

# Análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos en las aguas costeras de la región de Murcia

Laura López Martínez, Andrés Paredes Giménez, Nuria Alcaraz Oliver, Javier Gilabert\*  
 Departamento de Ingeniería Química y Ambiental,  
 Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII, 48, 30203 Cartagena (Murcia)  
 Grupo Investigación “Ecosistemas”  
 (\*) Autor para correspondencia

**Resumen.** *Este estudio se realizó gracias a la activación del “SERVICIO DE MUESTREO Y ANÁLISIS PARA LA RED DE CONTROL Y VIGILANCIA DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE BAÑO DE LA REGIÓN DE MURCIA”. Se evalúa la situación de las aguas costeras de la Región de Murcia mediante el análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos del agua de mar. El muestreo se realizó en trece playas o zonas costeras del litoral, generalmente asociadas a zonas de vertidos, durante los meses de verano del 2009. Con el objetivo de poder establecer los criterios sanitarios que deben cumplir las aguas de baño para garantizar su calidad. En el caso del Mar Menor, sus aguas se pueden ver afectadas especialmente por el fenómeno de eutrofización debido al aporte de nutrientes que suministran las principales ramblas que en él desembocan. A su vez se estudió la posible correlación entre las diversas variables medidas para poder realizar una comparativa entre el Mar Menor y el Mediterráneo.*

## 1 Introducción

En el presente estudio se recogen los datos obtenidos por el “SERVICIO DE MUESTREO Y ANÁLISIS PARA LA RED DE CONTROL Y VIGILANCIA DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE BAÑO DE LA REGIÓN DE MURCIA” comisionado a la Universidad Politécnica de Cartagena para dar cumplimiento al Real Decreto 1341/2007, de 11 de octubre, tiene por objeto: 1) Establecer los criterios sanitarios que deben cumplir las aguas de baño, para garantizar su calidad, con el fin de proteger la salud humana de los efectos adversos derivados de cualquier tipo de contaminación; 2) La conservación, protección y mejora de la calidad del medio ambiente en complemento al texto refundido de la Ley de Aguas y 3) Fijar las disposiciones mínimas para el control, la clasificación, las medidas de gestión y el suministro de información al público sobre la calidad de las aguas de baño.

Para ello se realizaron muestreos con una periodicidad quincenal, durante el período estival en, iniciándose a principios de junio y concluyendo el día 30 de septiembre. Dichos puntos cubren prácticamente la totalidad del litoral de la Región. En cada uno de los puntos de muestreo se realizó un análisis multiparamétrico de la calidad del agua tomando muestras de agua en botellas de vidrio para su posterior análisis en laboratorio.

## 2 Área de estudio

El muestreo se realizó en trece playas o zonas costeras del litoral murciano, en general asociadas a zonas donde los vertidos son frecuentes, como ramblas o desaladoras. Los trece puntos están

situados tanto en la costa del Mar Menor como en el Mar Mediterráneo. Las zonas asociadas al Mar Menor son la desembocadura de la rambla del Albuñón, la playa de Manzanares, Punta Brava, y las playas de Los Urrutias, Los Nietos y del Castillico. En la zona de San Pedro del Pinatar, se analizaron aguas de las playas de Torre Derribada y el Mojón, ambas situadas junto a la estación desaladora de agua de mar San Pedro del Pinatar II. Próximas a la Manga del Mar Menor están los puntos de muestreo de Calaflores y playa de Calblanque; en la Bahía de Mazarrón, Isla Plana y Rihuete; por último, y ya en Águilas, la playa de La Colonia.

## 3 Material y métodos

En cada uno de los puntos de muestreo se tomaron datos *in situ* mediante una sonda multiparamétrica de calidad del agua (modelo YSI 6600 V2-4). También se tomaron muestras a la misma profundidad de medida de la sonda para el análisis de nutrientes y fitoplancton. La sonda contiene sensores para temperatura (°C), salinidad (P.S.U.), presión (dbares, m), pH, turbidez (NTU), oxígeno disuelto (mg/l y % de saturación) y fluorescencia para clorofila (a + feopigmentos) (unidades arbitrarias de fluorescencia). La sonda fue calibrada previamente a los muestreos para cada uno de los sensores que incorpora de acuerdo con los estándares y procedimientos indicados por el fabricante. La sonda lleva incorporado un registrador de datos conectado a un GPS. Una vez introducida la sonda en el agua se esperó el tiempo necesario para la estabilización de las lecturas de los parámetros (cinco minutos).

### 3.1. Parámetros del agua

En cada fecha de muestreo, y en cada playa, se

realizó una medición de parámetros indicativos del estado del agua de mar *in situ*. Mencionar que las medidas de turbidez fueron calibradas para peso seco de sólidos en suspensión con varias muestras de diferente origen. Se tomaron muestras *in situ* en el mismo punto donde la sonda tomaba las lecturas con la sonda. Las muestras fueron filtradas a través de filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F (0,45  $\mu\text{m}$  de diámetro de poro nominal, 0,2  $\mu\text{m}$  efectivo) previamente secados en estufa y pesados. La diferencia del peso de los filtros tras haber filtrado la muestra y secado determina la concentración de sólidos en suspensión (mg/L). Este valor repetido con diferentes muestras de diferentes lugares se enfrenta a los valores de turbidez obtenidos por la sonda para construir la curva de calibración. De esta forma se obtuvo una recta de calibración que permite traducir los datos de turbidez (NTU) a total de sólidos en suspensión (TSS).

### 3.2. Análisis nutrientes

La toma de muestras de agua para el análisis de nutrientes se realizó con botellas de vidrio previamente lavadas con ácido y enjuagadas con agua desionizada y esterilizadas en autoclave. Una vez llenos de muestra se guardaron en nevera portátil a 4°C para su adecuada conservación hasta la llegada al laboratorio. Para el análisis se introdujo una muestra triplicada de agua por cada nutriente a analizar en tubos de polietileno de 10 mL cerrados herméticamente y almacenados en arcón congelador a -32°C hasta el momento del análisis en la misma semana de la toma de las muestras. El análisis de cada uno de los diferentes nutrientes. Específicamente el análisis incluye las concentraciones de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), fosfatos ( $\text{PO}_4^-$ ) y silicatos ( $\text{SiO}_4^-$ ) realizados por triplicado.

Cada uno de los nutrientes, a excepción de los nitratos ha sido analizado mediante una técnica colorimétrica a través de un espectrofotómetro (Agilent G1369A).

Las unidades en las que se expresan las concentraciones de nutrientes varían frecuentemente en función de su uso. A efectos de niveles de contaminación la concentración suele expresarse en mg/L del elemento en forma de cada especie. De esta forma, se ha utilizado la concentración del elemento de cada especie química en mg/L.

Para la determinación de, nitritos, fosfatos y silicatos en agua de mar se ha utilizado una modificación del método de Strickland and Parson de 1968[1]. Este método es apto para concentraciones entre 0.01  $\mu\text{mol/L}$  hasta 2.5  $\mu\text{mol/L}$  para el caso de nitritos y fosfatos, mientras que para silicatos es apto para concentraciones entre 0.1  $\mu\text{mol/L}$  hasta 140  $\mu\text{mol/L}$ .

Para la determinación de amonio se utilizó el método químico de Koroleff como fue descrito por Grasshoff

et al. 1999[2], con un rango de 0,05 - 40  $\mu\text{mol/L}$ .

Los nitratos se midieron con una nueva técnica basada en espectroscopía ultravioleta en lugar de análisis químico. El instrumento utilizado fue un equipo SUNA (Satlantic) que permite una lectura directa de los nitratos sin necesidad de química alguna. En nuestro caso las muestras fueron traídas al laboratorio con el procedimiento antes explicado y se analizaron las muestras directamente sin congelación previa. El rango de detección del instrumento va de 0,007 a 50 mgN- $\text{NO}_3^-/\text{L}$ .

### 3.3. Fitoplancton

Para el análisis del fitoplancton se sedimentaron volúmenes determinados (de 100, 75 y 50 ml, en función de la densidad celular esperable y la cantidad de materia particulada en la muestra). La muestra que se introdujo en las cámaras de sedimentación provenía de la botella de muestras de 1 L tomada en el campo y, por tanto, se observaron los organismos *in vivo* siguiendo el método de Utermöhl [3] tras 24 horas de sedimentación. Los recuentos y las identificaciones taxonómicas se realizaron sobre las cámaras al microscopio óptico invertido (Leica DM IL) equipado con una cámara digital y objetivos de 5x, 10x, 20x, 40x y 63x secos de corta distancia de trabajo y oculares de 10x.

El número de células contadas se convierte a unidad de concentración por volumen de muestra como células por litro. Finalmente, la identificación de los taxones y el conteo celular se ha realizado mediante el apoyo de claves taxonómicas (Tomas,1997[4]), artículos de investigación y recursos web.

### 3.4. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se hizo en primer lugar un análisis factorial y seguidamente un análisis de componentes principales (PCA), siendo una combinación lineal de las variables originales, con la utilización del software estadístico SPSS18.

El análisis factorial se hizo con la pretensión de determinar unos factores comunes que expliquen las interrelaciones entre variables y el PCA, con el objetivo de reducir la dimensionalidad de los datos perdiendo poca información en cuanto a su variabilidad. Para una mayor optimización del método se han utilizado rotaciones ortogonales Varimax para conseguir que cada componente rotado (en vertical) presente altas correlaciones. Es adecuado cuando es reducido el número de componentes. Este tipo de análisis se ha realizado gracias a la aplicación de análisis multivariante con SPSS [4]. Antes de la ejecución del análisis los datos fueron transformados logarítmicamente. Se aplicó la transformación  $Y = \log(y+2)$  para los datos en totalidad, una de las transformaciones empleada en ecología numérica descrita según Legendre [5], para así obtener una unificación en la distribución de los

datos.

Para el tratamiento de datos se efectuó una diferenciación entre los mismos, por un lado los correspondientes a playas del Mar Menor y por otro lado los correspondientes al Mediterráneo, dado que son sistemas completamente diferentes en cuanto a ciertos parámetros de los medidos y explicados anteriormente. Además fueron divididos en tres bloques cuantitativos; Datos físicos (temperatura, pH, salinidad y tasa de sólidos en suspensión), datos químicos (Oxígeno, nitritos, nitratos, amonio, ortofosfatos y silicatos) y finalmente datos biológicos (clorofila, diatomeas, dinoflagelados y fitoplancton total).

Finalmente no se tuvo en cuenta la totalidad de variables medidas, puesto que se aplicaron diversos contrastes de adecuación al análisis y una validación en cuanto a los factores a retener (porcentaje explicado), lo que llevó a la exclusión de determinadas variables. Atendiendo a los datos físicos, no fueron de utilidad para dicho tratamiento los datos referidos a pH, en cuanto a los químicos destacar que las formas de nitrógeno se consideraron como nitrógeno total y el oxígeno fue excluido, no era determinante en el análisis. Por último respecto a los datos biológicos se tuvo en cuenta clorofila y fitoplancton total únicamente, ya que era representativo igualmente y no alteraba el análisis.

## 4 Resultados y discusión

### 4.1. Generales

Las muestras de agua se tomaron a una profundidad de media  $0,36 \pm 0,12$  metros, es decir, se trató de muestras subsuperficiales en todos los casos. La temperatura media del agua muestreada fue de  $26,73 \pm 2,31$  °C. Encontramos, también, una clara diferenciación entre las playas del Mar Menor ( $27,67 \pm 2,1$  °C) y las del Mar Mediterráneo ( $25,92 \pm 2,21$  °C). La salinidad media de las playas muestreadas fue de  $40,51 \pm 3,14$  P.S.U.. De nuevo se encuentra una diferencia importante entre las playas de la laguna ( $43,37 \pm 2,43$  P.S.U.) y las playas del Mediterráneo ( $37,97 \pm 0,76$  P.S.U.). El valor medio de pH encontrado fue de  $8,44 \pm 0,17$ . La densidad media de los sólidos en suspensión de las aguas muestreadas fue de  $0,12 \pm 0,26$  mg/L. Se trata de un valor muy variable, tanto entre fechas como entre playas. La concentración media de clorofila en el agua fue de  $2,14 \pm 2,35$  µg/L. En varias ocasiones no se detectó la presencia de clorofila en el agua, lo cual nos indica que se trataba de aguas muy limpias, quizá con concentraciones de clorofila por debajo del límite de detección ( $0,02$  µg/L) con el sensor utilizado. El valor medio de concentración de oxígeno fue de  $6,86 \pm 0,89$  expresado en mg/L y de  $105,97 \pm 5,9$  expresado en % de saturación, indicando, por lo general, aguas bien oxigenadas.

La presencia de nitrógeno en forma de nitratos y

nitritos en agua costeras suele interpretarse como indicativo de contaminación de origen agrícola y/o urbano. Los niveles de concentración más elevados tuvieron lugar en la playa del Albuñón ( $15,47$  mg N-NO<sub>3</sub>-/L). Los valores mínimos encontrados estuvieron por debajo del límite de detección. El nivel de nitrito no debe superar  $0,1$  mg N-NO<sub>2</sub>-/L (Stumm y Morgan 1981[7]) pudiendo ser los valores superiores tóxicos para la vida acuática. Los nitritos suelen considerarse como compuestos de bajas concentraciones en aguas someras puesto que tienden a oxidarse rápidamente pasando a nitratos.

El amonio es considerado habitualmente como nitrógeno procedente de la descomposición de materia orgánica y/o excreción producida por organismos. La concentración media de nitrógeno en forma de amonio fue de  $0,29 \pm 0,21$  mg N-NH<sub>4</sub>+/L con un valor máximo de  $3,82$  mg N-NH<sub>4</sub>+/L y mínimo de  $0$  mg N-NH<sub>4</sub>+/L. Junto con el nitrógeno el fósforo es considerado el macronutriente limitante para el crecimiento del fitoplancton.

La concentración de fósforo en forma de ortofosfato (P-PO<sub>4</sub>-) varió desde un máximo de  $0,06$  mg P-PO<sub>4</sub>-/L a un mínimo de  $0$  mg P-PO<sub>4</sub>-/L (asumiendo valor  $0$  como por debajo del límite de detección de la técnica utilizada) con un valor medio de  $0,06 \pm 0,02$  mg P-PO<sub>4</sub>-/L.

El silicio es un nutriente esencial para algunas células del fitoplancton como las diatomeas y las silicoflageladas. Su rango varió desde  $0$  (por debajo del límite de detección) hasta un máximo de  $1,16$  mg Si-SiO<sub>4</sub>-/L con un valor promedio de  $0,02 \pm 0,03$  mg Si-SiO<sub>4</sub>-/L.

En la tabla 2 se aprecia que en promedio las playas de la Región presentan valores acordes a lo esperado en cuanto a salinidad y temperatura. Se enmarcan el los rangos típicos del Mar Menor y Mediterráneo, si bien las lluvias torrenciales de los últimos días previos al muestreo del 30 de septiembre de 2009 influyeron en los valores medios.

	Media±ErrStd	Máx	Mín
Profundidad (m)	0,36 ± 0,04	0,73	0,03
Temperatura (°C)	26,73 ± 0,77	30,40	19,92
Mar Menor	27,67 ± 0,7	30,40	22,60
Mediterráneo	25,92 ± 0,73	30,12	19,92
Salinidad (P.S.U.)	40,46 ± 1,07	46,02	33,41
Mar Menor	43,37 ± 1,81	46,02	35,83
Mediterráneo	37,97 ± 0,25	38,59	33,41
pH	8,44 ± 0,06	8,84	8,04
TSS (mg/L)	0,12 ± 0,08	1,89	0,00
Clorofila a (µg/L)	2,14 ± 0,78	15,90	0,00
Oxígeno (mg/L)	6,86 ± 0,39	9,14	0,00
Oxígeno (% sat.)	105,97 ± 5,9	150,80	0,00
Nutrientes			
N-NO <sub>3</sub>	0,938 ± 0,795	15,477	0,00
N-NO <sub>2</sub>	0,004 ± 0,001	0,046	0
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,294 ± 0,214	3,821	0,00
P-PO <sub>4</sub>	0,059 ± 0,021	0,504	0,00
Si-SiO <sub>4</sub>	0,027 ± 0,037	1,162	0

Tabla 2. Valores medios de los diversos parámetros medidos.

### 4.2. Estadísticos

En el tratamiento de análisis de componentes principales en el Mar Menor los componentes

extraídos fueron tres, representando un valor aproximadamente del 70% de la varianza total explicada. Posteriormente el gráfico se convirtió a bidimensional para una mejor interpretación de los resultados.

Se aprecia que en la parte derecha del gráfico existe una nube de puntos con una correlación positiva importante referente al componente uno, que representa un 35.56% de la varianza total explicada. Correspondiendo con las variables; clorofila, ortofosfatos y nitrógeno total que a su vez están relacionadas negativamente con la salinidad. Esto viene explicado por la posible entrada de aguas residuales urbanas con elevada concentración en nitrógeno y fósforo. Por otro lado, en lo referente al componente dos, que representa un 19.68% de la varianza total explicada, se observa que el fitoplancton total y los silicatos presentan una mayor relación, de lo que se puede inferir que las células fitoplanctónicas presentes en los muestreos del Mar Menor son en su gran mayoría diatomeas. El resto de nutrientes no constituye un factor limitante para el fitoplancton total. Por último la temperatura y la tasa de sólidos en suspensión se presentan de forma muy homogénea dado que nos estamos refiriendo a aguas someras. Con lo que se corrobora también la composición mayoritaria del fitoplancton total, dada la continua resuspensión provocando la elevación de diatomeas bentónicas a la superficie.

En el caso del Mar Mediterráneo los componentes extraídos fueron dos, asimismo explicando el 70% de la varianza total. En primer lugar se observa una nube de puntos a la derecha correlacionada positivamente donde se encuentra clorofila, nitrógeno total, sólidos en suspensión y silicatos, que a su vez se relacionan negativamente con la salinidad. Esto en lo referente al componente uno que es dónde recae el porcentaje más elevado de la varianza total. Situación análoga a la explicada anteriormente, sólo que en este caso los silicatos y el nitrógeno constituyen los factores limitantes de la clorofila. Por tanto puede deducirse que en este caso es necesario diferenciar entre clorofila por célula y detrítica. El Fitoplancton total aparece separado de la nube de puntos donde se sitúan los nutrientes debido a que la clorofila por célula no es constante, sino que presenta una elevada variabilidad.

En las figuras 1 a) y b) se muestran los gráficos de componentes rotados en el espacio, resultantes del análisis en ambos sistemas.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al personal del Servicio de Vigilancia e Inspección Ambiental, Dirección General de Planificación, Evaluación y Control Ambiental, Consejería Agricultura y Agua de la

Región de Murcia la colaboración mantenida durante este trabajo.

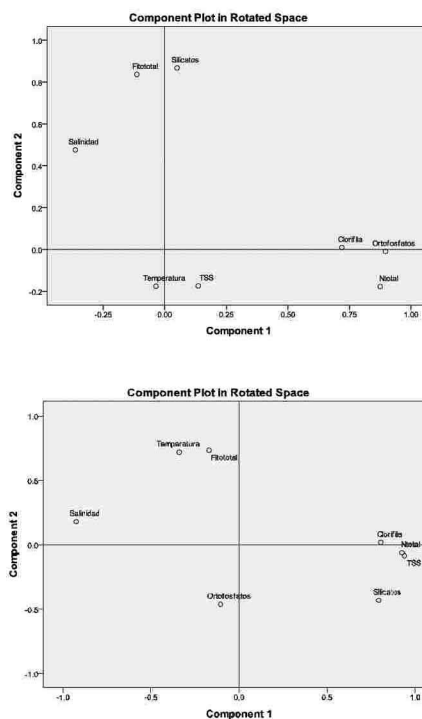


Figura 1: Gráficos de componentes rotados en el espacio. a) Mar Menor y b) Mar Mediterráneo.

## Referencias

- [1] J.D.H. Strickland and T.R. Parsons "A practical handbook of seawater analysis" FISHERIES RESEARCH BOARD OF CANADA. Ottawa 1968.
- [2] K. Grasshof, K. Kremling, M. Ehrhardt "Methods of Seawater Analysis" WILEY-VCH Verlag GmbH. 1999.
- [3] M. Massuti and R. Margalef "Introducción al estudio del plancton marino" 1950.
- [4] C.R.Tomas "Identifying marine phytoplankton" Academic Press. San Diego 1996.
- [5] Legendre, P. and L. Legendre "Numerical ecology". Amsterdam 1998. ISBN 0-444-89249-4.
- [6] M.C., Ruiz and A. Guillamón. "Análisis multivariante, series temporales y fiabilidad. Aplicaciones con SPSS" Universidad Politécnica de Cartagena. 2008. ISBN 978-84-95781-98-7.
- [7] W.S. Stumm and J.J. Morgan "Aquatic Chemistry" Nueva York 1981.