexos se incluyen las fichas de cada una de las muestras.

Clase calidad agua riego

■ C3-S1 ■ C2-S1

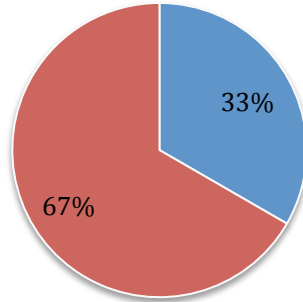


Figura 15: Clase calidad agua riego.

5. CONCLUSIONES:

1. A partir de los análisis realizados podemos afirmar que las muestras de agua son del tipo sulfato - cálcicas, con predominio de estos dos iones.
2. Según la clasificación Riverside, del US Salinity Laboratory, el 67% de las muestras son del tipo C2-S1, es decir, aguas con un riesgo de salinidad (C) medio o bajo un riesgo de sodicidad (S) bajo. Este tipo de aguas son aptas para el riego de cultivos, bajo ciertas restricciones, tales como el uso de volúmenes en exceso y cultivos tolerantes. Este hecho resulta fundamental a la hora de implantar nuevos cultivos con altos requerimientos de agua. Concretamente, en el caso de implantar cultivos forestales tales como chopos o fresnos, el agua del río Villahermosa cumpliría con los estándares de calidad necesarios para el riego de dichos cultivos.
3. La variabilidad espacial de la conductividad eléctrica aumenta conforme descendemos en el curso del río. A menor distancia y cota al mar, mayor es el valor de conductividad eléctrica.
4. La diferencia más significativa en cuanto al manejo, es la aparición de concentraciones más elevadas de cloro en las cercanías a los núcleos de población. Este hecho se debe en gran parte a la utilización de este anión en el tratamiento de aguas potables. La concentración del resto de factores analizados (pH, sodio, sulfatos, bicarbonatos) también tiende a aumentar a medida que descendemos en el cauce.

6. BIBLIOGRAFÍA:

- ALCARAZ HERNÁNDEZ, J.D.(2011). Estado de las poblaciones de trucha en los ríos de la Comunidad Valenciana y caracterización de sus hábitats. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1992). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd Edition. Washington.
- BESOAIN, E. “Curso de Mineralogía de suelos” Ediciones Instituto interamericano de ciencias agrícolas. 1º edición. Madrid 1970.
- CHEBOTAREV, I. 1955. Metamorphism of natural waters in the crust of weathering. Geochimica et Cosmochimica Acta, 8: 22-48.
- CHJ (2013). Datos analíticos calidad agua río Villahermosa, Valencia, visto el 24 de noviembre de 2013. <http://www.chj.es>.
- CORNELIS, K; CORNELIUS, S “Manual de Mineralogía” Editorial Reverté, 4a Edición, 2007.
- COSTA, M. 1999. La vegetación y el paisaje en las tierras valencianas. Editorial Rueda, S.L., Madrid.
- ELOSEGI A.(2009). Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Fundación BBVA.
- I.G.M.E. (1974): Mapa geológico nacional. 1/50.000, hoja 615 (Alcora).Madrid.
- PORRAS MARTÓN, J. (1985); Calidad y Contaminación de las Aguas Subterráneas en España. IGME Madrid.
- MARTI-NAVARRO BALLESTER, C. 2007/2008. Proyecto final de Ciclo: Río Mijares Riqueza de la Plana. Universitat Jaume I, Castellón.
- OTERO, M.A.; PIVIDAL, A.J, “Geología” Ediciones del laberinto, S.L. 2a EDICIÓN, 1999.
- QUEREDA SALA,J.: El clima en la provincia de Castellón. Diputación de Castellón, 1985, 125 pp.
- QUEREDA SALA,J (1985): Geomorfología. La Provincia de Castellón de la Plana. Tierras y Gentes. Caja de Ahorros y Monte de Piedad de Castellón, pp.37-54.

- SANFELIU MONTOLIO, J (1985): Atlas de la Provincia de Castellón de la Plana. Caja de Ahorros y Monte de Piedad de Castellón, pp. 13-36.
- STRAHLER, A.N. 1957. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. Transactions of the American Geophysical Union 38: 913-920.
- ROSELLÓ, R. 1994. Catálogo florístico y vegetación de la comarca natural del Alto Mijares (Castellón). Diputació de Castelló.
- TARBUCK J., E.; LUTGENS, F.K., "Ciencias de la tierra, una introducción a la geología física" Ediciones Prentice Hall Iberia, S.R.L., 1º edición en español 2000.
- UNE-EN ISO 5667-1. (2007) Calidad del agua. Muestreo. Parte 1: Guía para el diseño de los programas de muestreo y técnicas de muestreo. (ISO 5667-1:2006)
- UNE-EN ISO 5667-3. (2004) Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: Guía para la conservación y manipulación de las muestras de agua. (ISO 5667-1:2006).
- VALENCIA DELFA, J.L.(2007). Estudio estadístico de la calidad de las aguas en la cuenca hidrográfica del río Ebro. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.