

LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE BAÑO EN LAS LAGUNAS DE RUIDERA*

por

Miguel ÁLVAREZ COBELAS**

A mi padre, médico

* Registrado el 3 de septiembre de 2002. Aprobado el 9 de abril de 2003.

** Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC, Serrano, 115 dpdo., 28006 Madrid.

E-mail: malvarez@ccma.csic.es

RESUMEN

La Delegación de Sanidad de Albacete lleva recogiendo datos quincenales desde 1987 sobre la calidad de las aguas de baño de las lagunas de Ruidera. En este trabajo he realizado un pequeño análisis estadístico sobre los mismos, intentando caracterizar la distribución general en las lagunas y las tendencias de la misma a largo plazo.

A grandes rasgos, puede afirmarse que la calidad de las aguas de baño en las lagunas de Ruidera ha empeorado. Hay muy pocas relaciones estadísticamente significativas entre las variables bacterianas (Coliformes totales, fecales y *Streptococos* fecales) y las variables físico-químicas de la calidad (oxígeno, temperatura, pH, conductividad, turbidez, fosfatos totales, amonio, nitratos y materia orgánica al permanganato). Tampoco las relaciones estadísticas entre los grupos bacterianos indicadores de calidad son demasiado estrechas. Hay una tendencia al aumento de la contaminación bacteriana de origen fecal desde las lagunas más altas (Concejo) a las más bajas (Cueva Morenilla), de tal modo que las lagunas altas suelen tener menos bacterias de importancia sanitaria que las bajas. En muchas lagunas, hay una tendencia al aumento de la concentración de los indicadores bacterianos de calidad de aguas de baño a medida que pasan los años, es decir, en 1987 había menos bacterias sanitarias que ahora en la mayor parte de las lagunas. La estacionalidad de la abundancia de las bacterias de interés sanitario no es muy marcada, es decir, la contaminación fecal se puede producir en cualquier momento de la temporada de baño. He comprobado la existencia un ritmo alternante de aumentos y disminuciones de la densidad bacteriana en la mayor parte de las lagunas que probablemente dependa de la duración de las vacaciones de los visitantes. No he encontrado relación estadística entre Coliformes fecales (como indicador de contaminación fecal) y número de visitantes (como indicador

del número de bañistas). Los datos sobre el funcionamiento de los sistemas de depuración de viviendas e industria hotelera en el entorno de Ruidera son muy incompletos aún y no se puede deducir nada de ellos sobre sus supuestos efectos en la calidad de las aguas de baño.

Finalmente, hago algunas recomendaciones sencillas para mejorar la calidad de las aguas de baño en Ruidera y perfeccionar sus métodos de medida.

Palabras clave: Sanidad, coliformes totales y fecales, estreptococos, visitantes, depuración de aguas residuales.

ABSTRACT

Bathing water quality of Ruidera lakes (Central Spain)

Data on bathing water quality of Ruidera lakes has been measured fortnightly by the Public Health Service of Albacete (Castilla-La Mancha County, Spain) since 1987. A statistical analysis has been carried out in an attempt to characterise sanitary bacterial pollution in the lakes and its main long-term trends as well. The Ruidera lake complex is an outstanding site in Central Spain, a Natural Park since 1979, comprised by a chain of 15 karstic, travertine lakes.

Broadly speaking, bathing water quality has declined in these lakes. There are only a few, and not very strong, statistically significant correlations among bacterial (total and fecal coliforms, fecal streptococci) and physico-chemical variables (temperature, dissolved oxygen, pH, conductivity, turbidity, total phosphate, ammonia, nitrate and organic matter). Also, statistical relationships within bacterial consortia are weak. An increasing trend in bacterial abundance has been proved from upper lakes downstream. Bacterial indicators have increased over time. The seasonality of sanitary bacteria is not remarkable. An alternating rhythm of sanitary bacteria takes place in most lakes and this may be related with holidays' length. No statistically significant relationship has been found between fecal coliforms (as an index of fecal pollution) and tourists (as an index of bathers). Furthermore, data on wastewater treatment systems in the area are still scanty and so no effects can be drawn on their assumed relationship with bathing water quality.

Some simple recommendations are outlined to improve bathing water quality in these lakes.

Keywords: Public health, total and fecal coliforms, streptococci, bathers, wastewater treatment.

¿Qué. a estudiar la discoteca de los virus?
Un ruidereño

0. INTRODUCCIÓN

La calidad de un agua para baño ha sido tipificada por la Comunidad Europea en su Directiva 76/160/EEC, de 1976. En España se incluyó una normativa legal sobre el tema en la Ley de Aguas, publicada como Real Decreto 734/1988 del 1 de julio en el Boletín Oficial del Estado de 13 de julio de 1988. A partir de la entrada en vigor de dicho Real Decreto, se comienzan a analizar sistemáticamente las aguas de baño en nuestro país, incluyendo las de las Lagunas de Ruidera.

Los análisis que lleva a cabo la Administración se hacen públicos, siguiendo las normativas legales españolas y europeas, antes de la temporada de baño siguiente a aquélla en la que se han tomado las muestras. Por descontado, los resultados de los análisis sólo son válidos para el momento en que se hacen; es decir, al año siguiente no tienen por qué serlo. Y esto es algo que la Unión Europea empieza a reconocer y, por ello, está iniciando una discusión con vistas a modificaciones de la normativa que tengan en cuenta la realidad (véase la Comunicación 860 de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo para la Elaboración de una nueva política de las aguas de baño, Bruselas, 21-XII-2000). Por lo tanto, la declaración de una playa como "no apta para el baño" no es representativa de las condiciones sanitarias de dicha playa en el momento en que se hace pública, pero puede servir como indicador de que la Administración y los bañistas debe tomar precauciones porque las condiciones sanitarias perjudiciales para el baño pueden repetirse en la temporada en curso. Se trata, pues, de una actitud preventiva.

La Organización Mundial de la Salud considera que las enfermedades transmitidas por el agua están entre las más frecuentes en el mundo. Cada año hay 300 millones de personas infectadas de malaria y de otras enfermedades transmitidas a través del agua o de seres vivos que residen en ella, a causa de las cuales fallece más de un millón de seres humanos (WHO, 2002).

Sin embargo, muchos de los microorganismos patógenos no pueden vivir mucho tiempo en el agua, de modo que deben transmitirse con rapidez (en pocos días) para que su infección tenga lugar (Fernández-Crehuet y Espigares 1995). De lo contrario, la mayor parte de ellos mueren.

El número de enfermedades que pueden ser transmitidas por el agua es considerable. Virus, bacterias, protozoos, algas, nematodos, cestodos y helmintos son los principales organismos transmisores de enfermedades que puede portar el agua (García Martín y cols. 1995). Entre las enfermedades que pueden causar se cuentan: cólera, diarreas varias, gastroenteritis aguda, fiebres tifoideas, disentería bacilar, dermatitis, infecciones oculares, hepatitis, legionelosis, leptospirosis, enfermedades paralizantes, faringitis, etc. (Borrego y Figueras 1997). Además, hay enfermedades transmitidas por organismos que viven en el agua (llamados "vectores"), como los mosquitos que transmiten la malaria cuyas larvas son acuáticas.

Aunque los datos existentes no son muy completos, porque muchas enfermedades debidas al agua rara vez se registran epidemiológicamente en España, se sabe que hubo 340 brotes de enfermedades de origen hídrico en nuestro país entre 1988 y 1991 (Fernández Crehuet y Espigares 1995).

La calidad de las aguas de baño se evalúa mediante una serie de variables físicas, químicas y bacteriológicas. El fundamento principal de ese conjunto de variables es que, si aparece una determinada concentración de bacterias indicadoras de contaminación fecal en el agua, cabe sospechar que el agua pueda contener otras bacterias patógenas de efectos más perjudiciales para la salud de las personas que se bañen en esas aguas. Así que las variables estudiadas, al menos las que lo son de un modo rutinario, son simples indicadores de que *podría* haber microorganismos patógenos en las aguas que superan un determinado nivel de algunas de esas variables. Es decir, los análisis de calidad intentan prevenir una posible afección a la salud humana, pero el que un agua se tipifique como "no apta para el baño" no significa que necesariamente contenga microorganismos patógenos o, si los contiene, éstos podrían no ser suficientes para provocar una enfermedad (Borrego y Figueras 1997). Dicho de otro modo, por una vez y sin que haya muchos precedentes, la acción de la Administración pública sigue la razonable norma del "más vale prevenir".

Como la determinación de todos los posibles organismos patógenos presentes en un agua sería muy costosa en tiempo y dinero, la práctica más común, que ya tiene más de un siglo de antigüedad, es el estudio de unos organismos "indicadores" no necesariamente patógenos. Esos indicadores habrían de tener una ecología algo semejante a la de los patógenos, una resistencia y persistencia en el medio similares a las de los patógenos y la metodología para su determinación habría de ser sencilla y barata (Borrego y Figueras 1997).

Los grupos de indicadores bacterianos más utilizados son los Coliformes totales, los Coliformes fecales y los *Estreptococos* fecales. Los primeros son bacterias bacilares aerobias o anaerobias facultativas, gram-negativas, que no forman esporas y fermentan la lactosa produciendo gas y ácido a las 24-48 horas de incubación a 36 °C. Pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae* e incluyen *Escherichia coli* y varias especies de los géneros *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Citrobacter*.

Los Coliformes fecales son un subgrupo de los anteriores y se diferencian de ellos porque producen lactosa y ácido a temperatura superior que aquéllos (44.5 °C) cuando llevan dos días de incubación. Entre ellos, se cuentan miembros de los géneros *Klebsiella* y *Escherichia*.

Los *Estreptococos* fecales pertenecen al género *Enterococcus*, crecen a 10 y 45 °C, resisten temperaturas de 60 °C durante media hora, pueden vivir a pH 9.6 y con concentraciones de 6.5% de ClNa y son capaces de reducir soluciones de azul de metileno al 0.1% (Borrego y Figueras 1997). En general, los *Estreptococos* fecales son más bien indicadores de contaminación fecal por ganado o animales domésticos. En las aguas naturales, la muerte de *Estreptococos* tiene lugar más rápidamente que la de los Coliformes (Olivieri, 1982).

Los primeros datos sobre la calidad de las aguas de baño en el Parque Natural de las Lagunas de Ruidera fueron realizados por Concepción Olmedo y Francisco Javier Santamarta en el verano de 1986 y elaboradas dentro de un manuscrito no publicado, titulado "Estudio de la calidad de las aguas de baño en las lagunas de Ruidera durante la época estival", siguiendo los métodos oficiales de análisis en vigor en aquel momento. Los análisis dieron algunos resultados dignos de preocupación y, al verano siguiente, de modo sistemático la Delegación de Sanidad de Albacete comenzó a realizar estudios sistemáticos sobre la calidad del agua de baño en las lagunas, estudios que se prolongan hasta la actualidad.

En los últimos años ha habido numerosas noticias en los medios de comunicación sobre la disminución de la calidad de las aguas de baño en las lagunas. Dichas noticias se consideran perjudiciales para la industria turística y han generado la consiguiente alarma y preocupación en turistas, empresarios de turismo y administraciones locales, regionales y estatales.

Normalmente, los organismos de la Administración española encargados de la Sanidad Ambiental trabajan contra reloj y con escaso personal. Consiguen producir resultados analíticos con relativa rapidez, pero no tienen tiempo material para estudiar con perspectiva, a largo plazo, los datos que ellos mismos han generado. Sabedor del buen conjunto de datos de que disponía la Delegación de Sanidad de Albacete sobre la

calidad de aguas de baño de las lagunas de Ruidera, me dirigí a ella para que me dejara hacer uso de ellos dentro de un Proyecto de Investigación financiado con fondos FEDER. La Delegación me remitió los datos que poseía y, al ver su número y riqueza, me pareció oportuno realizar un análisis estadístico de los mismos con vistas a establecer las tendencias a largo plazo, si las hubiere, y las relaciones entre las distintas variables y lagunas desde esa perspectiva temporal no inmediata.

1. MATERIAL Y MÉTODOS

Este estudio pretende sacar algunas conclusiones del enorme número de datos producido por la Delegación de Sanidad de Albacete durante tantos años (1987-2001). Sus muestreos suelen ser quincenales en todas las playas de Ruidera con agua. Algunos años se tomaron muestras también en invierno, pero –en general– las campañas de muestreo comienzan a finales de la primavera y se prolongan hasta el comienzo del otoño.

Las variables físicas medidas habitualmente por la Delegación de Sanidad de Albacete fueron la temperatura y la conductividad (la cual es un buen indicador de las sales disueltas en el agua). En cuanto a las variables químicas, se cuentan el oxígeno disuelto, la turbidez, el pH, el nitrato, el amonio, el fosfato total y la materia orgánica al permanganato. Las variables bacteriológicas medidas fueron los Coliformes totales, los Coliformes fecales y los Estreptococos fecales. En ocasiones, se medían también otras variables, tales como las densidades de *Salmonella* o *Shigella*, pero –dada su escasa frecuencia de análisis– no me ha parecido oportuno incluirlas en este estudio estadístico global. Los protocolos analíticos empleados por el laboratorio de la Delegación de Sanidad fueron los indicados por el Real Decreto 734/88.

El periodo de años que abarca mi estudio discurre desde 1987 hasta 2001, habiendo trabajado con todos los datos que me fueron facilitados. Como mi objetivo principal era apreciar la calidad de las aguas de baño en su conjunto y su evolución en el tiempo, he descartado en mi análisis los datos de lagunas que no han sido muestreadas en la mayor parte de los años considerados; es el caso de la laguna Redondilla, más tiempo sin agua que con ella durante el periodo de estudio.

En este trabajo, he hecho una labor de ordenación de la información disponible, trabajando con las variables citadas en el párrafo anterior. Así que he tratado de hacer unos cálculos para conocer los promedios y la variabilidad de cada grupo bacteriano en cada laguna. También he tratado

de conocer las relaciones entre las variables físico-químicas y bacteriológicas mediante correlaciones lineales. Y finalmente, he querido comprobar si hay tendencias a largo plazo en las variables bacteriológicas.

Como la concentración de las bacterias puede alcanzar cifras muy altas, en muchos casos he debido emplear una escala logarítmica, con objeto de que se aprecien mejor las evoluciones temporales de cada variable y poder realizar determinados análisis estadísticos que requieren distribuciones estadísticas "gaussianas", como el análisis de la varianza, por ejemplo. También para que se vea la gran variación dentro de cada año he usado la representación de Box-Whisker, llamada en castellano representación de "bigotes y cajitas", que permite visualizar con facilidad la media, la mediana y los extremos de cada conjunto de datos.

Implícito en la normativa legal está el hecho de que las variables físico-químicas y bacteriológicas que se miden para evaluar la calidad de las aguas de baño están relacionadas, lo cual significa, por ejemplo, que a mayor turbidez, mayor concentración de Coliformes totales. Decidí comprobar si ello era así buscando correlaciones estadísticas dentro del conjunto de datos de cada laguna.

También me interesé en saber si los datos bacteriológicos de cada año diferían de los encontrados en otros años. O, dicho de otro modo, si había cambios en las cifras globales anuales de cada laguna en distintos años. Esto lo hice transformando los datos mediante una transformación logarítmica, con objeto de normalizarlos en sentido estadístico, y poder emplear un análisis de la varianza convencional de un factor: el tiempo en años. Esto sólo lo pude hacer con aquellas lagunas para las cuales había una serie temporal continua, es decir, donde no faltara ningún año intermedio de datos. Esas lagunas fueron: Concejo, San Pedro (en Garijo), Lengua, Salvadora, Santos Morcillo y Colgada (en Restaurante La Colgada).

Como ya he dicho antes, uno de los objetivos de este estudio era comprobar si existen cambios en el tiempo en la sanidad de las lagunas. Una pregunta que se puede hacer la persona interesada en el estado ecológico de las lagunas de Ruidera es si la calidad de las aguas de baño mejora o empeora a medida que pasan los años. Esto se puede saber de manera sencilla viendo los cambios en la clasificación de sus aguas de baño de año en año (véase más abajo). Pero también puede ser de interés observar si hay alguna tendencia clara en las concentraciones bacterianas, si esas concentraciones siguen alguna estacionalidad (por ejemplo, que alcancen los mayores valores coincidiendo con el momento cumbre de la temporada de baños) y si tienen algún ritmo que las haga algo predecibles. Estos

aspectos pueden averiguarse usando las técnicas estadísticas de análisis de series temporales, las cuales requieren una suposición básica: que se trate series largas de datos con la misma periodicidad temporal y sin huecos entre ellos. Este hecho se daba con los conjuntos de datos de las lagunas Concejo, Lengua, Salvadora, Santos Morcillo y Colgada y son las que he usado para llevar a cabo estos análisis, los cuales he preparado previamente para emplear en los análisis sólo los datos de la temporada de baño (mediados de junio-mediados de septiembre) y una periodicidad quincenal en la toma de muestras.

Otra suposición implícita en las normativas de la calidad de baño, pero que nunca se comprueba, es que a mayor densidad de bañistas, mayores posibilidades de contaminación bacteriana. Es prácticamente imposible saber cuánta gente se baña en Ruidera, pero sí es más fácil conocer el número de visitantes. Y puede pensarse sin errar demasiado que el número de bañistas depende del número de visitantes, que a más visitantes durante la época de baño, mayor número de bañistas. Así, puede usarse el número de visitantes como un indicador del número de bañistas y tratar de relacionarlo con las concentraciones de bacterias indicadoras de la calidad de las aguas de baño. A mi disposición han estado los datos de visitantes de las lagunas, recogidos por la Cooperativa PEMJA, S. L. para el Parque Natural Lagunas de Ruidera desde que se empezaron a tener en cuenta (años 1993-2001).

Finalmente, y con los datos de las lagunas mejor estudiadas (Concejo, Salvadora, Santos Morcillo y Colgada) realicé un análisis de la varianza de dos factores con objeto de saber qué factor era más importante en su contaminación de las aguas de baño: la posición de la laguna en la cadena de lagunas o el tiempo transcurrido desde que se comenzó a determinar la calidad de las aguas de baño.

Todos los análisis estadísticos se han realizado siguiendo las indicaciones de los textos de Sokal y Rohlf (1981) y Peña (1995), mediante los paquetes informáticos STATGRAPHICS 4.0 y STATISTICA 5.0.

Legalmente, existe una clasificación de las aguas por su calidad para el baño (Directiva Europea 76/160; Real Decreto 734/88). Hay aguas cuya calidad es buena (tipo 2), aceptable (tipo 1) o inaceptable (tipo 0). Para todas se deben comprobar lo que se denominan "valores guía" y "valores imperativos". En el primer caso, se trata de valores cuya consecución será el objetivo de la acción sanitaria. En el segundo caso, son de cumplimiento obligatorio. Por ejemplo, para las bacterias Coliformes fecales el valor guía es 100 colonias/100 mL y el imperativo 2.000 colonias/100 mL, pero esos valores cambian según las distintas variables

(véase el anexo del Real Decreto 734/88). Serán aguas de muy buena calidad para el baño (tipo 2) aquellas que cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

1ª) Al menos el 95% de los muestreos no sobrepasa los valores imperativos de las variables siguientes: Coliformes totales, Coliformes fecales, *Salmonella*, enterovirus, pH, color, aceites minerales, sustancias tensioactivas, fenoles y transparencia.

2ª) Al menos el 80% de los muestreos no sobrepasa los valores guía de los parámetros siguientes: Coliformes totales y Coliformes fecales.

3ª) Al menos el 90% de los muestreos no sobrepasa los valores guía de las variables siguientes: *Streptococos* fecales, transparencia, oxígeno disuelto y materias flotantes.

Serán aguas de buena calidad para el baño (tipo 1) si cumplen la primera condición anterior, pero no una o las dos siguientes. Las aguas no aptas para el baño (tipo 0) no cumplen la condición 1ª.

En cualquier caso, todos éstos son términos legales con un claro significado preventivo para la salud de las personas que se bañen en las aguas de las que se han hecho análisis de calidad.

1.1. Área de Estudio

Se trata de un paisaje que es el resultado de la acción durante centenares de miles de años de seres vivos (algas, musgos) que, mediante la fotosíntesis, favorecen la deposición de carbonatos sobre ellos y la subsiguiente formación de barreras travertínicas o "tobas" que represan el agua y forman las lagunas (García del Cura y cols. 1997). Se trata de quince lagunas (Blanca, Concejo, Tomilla, Tinaja, San Pedro, Redondilla, Lengua, Salvadora, Santos Morcillo, Batana, Colgada, Rey, Cueva Morenilla, Coladilla y Cenagosa) de distintos tamaños (de 3,5 a 103 Ha), formas (redondas, alargadas, lobulares), orientaciones (E-W, NE-SW, SE-NW) y profundidades (de 1,5 a 21 metros). La mayor parte de ellas tiene unas aguas muy transparentes (2-8 metros de transparencia; Álvarez Cobelas y cols. 2002), bicarbonatadas-cálcicas, con elevadas concentraciones de nitrato (15-60 mg/L; Álvarez Cobelas y cols. 2004), praderas subacuáticas de ovas (algas de los géneros *Chara* y *Nitella*; Cirujano y Medina 2001) y una variada fauna piscícola (Almodóvar y Elvira 1997).

Las lagunas son un recurso turístico muy importante para Castilla-La Mancha. Anualmente han estado recibiendo unos 200.000 visitantes anuales, con un máximo de 448.000 personas en 1997, año en el que el lle-

nado total y desbordamiento de las lagunas atrajo a más turistas (datos del Parque Natural). Algunos turistas se bañan en las lagunas: otros muchos generan desechos que se evacúan a través de los sistemas de aguas residuales que tienen viviendas, bares, restaurantes y chiringuitos y que pueden alcanzar las lagunas por filtración desde las fosas sépticas.

No todas las lagunas tienen zonas de playa. En la actualidad las hay en las lagunas Concejo, extremo W de la Tomilla (Baño de las Mulas), San Pedro (zonas del Restaurante Garijo y del Hotel Albamanjón), Lengua, Salvadora, Santos Morcillo, Colgada (playas del Restaurante La Colgada y del Hotel Entrelagos), Rey y Cueva Morenilla (Fig. 1). En general, las zonas de playa tienen muy poca extensión, algunos cientos de metros cuadrados como máximo, lo cual determina que la posible contaminación sanitaria esté muy concentrada.

2. RESULTADOS

Comenzaré haciendo un estudio pormenorizado laguna por laguna, en el caso de aquéllas que disponen datos a largo plazo de su calidad como agua de baño. A continuación, realizaré un análisis conjunto de las lagunas e intentaré buscar algunas regularidades de carácter general.

2.1. Laguna Concejo

La correlación entre variables ha dado como resultado relaciones estadísticamente significativas, pero con pequeño poder explicativo entre Coliformes totales, fecales, Estreptococos, temperatura y amonio. Los Estreptococos se relacionan con los Coliformes totales, los fecales y la temperatura (Tabla I). Todas las relaciones son positivas, es decir, a mayor cantidad de una variable, mayor de la otra u otras. Así, podemos ver que cuando aumenta la temperatura o el amonio, lo hacen los Coliformes totales. Sin embargo, el único factor ambiental que se relaciona con los Estreptococos es la temperatura. Y con los Coliformes fecales, ninguno. No hay más correlaciones estadísticamente significativas con el resto de las variables medidas y las existentes presentan todas unos valores muy bajos, es decir, su poder explicativo es pequeño.

	Colif. Totales	Colif. Fecales	Temperatura
Colif. Fecales	0,19//0,0001		
Estreptococos	0,28//0,0000	0,06//0,046	0,09//0,0085
Temperatura	0,10//0,0073		
Amonio	0,08//0,0109		

Tabla 1. Coeficientes de determinación (R^2) de las relaciones entre variables sanitarias en la laguna Concejo para todos los datos disponibles. El primer miembro de cada par es el coeficiente de determinación y el segundo, el nivel de probabilidad.

Hemos buscado una ecuación que nos permita predecir la abundancia de las bacterias Coliformes totales en función de las variables físico-químicas de la tabla 1, con el resultado siguiente:

$$\text{Log}_{10} (\text{Colif. totales}) = -0,48 + 2,24 * \text{Log}_{10} (\text{Temperatura}) + 0,08 * (\text{Amonio})$$

$$R^2 = 0,19; p = 0,0001$$

El poder predictivo de la ecuación es bajo. Es decir, resulta difícil poder predecir la densidad de los Coliformes totales en la laguna Concejo con algo de seguridad en función de las variables ambientales (temperatura y amonio) que presumiblemente la condicionan. En el caso de los otros grupos bacterianos, ni siquiera vale la pena realizar este ejercicio a la vista de las escasísimas correlaciones significativas de la Tabla 1.

La evolución temporal de los grupos bacterianos se observa en la Figura 2, donde se indican los valores guía y los imperativos que sugiere la normativa legal.

Si representamos la evolución de las densidades de Coliformes totales en los distintos años (Fig. 3), veremos la gran variabilidad que pueden alcanzar en casi cualquier año y la aparente similitud de densidad entre todos los años. Esa similitud no es tal, es decir, hay diferencias estadísticamente significativas entre las densidades de Coliformes totales de todos los años estudiados (análisis de la varianza de un factor sobre datos transformados mediante el logaritmo en base 10; $F = 1,98$, $p = 0,0359$) o, dicho de otro modo, la variabilidad de los Coliformes totales de unos años respecto a los otros es superior a la variabilidad que se tiene dentro de un año determinado. Lo mismo se puede decir de los Coliformes fecales

($F = 3.22$, $p = 0.0088$) y de los *Estreptococos* ($F = 3.82$, $p = 0.0001$). Los valores de la F de Fisher nos indican que la mayor variabilidad entre años la presentan los *Estreptococos* en esta laguna, es decir, su densidad es la que más cambia de unos años a otros.

En cuanto a las tendencias a largo plazo, sólo los Coliformes fecales presentan una tendencia creciente que puede ajustarse a la ecuación:

$$\text{Log}_{10} (\text{Coliformes fecales}) = 0.79 + 0.007 * t \quad (t = \text{tiempo en quin-} \\ \text{cenas; } R = 0.20; p = 0.04)$$

Es decir, a medida que avanza el tiempo va habiendo mayores cifras de Coliformes fecales. Los otros dos grupos bacterianos no presentan tendencia a largo plazo.

Los tres grupos presentan estacionalidad, más marcada en el caso de los *Estreptococos* (Fig. 4), alcanzando sus máximos por lo general en el centro de la temporada de baños, mientras que los Coliformes totales lo hacen hacia el principio de la temporada y los fecales hacia el final.

He intentado también observar si existe algún ritmo cíclico en la evolución de la densidad de los grupos bacterianos. En el caso de los Coliformes totales, no existía, pero sí en el de los fecales y los *Estreptococos*. Los Coliformes fecales tienen un ritmo alternante cada mes ($R = -0.32$; desfase = 2; $p < 0.05$), es decir, de densidades altas se pasa a densidades bajas. El mismo efecto se da en los *Estreptococos* ($R = -0.22$; desfase = 1; $p < 0.05$), pero el ritmo es más rápido, pues sucede cada quince días.

2.2. Laguna Tomilla (Baño de las Mulas)

Los Coliformes totales se relacionan directamente con los *Estreptococos* y la temperatura e inversamente con el nitrato, de manera similar a como lo hacen los *Estreptococos* (Tabla 2). Los Coliformes fecales no presentan correlación estadísticamente significativa con ninguna de las variables estudiadas.

	Colif. Totales	Temperatura	Nitrato
Colif. Totales		0.21//0.0033	0.27//0.0007
Estreptococos	0.49//0.0000	0.15//0.015	0.56//0.0000

Tabla 2. Coeficientes de determinación (R^2) de las relaciones entre variables sanitarias en la laguna Tomilla para todos los datos disponibles. El primer miembro de cada par es el coeficiente de determinación y el segundo, el nivel de probabilidad.

Las ecuaciones que ligan a los grupos bacterianos con los factores abióticos son las siguientes:

$$\text{Log}_{10} (\text{Coliformes totales}) = -0.30 - 0.42 * \text{Log}_{10} (\text{Nitrato}) + 2.47 * \text{Log}_{10} (\text{Temperatura}) \quad R^2 = 0.39; p = 0.0000$$

$$\text{Log}_{10} (\text{Estreptococos}) = -0.74 - 0.51 * \text{Log}_{10} (\text{Nitrato}) + 2.06 * \text{Log}_{10} (\text{Temperatura}) \quad R^2 = 0.30; p = 0.0000$$

Aunque el poder predictivo de las ecuaciones mejora respecto al del descrito para la laguna Concejo, sigue siendo bajo, pues estas ecuaciones –las mejores posibles– dejan aún sin explicar un 61% y un 70% de la variabilidad de Coliformes totales y Estreptococos, respectivamente.

Los valores guía y los imperativos de la normativa legal se representan en la Figura 5, junto con la evolución temporal de las bacterias de interés sanitario en esta laguna, bastante errática.

El número de datos existente para esta laguna no es suficiente para intentar análisis análogos a los que realicé para la laguna Concejo.

2.3. Laguna San Pedro (zona de Garijo)

Los Coliformes totales sólo se relacionan de manera estadísticamente significativa con los fosfatos totales, mientras que los Coliformes fecales lo hacen con la temperatura de modo directo y el oxígeno disuelto de modo inverso. Los Estreptococos no muestran relación con ninguna variable bacteriológica o abiótica. Los otros dos grupos tampoco se relacionan entre sí (Tabla 3).

	Fosfatos Totales	Temperatura	Oxígeno
Colif. Totales	0,58//0,0000		
Colif. Fecales		0,18//0,005	0,23//0,0016

Tabla 3. Coeficientes de determinación (R^2) de las relaciones entre variables sanitarias en la laguna San Pedro para todos los datos disponibles. El primer miembro de cada par es el coeficiente de determinación y el segundo, el nivel de probabilidad.

Las ecuaciones que relacionan la densidad bacteriana con los factores ambientales son las siguientes:

$$\text{Log}_{10} (\text{Coliformes totales}) = 2,26 - 0,42 * (\text{Fosfatos totales})$$

$$R^2 = 0,52; p = 0,0000$$

$$\text{Log}_{10} (\text{Coliformes fecales}) = -0,41 - 1,29 * \text{Log}_{10} (\text{Oxígeno}) + 1,60 * \text{Log}_{10} (\text{Temperatura})$$

$$R^2 = 0,30; p = 0,0000$$

Como indican las ecuaciones superiores, la posibilidad de predecir la densidad de los grupos bacterianos en función de las variables ambientales, sigue siendo no demasiado alta, pues quedan por explicar con ellas un 48% y un 70% de la variabilidad de Coliformes totales y Coliformes fecales, respectivamente, en la laguna San Pedro.

La Figura 6 muestra la evolución de las concentraciones de grupos bacterianos, junto con los valores guía e imperativos, en la playa de Garijo de la laguna San Pedro, pero en ella no se aprecia una pauta temporal clara.

El número de datos es insuficiente para llevar a cabo análisis similares a los realizados en el caso de la laguna Concejo.

2.4. Laguna Lengua

Los Coliformes totales no se relacionan con ninguna variable: los fecales, con la temperatura; los Estreptococos, con la temperatura de forma directa y con el oxígeno disuelto de forma inversa, pero en todos los casos esas relaciones explican menos del 14% de la variabilidad observada, lo cual quiere decir que hay otras variables que no se midieron que darían cuenta mucho mejor de esa variabilidad, aunque no sepamos cuáles son.

La evolución temporal de los datos de bacterias de interés sanitario en la laguna Lengua se refleja en la Figura 7, donde se incluyen también los valores guía e imperativos.

Si se representa la evolución interanual de los Coliformes totales (Fig. 8), se observa que no hay diferencia entre unos años y otros. Cosa que sí ocurre cuando se estudian los Coliformes fecales (análisis de la varianza: $F = 2,62$, $p = 0,0096$) y los Estreptococos ($F = 2,06$, $p = 0,040$).

Los Coliformes totales no presentan ninguna tendencia respecto al tiempo, ni aumento ni disminución y sólo una ligera estacionalidad. Sin embargo, tanto Coliformes fecales como Estreptococos sí aumentan su densidad respecto al tiempo y a una tasa similar como muestran las pendientes de las ecuaciones siguientes:

$$\text{Log}_{10}(\text{Coliformes fecales}) = 0,34 + 0,012 * t \quad (t = \text{tiempo en quincenas}; \\ R = 0,29; p = 0,02)$$

$$\text{Log}_{10}(\text{Estreptococos}) = 0,37 + 0,013 * t \quad (t = \text{tiempo en quincenas}; \\ R = 0,28; p = 0,02)$$

En cuanto a los posibles ciclos, los Coliformes totales presentan un ciclo alternante cada mes y medio ($R = -0,28$; desfase = 3; $p < 0,05$), mientras que fecales ($R = -0,27$; desfase = 2; $p < 0,05$) y Estreptococos lo hacen cada mes ($R = -0,32$; desfase = 2; $p < 0,05$). Esto quiere decir que los máximos de densidad de los Coliformes totales van seguidos de un mínimo un mes y medio más tarde, mientras que los máximos de fecales y Estreptococos van seguidos de un mínimo un mes después.

2.5. Laguna Salvadora

Los Coliformes totales se relacionan con los Estreptococos ($R^2 = 0,11$, $p = 0,0021$), la temperatura ($R^2 = 0,07$, $p = 0,014$) y los fosfatos totales ($R^2 = 0,11$, $p = 0,0021$), mientras que los Estreptococos sólo se relacionan con la temperatura ($R^2 = 0,14$, $p = 0,0006$). Los Coliformes fecales no muestran relaciones estadísticamente significativas con ninguna variable de las medidas. Como se ve, parece muy difícil predecir la concentración de alguno de los grupos bacterianos a partir de los factores ambientales medidos.

El curso temporal de los grupos bacterianos se refleja en la Figura 9, junto con los valores guía y los imperativos.

La evolución interanual de los Coliformes totales (Fig. 10) muestra

cambios que son estadísticamente diferentes (análisis de la varianza sobre los datos transformados logarítmicamente: $F = 2.69$, $p = 0.0024$); lo mismo sucede con los fecales ($F = 3.45$, $p = 0.0002$), pero no con los *Estreptococos*. Por tanto, los Coliformes fecales varían más que los totales de un año para otro.

Los Coliformes totales no muestran tendencia temporal alguna, pero los fecales y los *Estreptococos* sí, de acuerdo con las siguientes ecuaciones lineales:

$$\text{Log}_{10} (\text{Coliformes fecales}) = 0.37 + 0.011 * t \quad (t = \text{tiempo en quincenas}; \\ R = 0.38; p = 0.01)$$

$$\text{Log}_{10} (\text{Estreptococos}) = 0.90 + 0.007 * t \quad (t = \text{tiempo en quincenas}; \\ R = 0.22; p = 0.06)$$

La estacionalidad no es en ningún caso muy marcada, lo cual nos habla de la irregularidad de la contaminación fecal que sufre la laguna. Dicho de otro modo, no todos los años esa contaminación ocurre en los mismos momentos de la estación de baño.

En cuanto a los ritmos, los dos tipos de Coliformes presentan un ritmo alternante mensual ($R = -0.35$, $R = 0.22$, desfase = 2, $p < 0.05$, respectivamente) y cada mes y medio en el caso de los *Estreptococos* ($R = -0.38$, desfase = 3, $p < 0.05$).

2.6. Laguna Santos Morcillo

De nuevo, las correlaciones entre los parámetros sanitarios de esta laguna son muy débiles en el caso de las estadísticamente significativas. Sólo los *Estreptococos* muestran una correlación con el nitrato ($R^2 = 0.31$, $p = 0.0000$) y con la temperatura ($R^2 = 0.05$, $p = 0.0465$).

La evolución temporal de las bacterias de interés sanitario se muestra en la Figura 11.

Hay una gran variabilidad interanual en el caso de Coliformes totales (Fig. 12; $F = 5.72$, $p = 0.0000$) y fecales ($F = 6.38$, $p = 0.0000$), que es algo menor, pero también estadísticamente significativa para los *Estreptococos* ($F = 2.05$, $p = 0.0227$).

Todos los grupos bacterianos presentan una tendencia creciente respecto al tiempo, todos aumentan a medida que el tiempo pasa. Las ecuaciones son las siguientes:

$$\text{Log}_{10} (\text{Coliformes totales}) = 1.07 + 0.014*t \text{ (t = tiempo en quincenas: } \\ \text{R} = 0.43; \text{p} = 0.008)$$

$$\text{Log}_{10} (\text{Coliformes fecales}) = -0.13 + 0.016*t \text{ (t = tiempo en quincenas: } \\ \text{R} = 0.54; \text{p} = 0.005)$$

$$\text{Log}_{10} (\text{Estreptococos}) = 0.40 + 0.010*t \text{ (t = tiempo en quincenas: } \\ \text{R} = 0.28; \text{p} = 0.04)$$

Sólo los Coliformes fecales presentan una ligera estacionalidad.

En cuanto a los ritmos, los Coliformes totales no los presentan, pero los otros dos grupos sí, con un ciclo alternante con desfase de un mes en el caso de ambos tipos de bacterias ($R = -0.20$ y $R = -0.28$, desfase = 3, respectivamente, $p < 0.05$).

2.7. Laguna Colgada (playa del Restaurante La Colgada)

Los Coliformes totales se relacionan con los fosfatos totales ($R^2 = 0.35$, $p = 0.0000$) y con la temperatura ($R^2 = 0.05$, $p = 0.039$). No hay ninguna otra relación estadísticamente significativa entre variables.

En la Figura 13 se representa la evolución temporal de las concentraciones de bacterias de interés sanitario en la laguna Colgada, a la altura del restaurante del mismo nombre.

Todos los grupos presentan una apreciable variabilidad de un año a otro (Fig. 14), que es más marcada en el caso de los Coliformes fecales ($F = 5.86$, $p = 0.0000$), siendo la de los totales menor ($F = 4.48$, $p = 0.0000$) y quedando la última la de los Estreptococos ($F = 3.74$, $p = 0.0001$).

Al igual que en la laguna Santos Morcillo, todos los grupos bacterianos presentan una tendencia marcada al aumento con el tiempo, de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Log}_{10} (\text{Coliformes totales}) = 1.37 + 0.014*t \text{ (t = tiempo en quincenas: } \\ \text{R} = 0.47; \text{p} = 0.0001)$$

$$\text{Log}_{10} (\text{Coliformes fecales}) = 0.12 + 0.014*t \text{ (t = tiempo en quincenas: } \\ \text{R} = 0.44; \text{p} = 0.008)$$

$$\text{Log}_{10} (\text{Estreptococos}) = 0.50 + 0.012*t \text{ (t = tiempo en quincenas: } \\ \text{R} = 0.38; \text{p} = 0.01)$$

Tampoco hay una estacionalidad marcada para ninguno de los grupos. Y hay un ritmo alterno cada quincena en el caso de los Coliformes fecales ($R = -0.29$, desfase = 1, $p < 0.05$) y cada mes y medio en el de los

Estreptococos ($R = -0.31$, desfase = 3, $p < 0.05$). Los Coliformes totales carecen de ciclo alguno.

2.8. Laguna Colgada (playa del Hotel Entrelagos)

No hay correlaciones estadísticamente significativas entre bacterias y factores ambientales en esta playa. La única correlación de interés tiene lugar entre Coliformes totales y Estreptococos ($R^2 = 0.41$, $p = 0.0004$). La evolución de los componentes bacterianos de interés sanitario se presenta en la Figura 15. en la que hay mayor densidad de Estreptococos hacia finales del periodo de estudio.

El número de datos existente en esta playa es insuficiente para llevar a cabo otros análisis estadísticos.

2.9. Laguna del Rey

En este lago sólo destaca la correlación entre Coliformes totales y fecales ($R^2 = 0.64$; $p = 0.0000$). Las existentes entre totales y Estreptococos y entre éstos y Colifecales son del mismo orden ($R^2 = 0.14$; $p = 0.019$). No hay otras relaciones estadísticamente significativas. La evolución temporal de las densidades bacterianas en esta playa se muestra en la Figura 16. Coliformes fecales y Estreptococos parece que aumentan en el tiempo.

El número de datos es escaso para intentar otros análisis.

2.10. Laguna Cueva Morenilla

Las escasas relaciones estadísticamente significativas entre variables son de bajo capacidad explicativa, pues ninguna supera el 20% de variabilidad explicada. Los Colifecales se relacionan con conductividad y Estreptococos, mientras que los Coliformes totales lo hacen inversamente con el pH. En cuanto a la evolución temporal de los grupos bacterianos (Fig. 17), Colifecales y Estreptococos aumentan en los últimos años del estudio.

No disponemos de datos para hacer un estudio estadístico más pormenorizado.

2.11. Comparación entre lagunas

Las Lagunas de Ruidera se sitúan formando un rosario desde las zonas topográficamente más elevadas (Concejo) a las más bajas (Cueva Morenilla). Los turistas suelen usar más las lagunas medias y bajas que las altas, simplemente porque el acceso a las mismas comienza en la zona baja, en el pueblo de Ruidera. Así que una pregunta que cabe hacerse es ¿aumenta la concentración de bacterias de interés sanitario de las lagunas altas a las bajas?

La Figura 18 demuestra que esto es lo que ocurre. Para elaborarla he elegido a los Colifecales, que son un indicador mejor de la contaminación fecal de origen humano que los Coliformes totales o los Estreptococos (Espigares y Moreno, 1995). Como puede verse en la gráfica, parece haber un aumento de la cantidad de estas bacterias desde las lagunas altas a las bajas; la figura puede inducir a confusión porque el que unas barritas estén desplazadas un poco respecto a las adyacentes no significa que tengan más o menos Colifecales. De hecho, el "test" estadístico de Mann-Whitney, aplicado a cada par de lagunas adyacentes indica que siempre la de más abajo de cada par tiene una densidad de estas bacterias mayor o igual que la más alta (Tabla 4).

Concejo-Tomilla	p = 0,039
Tomilla-San Pedro	p = 0,055
San Pedra-Lengua	p = 0,0044
Lengua-Salvadora	p = 0,00036
Salvadora-S. Morcillo	p = 0,01
S. Morcillo-Colgada	p = 0,56
Colgada-Entrelagos	p = 0,0000
Entrelagos-Rey	p = 0,016
Rey-C. Morenilla	p = 0,12

Tabla 4. Resultados de un "test" estadístico de Mann-Whitney. Si el nivel de probabilidad es superior a 0,05, he considerado a las distribuciones de cada par estadísticamente iguales.

Otra hipótesis a comprobar fue si a un mayor número de bañistas, la concentración de bacterias de interés sanitario era más alta. Como ya indiqué en el Apartado de Material y Métodos, es muy difícil conocer el número de bañistas y he tenido que emplear el número de visitantes de cada laguna como indicador del número de bañistas (o variable independiente) y el de Coliformes fecales como indicador de contaminación fecal. El resultado de este análisis de correlación se refleja en la Figura 19 y es que no hay relación estadísticamente significativa entre ambas variables, es decir, con estos datos no puede afirmarse que la contaminación fecal aumente con el número de visitantes (bañistas) en las lagunas.

Un análisis análogo realizado para cada laguna individual tampoco ha dado resultados estadísticamente significativos (en todos los casos, $p > 0.1$).

Finalmente, quise comprobar qué factor resultaba más importante en la abundancia de las bacterias de interés sanitario en el Parque Natural Lagunas de Ruidera: la situación de cada laguna, el año en cuestión o la interacción entre ambos factores. Para ello, llevé a cabo un análisis de la varianza de dos factores (año x laguna) usando las cuatro lagunas para las que había datos en un mayor número de años (Concejo, Salvadora, Santos Morcillo y Colgada). En el caso de los Coliformes totales, es más importante la posición de la laguna en la cadena de lagos que el año de muestreo, pero también hay un efecto combinado de la posición del lago y del año concreto (Tabla 5). Para los Colifecales y los Estreptococos, se tiene el resultado inverso: el año de muestreo es mucho más importante que la posición de cada lago y no hay interacción entre los factores.

	Cuadrados medios	F	p
COLIFORMES TOTALES			
Año	3,82	6,23	0,0000
Posición de la laguna	5,27	8,59	0,0000
Año x Posición	1,06	1,74	0,0056
COLIFORMES FECALES			
Año	8,61	12,03	0,0000
Posición de la laguna	1,68	2,35	0,0726
Año x Posición	0,99	1,38	0,0709
ESTREPTOCOCOS			
Año	5,77	7,01	0,0000
Posición de la laguna	2,67	3,25	0,0221
Año x Posición	1,04	1,27	0,1377

Tabla 5. Análisis de la varianza de dos factores con las bacterias de interés sanitario de cuatro lagunas (Concejo, Salvadora, Santos Morcillo, Colgada). Los datos de concentración bacteriana se han transformado logarítmicamente para cumplir las condiciones estadísticas del análisis.

2.12. Evolución temporal de la calidad de las aguas de baño

Los datos disponibles, junto con los criterios del Real Decreto 734/88, me han permitido indicar el curso temporal de la calidad de las aguas de baño en las lagunas de Ruidera (Fig. 20). La evaluación de 2000, hecha pública en 2001, puede encontrarse en la hoja "web" del Ministerio de Sanidad y Consumo (www.msc.es/salud/ambiental). Las de años anteriores pueden solicitarse al Ministerio. En general, puede decirse que en años recientes cada vez han sido más frecuentes las declaraciones de algunas lagunas de Ruidera como no aptas para el baño (calificación = 0). El promedio global para todas las lagunas muestra una pauta decreciente con el tiempo (Fig. 21).

3. DISCUSIÓN

La principal misión de este estudio ha sido poner junta la información obtenida por la Delegación de Sanidad de Albacete sobre la calidad de las aguas de baño en Ruidera, lo cual es algo que ellos no han podido hacer por falta de medios y personal. Mi estudio refleja con claridad las tendencias a largo plazo de las bacterias de interés sanitario en las lagunas (véanse los apartados dedicados a cada lago). También resultan patentes la gradación de la contaminación fecal desde las lagunas altas a las bajas (Fig. 18 y Tabla 4) y el empeoramiento gradual de la calidad sanitaria de la mayoría de ellas a lo largo del tiempo (Figs. 20-21).

Sin embargo, la postulada relación entre número de bañistas y contaminación fecal no queda demostrada (Fig. 19) y es difícil hacerlo porque una mayor densidad de bañistas puede producir una mayor excreción, pero también puede pisotear más los fondos y, dependiendo de la concentración de bacterias en ellos, poner un número variable de bacterias en suspensión. Un estudio más pormenorizado sobre el tema en las lagunas de Ruidera tampoco produjo resultados concluyentes (apartado 4.5 del Informe de Infraestructura y Ecología y Dengra 2001). Además, la relación entre bañistas y bacterias no es instantánea.

Por otra parte, he encontrado muy escasas relaciones significativas entre variables. Incluso las más esperables tampoco se han cumplido, como –por ejemplo– la relación bacterias-turbidez. Aunque este resultado da qué pensar sobre la significación de las variables incluidas en la normativa, no voy a entrar ahora en ese tema, que ya está siendo debatido en la UE (COM 2000/860). Sí creo oportuno reseñar que las respuestas de las

bacterias a los factores ambientales presentan siempre un desfase temporal (Cole, 1999), por lo cual difícilmente puede haber una relación estrecha entre ambos tipos de variables simultáneamente. Es posible, además, que las bacterias estudiadas no dependan demasiado de ninguna de las variables físico-químicas consideradas y sí lo hagan de otras que no se miden habitualmente (como el carbono orgánico; Borrego y Figueras 1997).

Hay otro aspecto que me gustaría recalcar y es la discrepancia entre los valores de densidad bacteriana obtenidos por la Confederación Hidrográfica del Guadiana (CHG) y la Delegación de Sanidad de Albacete (DSA) cuando han muestreado conjuntamente en las mismas lagunas y fechas (véase el apartado 4.8 del informe de Infraestructura y Ecología y Dengra 2001). Los métodos analíticos utilizados fueron los mismos y la disparidad pudo proceder de que en el caso de la CHG se muestrea en zonas de 100-150 cms de profundidad, mientras que el muestreo de la DSA se realiza en la orilla; en general, la concentración de bacterias medida por la CHG fue inferior a la medida por la DSA. El Real Decreto 734/88 indica que los muestreos habrán de realizarse en las zonas de mayor densidad de bañistas y a una profundidad de 30 cms (artículo 5.4), pero es cuestión a discutir si los bañistas se acumulan en zonas donde hay 30 cms de agua o se bañan en zonas más profundas. Además, resulta evidente que un muestreo en la orilla ha de tener siempre mayor turbidez y, si el sedimento funciona como almacén de bacterias, mayor concentración de éstas. Por todo ello, sería de desear una unificación de criterios de muestreo entre ambas entidades.

Sobre los sistemas de depuración de aguas residuales en el entorno de Ruidera, que pudieran influir sobre la calidad de las aguas de baño, aún no se sabe demasiado. El estudio de Infraestructura y Ecología y Dengra (2001) señala que falta todavía información imprescindible por recoger, fundamentalmente por la escasa cooperación de algunos propietarios de viviendas y negocios hosteleros. De todos modos, algunas conclusiones claras sí se pueden extraer: 1ª) desconocimiento por parte de propietarios y encargados del tipo y capacidad del sistema de depuración que tiene su vivienda o establecimiento, 2ª) las fosas sépticas se limpian mucho menos frecuentemente de lo que deberían, 3ª) en muchos casos, los sistemas de depuración se sitúan muy cerca de las lagunas, 4ª) un 77% de los sistemas de depuración cuyas características técnicas se conocen son fosas sépticas y el efluente de las mismas se infiltra directamente en el terreno, pudiendo llegar a las zonas de baño.

Y para finalizar una observación sobre las metodologías de cuanti-

ficación de las bacterias de interés sanitario. Se trata de técnicas que 1º) detectan indicadores, pero no necesariamente patógenos, 2º) están basadas en el enriquecimiento de la muestra original con medios de cultivo específicos, pero selectivos. Aunque puede que se tarde aún algunos años, el futuro de la determinación de la calidad de las aguas de baño posiblemente esté en la detección rápida de patógenos mediante sondas moleculares de bajo coste. Ya se está trabajando en el tema y los resultados parecen muy prometedores (Jones, 1997).

4. CONCLUSIONES

1ª) La calidad de las aguas de baño en las Lagunas de Ruidera ha empeorado desde que comenzaron los análisis sistemáticos en 1987.

2ª) En general, se dan muy pocas relaciones estadísticamente significativas (y cuando existen, no son muy fuertes) entre las variables bacterianas y las variables físico-químicas de la calidad de aguas de baño en Ruidera. Tampoco las relaciones estadísticas entre los grupos bacterianos indicadores de calidad son demasiado estrechas. O, dicho de otro modo, los indicadores físico-químicos de calidad de aguas de baño nos dicen muy poco sobre los bacteriológicos y éstos tampoco sugieren demasiado los unos de los otros.

3ª) Hay una tendencia al aumento de la contaminación bacteriana de origen fecal desde las lagunas más altas (Concejo) a las más bajas (Cueva Morenilla). De modo que las lagunas altas suelen tener menos bacterias de importancia sanitaria que las bajas.

4ª) En muchas lagunas, hay una tendencia al aumento de la concentración de los indicadores bacterianos de calidad de aguas de baño a medida que pasan los años, es decir, en 1987 había menos bacterias sanitarias que ahora en la mayor parte de las lagunas.

5ª) La estacionalidad de la abundancia de las bacterias de interés sanitario no es muy marcada, lo cual quiere decir que la contaminación fecal se puede producir en cualquier momento de la temporada de baño.

6ª) Hay un ritmo alternante de aumentos y disminuciones de la densidad bacteriana en la mayor parte de las lagunas que probablemente dependa de la duración de las vacaciones de los visitantes.

7ª) Aunque la idea corrientemente aceptada del empeoramiento de las aguas de baño es que se debe a los bañistas y a las aguas residuales, no he encontrado relación estadística entre Coliformes fecales (como indicador de contaminación fecal) y número de visitantes (como indicador del

número de bañistas). Los datos de que se dispone sobre el funcionamiento de los sistemas de depuración de viviendas e industria hotelera en el entorno de Ruidera son muy incompletos aún y no se puede deducir nada de ellos en cuanto se refiere a sus supuestos efectos sobre la calidad de las aguas de baño.

5. RECOMENDACIONES

1ª) Continuar con esta clase de análisis de calidad de aguas de baño, pues son muy completos y sirven para ilustrar las tendencias en el uso de un recurso turístico.

2ª) Tratar de aunar esfuerzos con los de la Confederación Hidrográfica del Guadiana, unificando los protocolos de toma de muestras para calidad de aguas de baño.

3ª) Instalar paneles en las playas de Ruidera avisando a los bañistas de que intenten evitar la excreción dentro del agua de las lagunas.

4ª) Llevar a cabo el mayor aislamiento posible de las fosas sépticas y su limpieza frecuente, especialmente las de aquellas instalaciones hosteleras más usadas en el entorno de las lagunas (restaurantes, chiringuitos, hoteles, etc.).

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera podido realizarse sin los datos de la Delegación Provincial de Sanidad de Albacete. Le estoy especialmente agradecido a la Delegada Provincial, Sra. D^a M^a Ángeles López Fuster, por haberme permitido el uso de los datos. También me ha prestado una valiosa colaboración analítica el jefe del laboratorio, Sr. Don Virgilio Liente Peñarubia. El conjunto de datos analíticos de que dispone la Delegación Provincial es el más completo sobre las Lagunas de Ruidera y me es muy grato el reconocerlo públicamente.

La Confederación Hidrográfica del Guadiana me ha proporcionado muchos datos sobre la calidad de las aguas superficiales y subterráneas de las Lagunas de Ruidera. En especial, he tenido interesantes conversaciones sobre el tema con José Ramón Aragón y Ángel Nieva. Este último me ha permitido consultar una copia de un informe reciente elaborado para la CHG sobre el tema de la calidad de las aguas de baño.

El Parque Natural Lagunas de Ruidera y las personas que trabajan

en él ha tenido también una participación intensa en mi trabajo. Federico Grande, Marisa Colmenero, Manuel López Sánchez (Parque Natural Lagunas de Ruidera), Kika Muñoz Oliver, Eusebio Reinoso Bascuñana y Valentín Molina Rodríguez (Cooperativa PEMJA, S. L.) me han facilitado datos y, algo más intangible, buen humor, ánimos y amistad. Quiero también mencionar aquí a Salvador Jiménez Ramírez, el testigo por excelencia de la historia reciente de Ruidera y sus lagunas; sin él, este texto no se hubiera imaginado siquiera.

La elaboración de algunas figuras se debe a Palmira Riobos. Este trabajo se ha podido realizar gracias al Proyecto de Investigación 1FD97-1812.

Obviamente, las opiniones que he expresado en este estudio son exclusivamente mías. Los errores, también.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Almodóvar, A. y Elvira, B. (1997). Ictiofauna. En: *Parque Natural Lagunas de Ruidera*. 133-164. Ecohábitat. Talavera de la Reina. 395 pp.
- Álvarez Cobelas, M., Castelló, R., Cirujano, S., Rojo, C. y Rodrigo, M.A. (2004). La contaminación de las Lagunas de Ruidera. *Actas de las II Jornadas sobre el Medio Natural Albacetense*: 293-301.
- Borrego, J.J. y Figueras, M.J. (1997). Microbiological quality of natural waters. *Microbiología SEM*, 13: 413-426.
- Cirujano, S. y Medina, L. (2002). *Plantas acuáticas de las lagunas y humedales de Castilla-La Mancha*. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Toledo. 340 pp.
- Cole, J.J. (1999). Aquatic microbiology for ecosystem scientists: new and recycled paradigms in ecological microbiology. *Ecosystems*, 2: 215-225.
- Espigares, M. y Moreno, O. (1995). Caracteres microbiológicos, aguas envasadas, usos recreativos del agua. En A. Mariscal y cols. (Eds.): *Estudio sanitario del agua*. 109-118. Universidad de Granada. Granada.
- Fernández-Crehuet, M. y Espigares, M. (1995). Contaminación del agua, contaminación biológica. En A. Mariscal y cols. (Eds.): *Estudio sanitario del agua*. 51-66. Universidad de Granada. Granada.
- García del Cura, M.A., González, J.A. y Ordóñez, S. (1997). Geología y geomorfología. En: *Parque Natural Lagunas de Ruidera*. 19-50. Ecohábitat. Talavera de la Reina. 395 pp.

- García Martín, M., Bueno, A. y Lardelli, P. (1995). Epidemiología analítica del agua: de la cadena de transmisión al factor de riesgo. En A. Mariscal y cols. (Eds.): *Estudio sanitario del agua*. 21-50. Universidad de Granada. Granada.
- Infraestructura y Ecología y Dengu (2001). *Actuaciones de protección de la calidad de las aguas en las Lagunas de Ruidera*. Informe para la Confederación Hidrográfica del Guadiana (MIMAM). Madrid. 65 pp. + anexos.
- Jones, J.G. (1997). The microbiological quality of water: the nature of the problem. En D.W. Sutcliffe (Ed.): *The Microbiological Quality of Water*. 1-10. Freshwater Biological Association, Ambleside (GB).
- Olivieri, V.P. (1982). Bacterial indicators of pollution. En W.O. Pipes (Ed.): *Bacterial Indicators of Pollution*. 21-41. CRC Press. Boca Ratón. Florida.
- Peña, D. (1995). *Estadística. Modelos y métodos. 2: Modelos lineales y series temporales*. Alianza Universidad. Madrid. 745 pp.
- Sokal, R.R. y Rohlf, F.J. (1981). *Biometría*. Editorial Blume. Madrid. 832 pp.
- WHO (2002). *Scaling up the response to infectious diseases*. www.who.int/infectious-disease-report/2002.

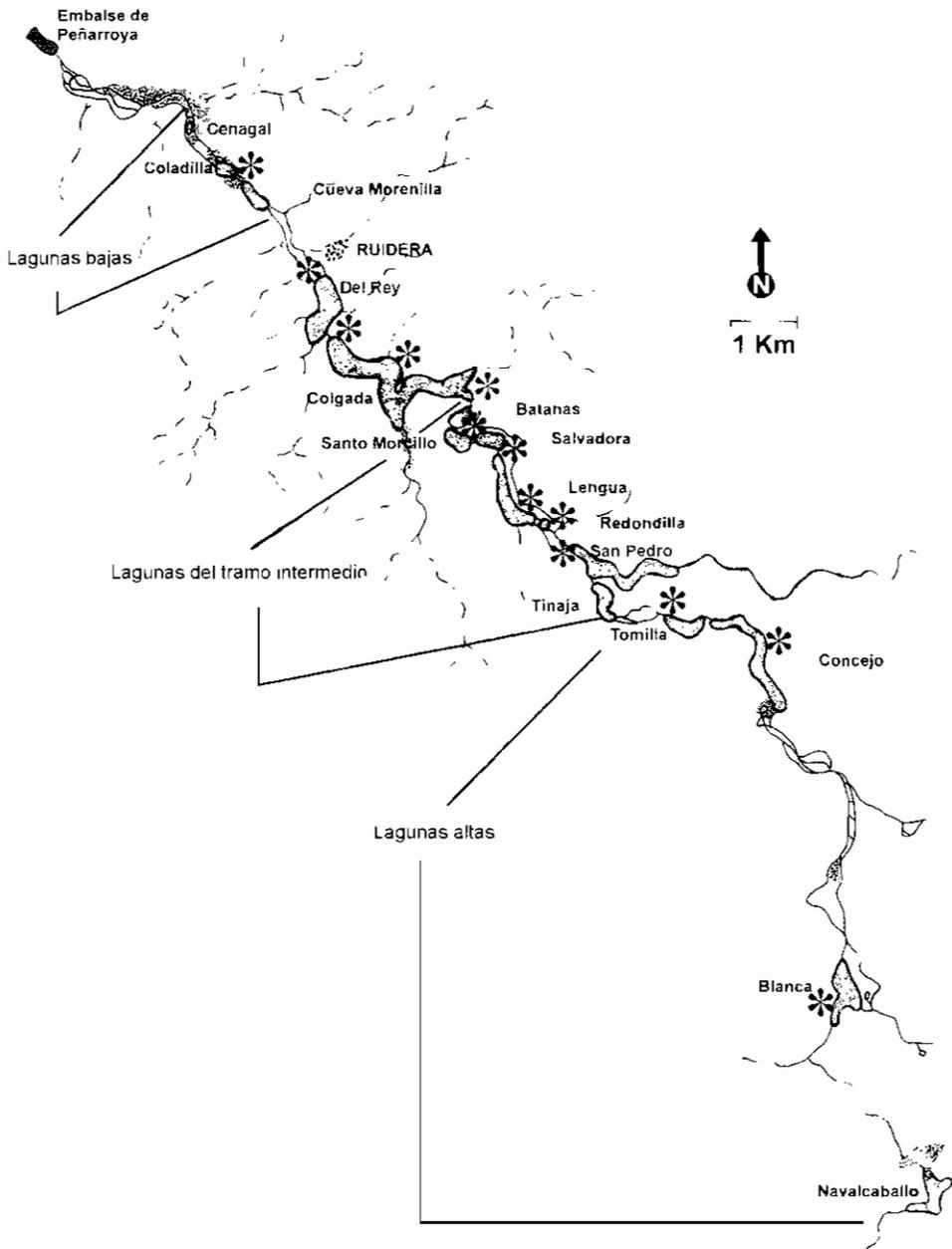


Figura 1. Situación de las principales zonas de baño en las Lagunas de Ruidera, señaladas con un asterisco.

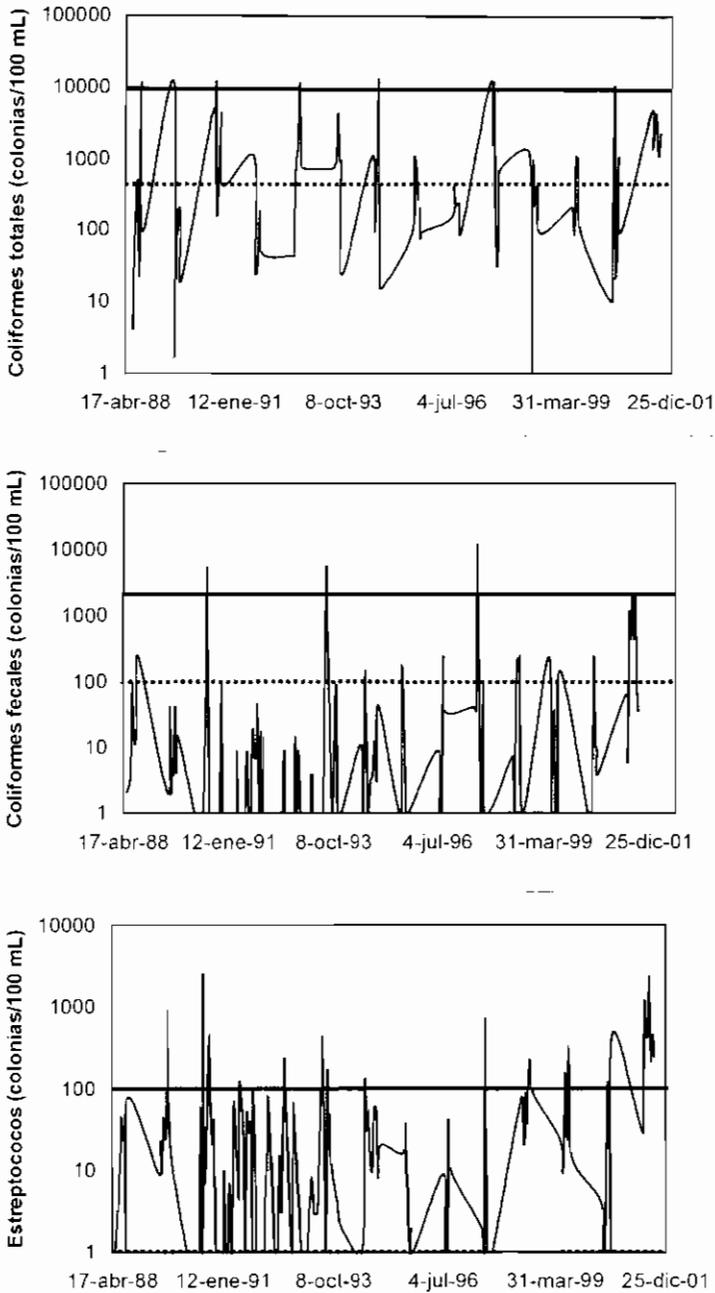


Figura 2. Concentraciones de los grupos bacterianos de interés sanitario en la laguna Concejo a lo largo del tiempo. La línea continua gruesa representa los valores imperativos y la discontinua, los valores guía que propone el Real Decreto 734/88.

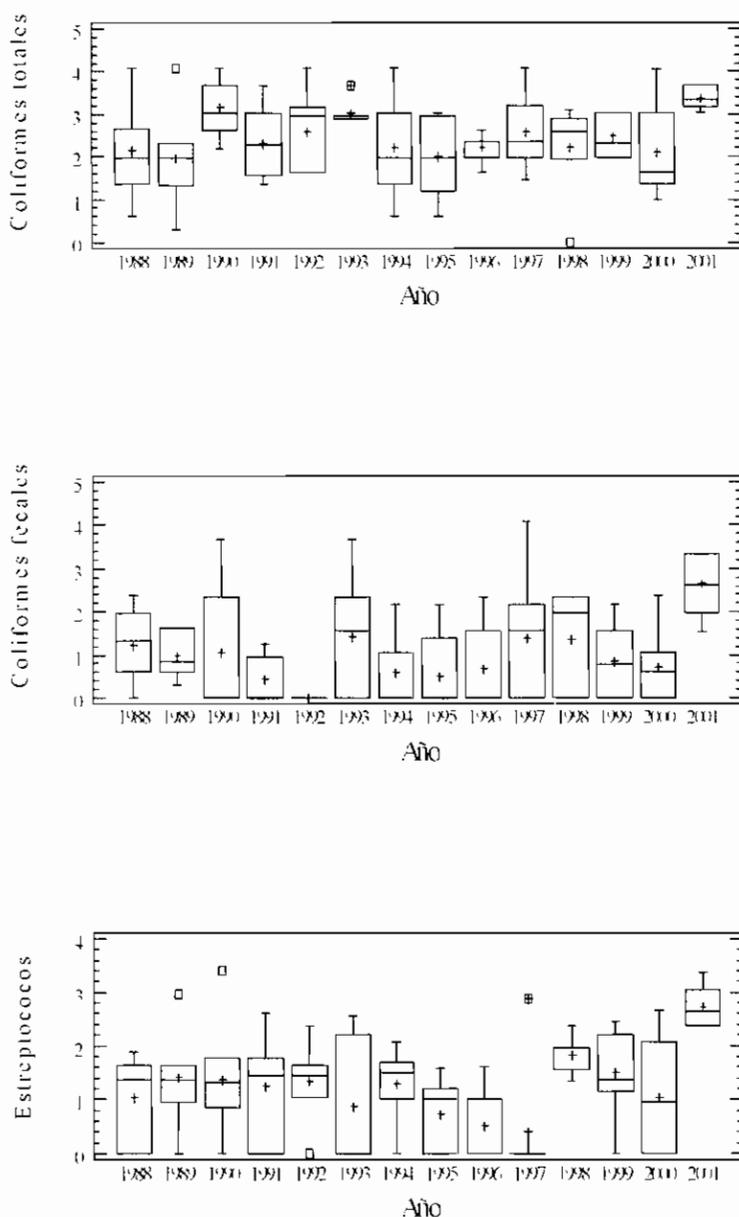


Figura 3. Evolución anual de las bacterias de interés sanitario en la laguna Concejo. La escala es logarítmica en base 10. La rayita horizontal de cada cajita es la mediana de cada distribución, es decir, el valor que separa el conjunto de las densidades de cada año en dos partes iguales; la crucecita representa la media de cada distribución y las barritas superiores e inferiores en forma de “T” se extienden hasta abarcar el 95% de las observaciones. Los valores reflejados por cuadraditos pequeños son valores extremos u “outliers”, por arriba (véase la distribución de 1989 en la gráfica inferior) o por abajo (véase la distribución de 1992 en la gráfica inferior), que se salen de la distribución estadística.

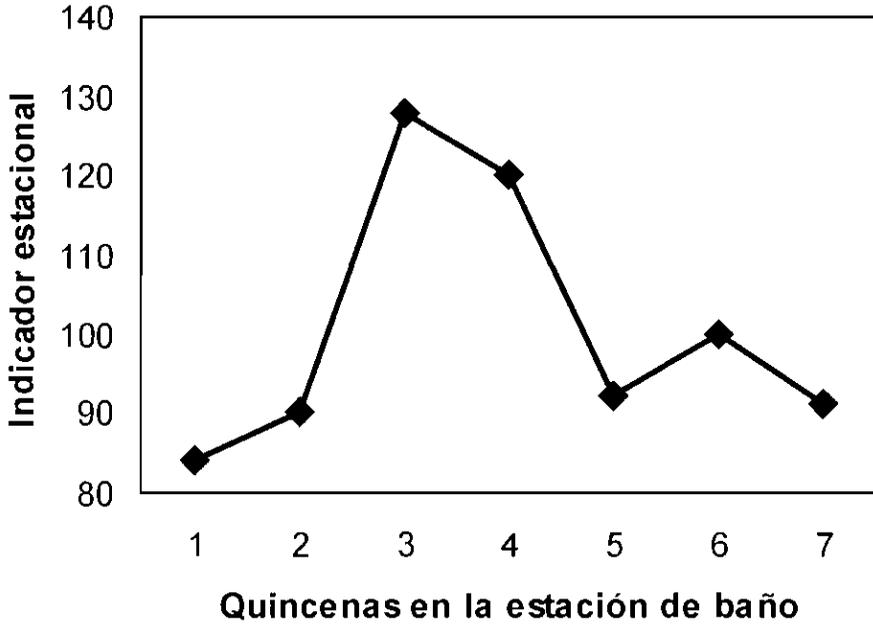


Figura 4. Estacionalidad en la densidad de *Streptococos* en la laguna Concejo con la estación de baño empezando hacia mediados de Junio. El resultado del análisis está calculado de manera porcentual, de modo que al promedio de las densidades de todos los años le corresponda la cifra de 100. Obsérvese que los máximos se presentan hacia la mitad de la estación de baño.

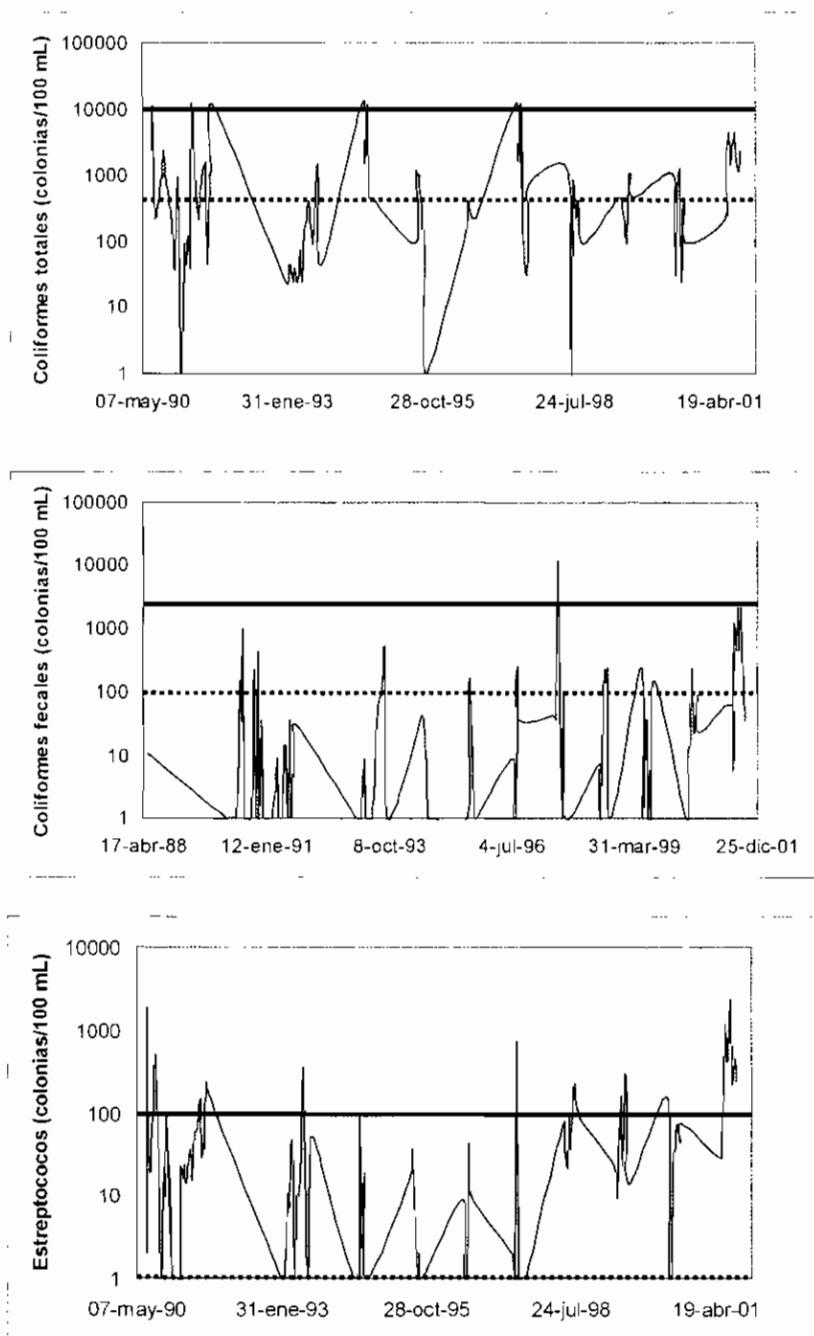


Figura 5. Concentraciones de los grupos bacterianos de interés sanitario en la laguna Tomilla a lo largo del tiempo. La línea continua gruesa representa los valores imperativos y la discontinua, los valores guía que propone el Real Decreto 734/88.

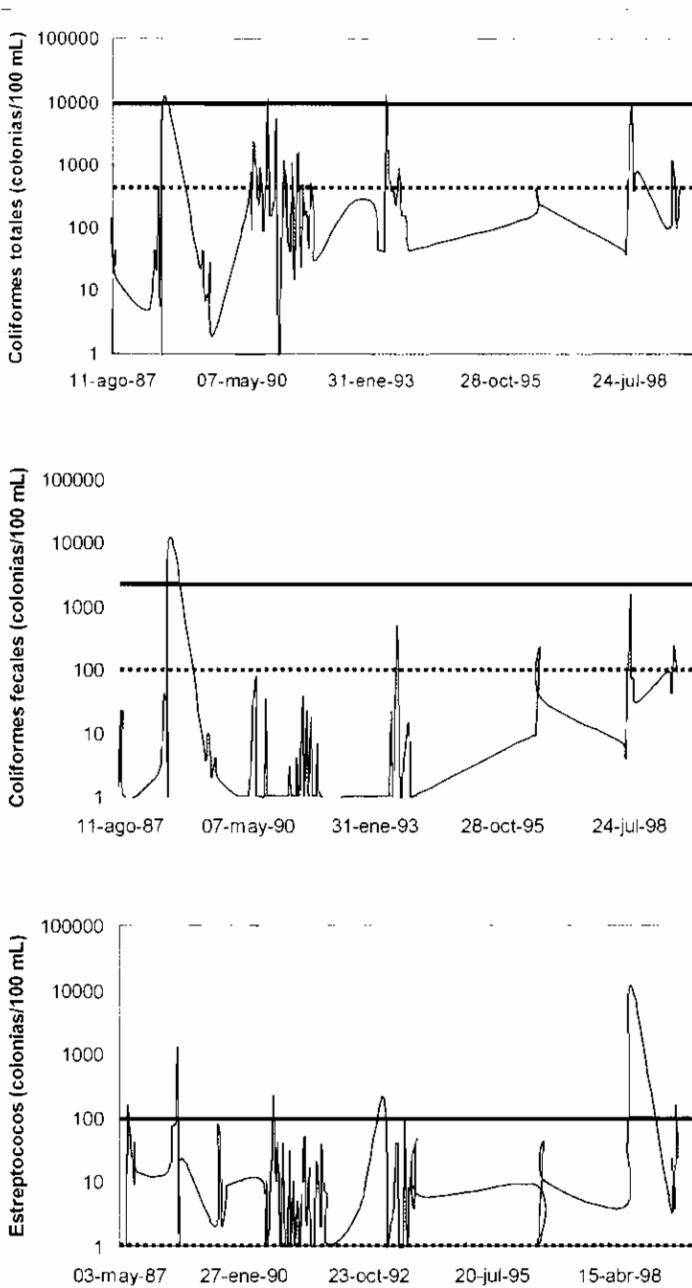


Figura 6. Concentraciones de los grupos bacterianos de interés sanitario en la laguna San Pedro (playa de Garijo) a lo largo del tiempo. La línea continua gruesa representa los valores imperativos y la discontinua, los valores guía que propone el Real Decreto 734/88.

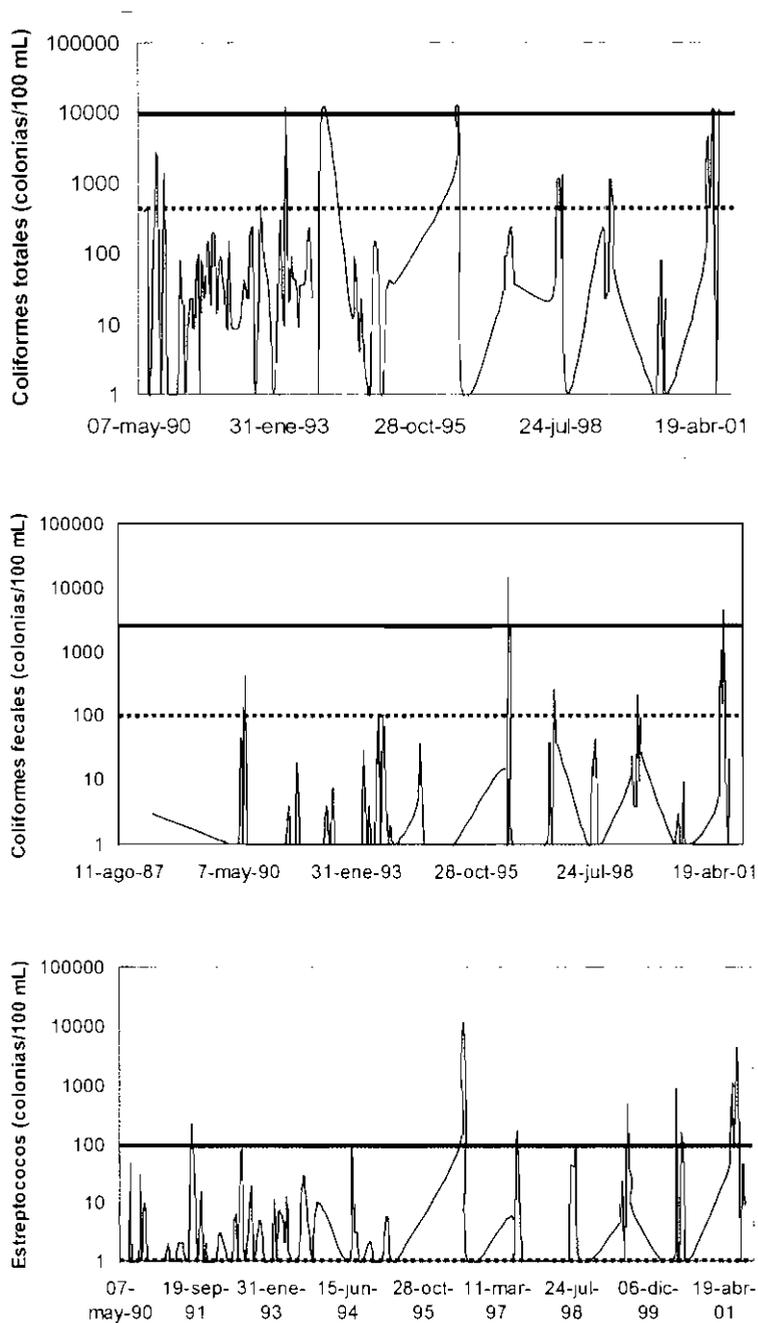


Figura 7. Concentraciones de los grupos bacterianos de interés sanitario en la laguna Lengua a lo largo del tiempo. La línea continua gruesa representa los valores imperativos y la discontinua, los valores guía que propone el Real Decreto 734/88.

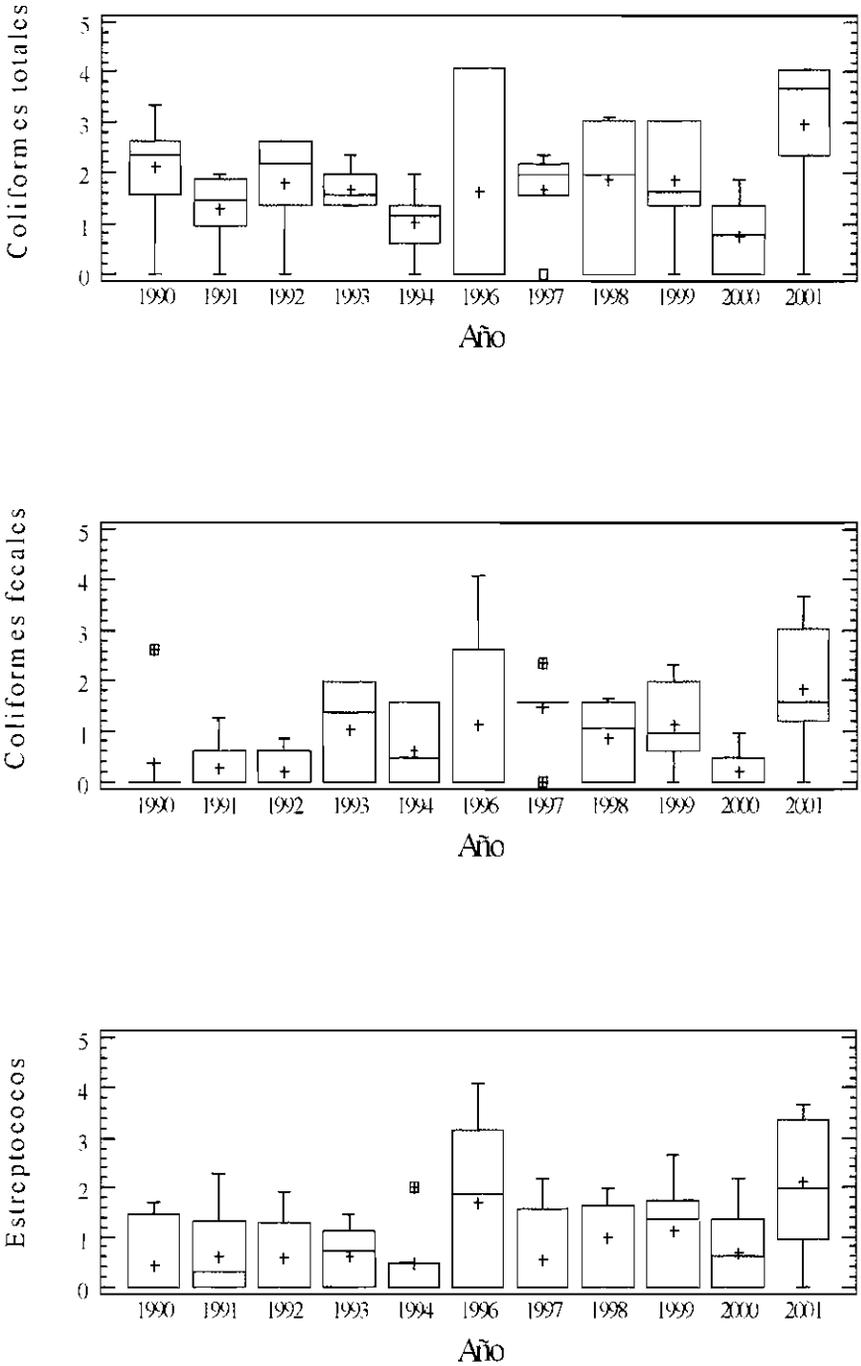


Figura 8. Evolución anual de las bacterias de interés sanitario en la laguna Lengua. La escala es logarítmica en base 10. Véase la Figura 3 para la explicación de esta clase de representación.

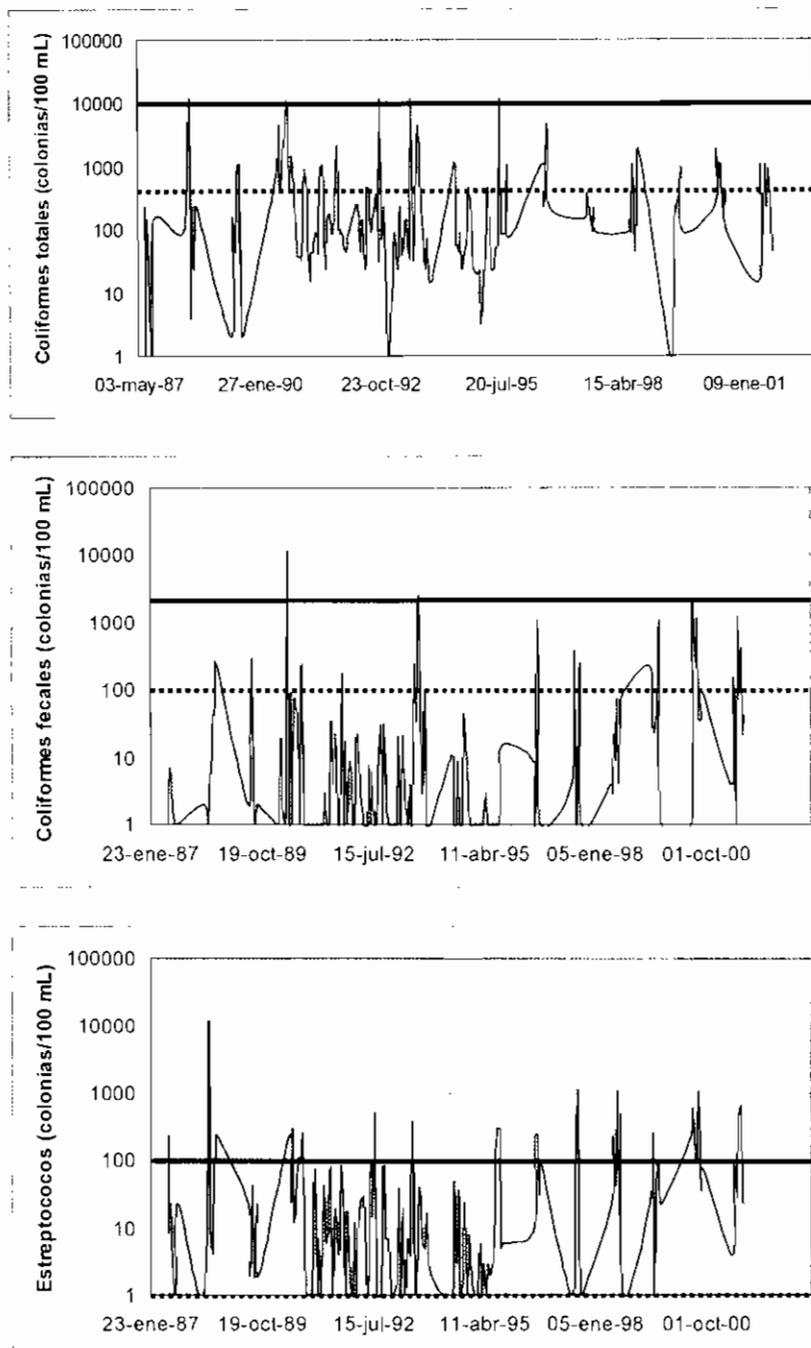


Figura 9. Concentraciones de los grupos bacterianos de interés sanitario en la laguna Salvadora a lo largo del tiempo. La línea continua gruesa representa los valores imperativos y la discontinua, los valores guía que propone el Real Decreto 734/88.

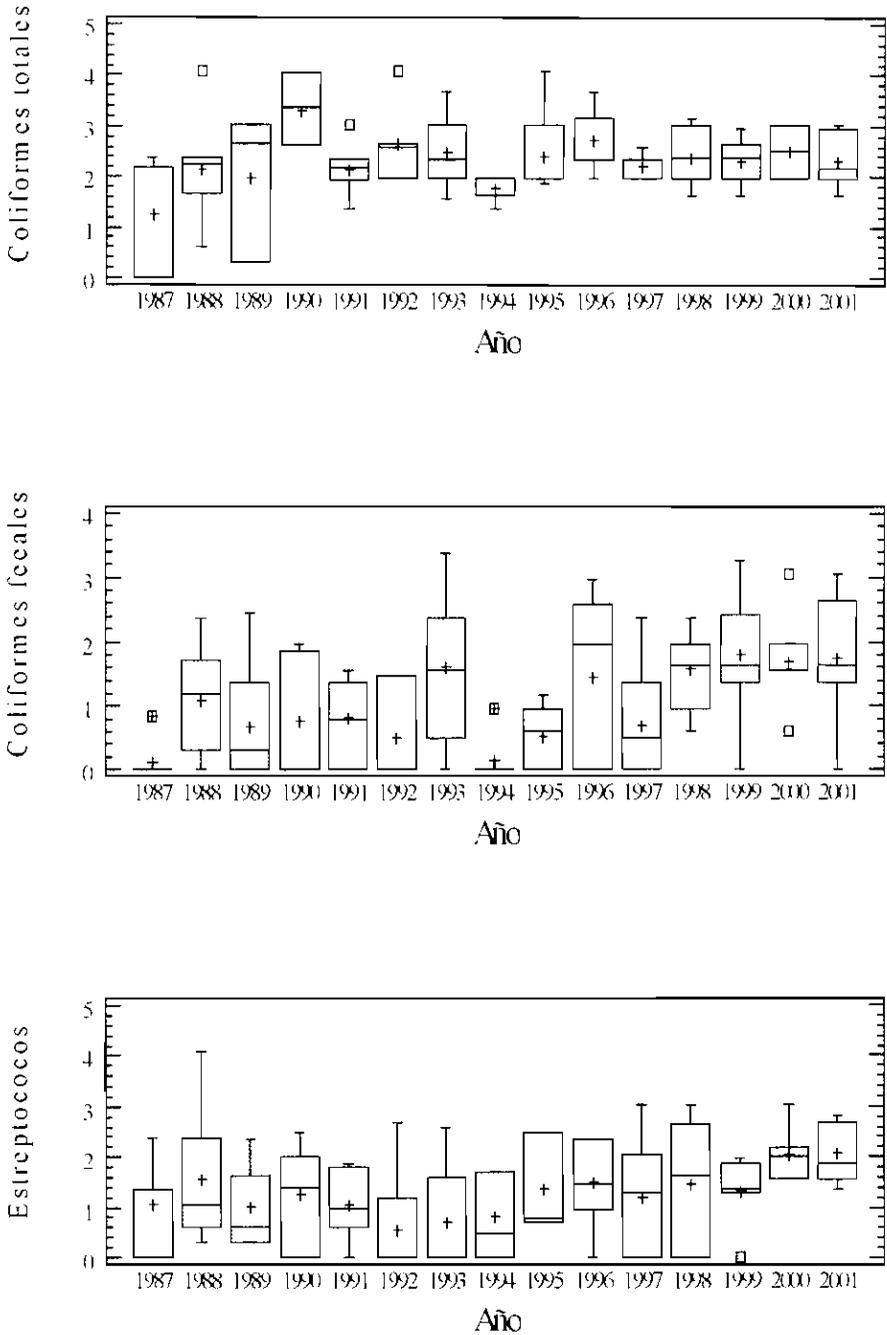


Figura 10. Evolución anual de las bacterias de interés sanitario en la laguna Salvadora. La escala es logarítmica en base 10. Véase la Figura 3 para la explicación de este tipo de representación.

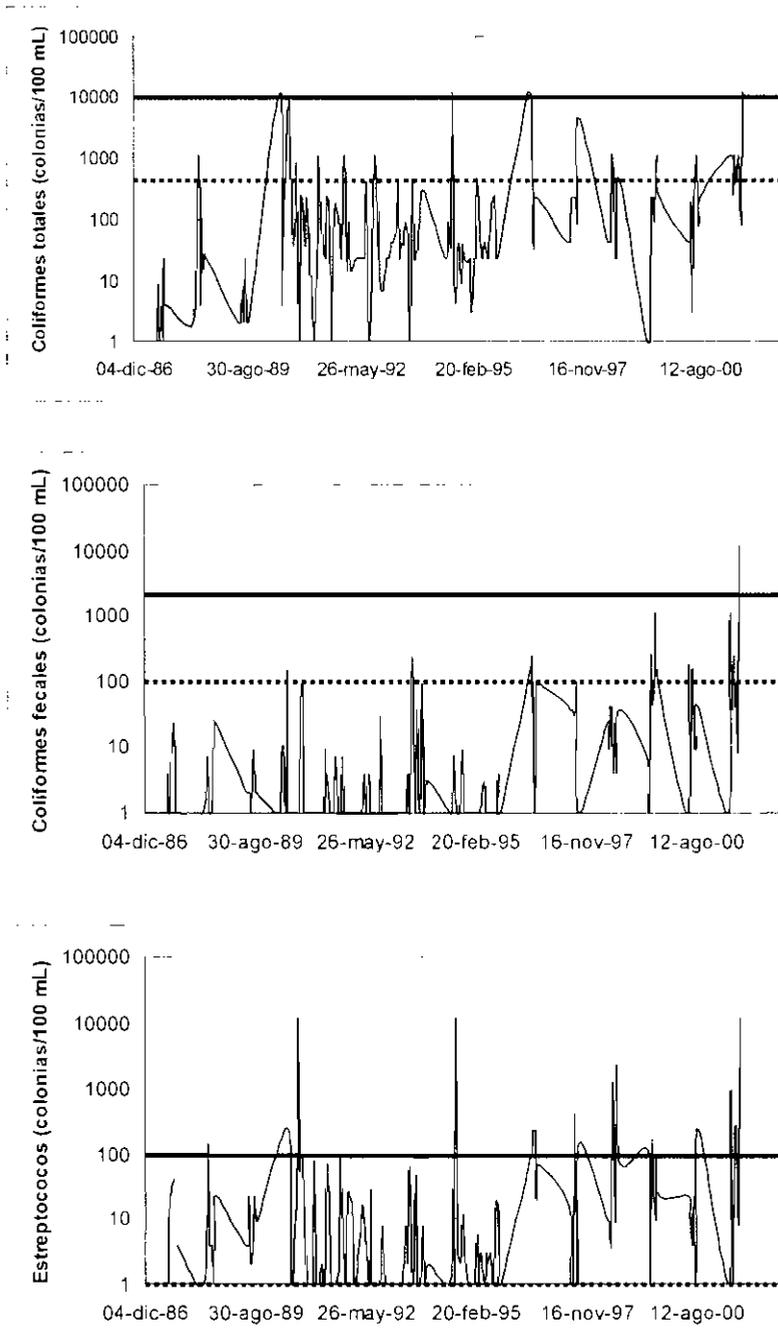


Figura II. Concentraciones de los grupos bacterianos de interés sanitario en la laguna Santos Morcillo a lo largo del tiempo. La línea continua gruesa representa los valores imperativos y la discontinua, los valores guía que propone el Real Decreto 734/88.

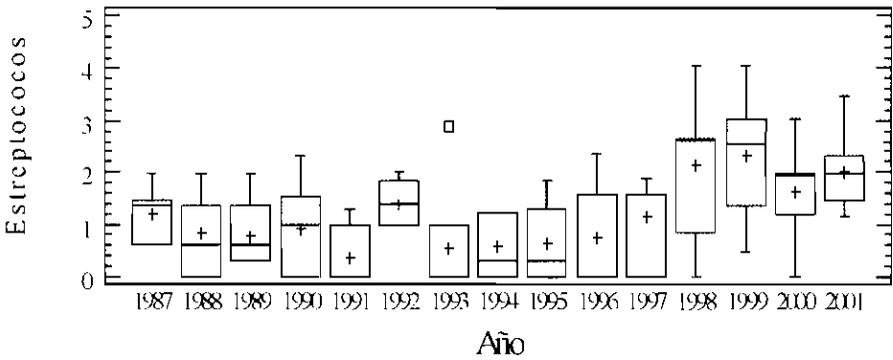
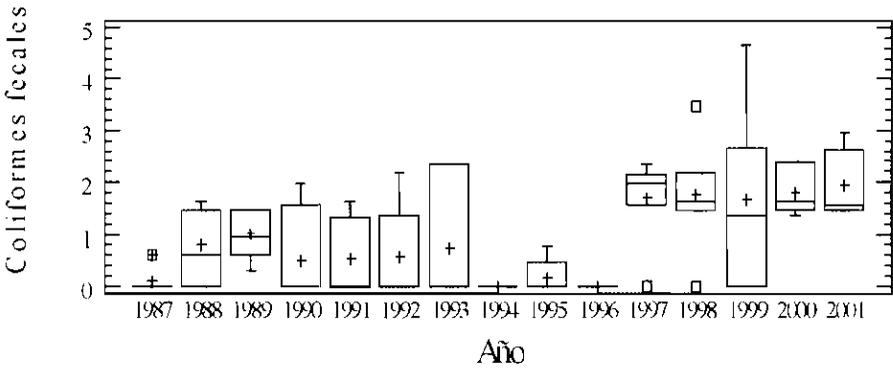
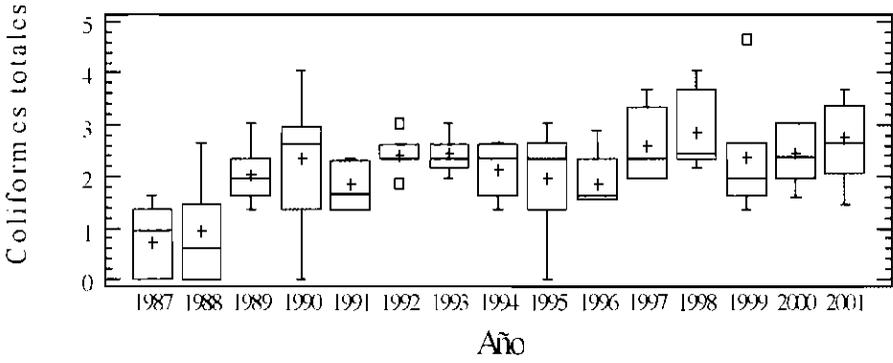


Figura 12. Evolución anual de las bacterias de interés sanitario en la laguna Santos Morcillo. La escala es logarítmica en base 10. Véase la Figura 3 para la explicación de este tipo de representación.

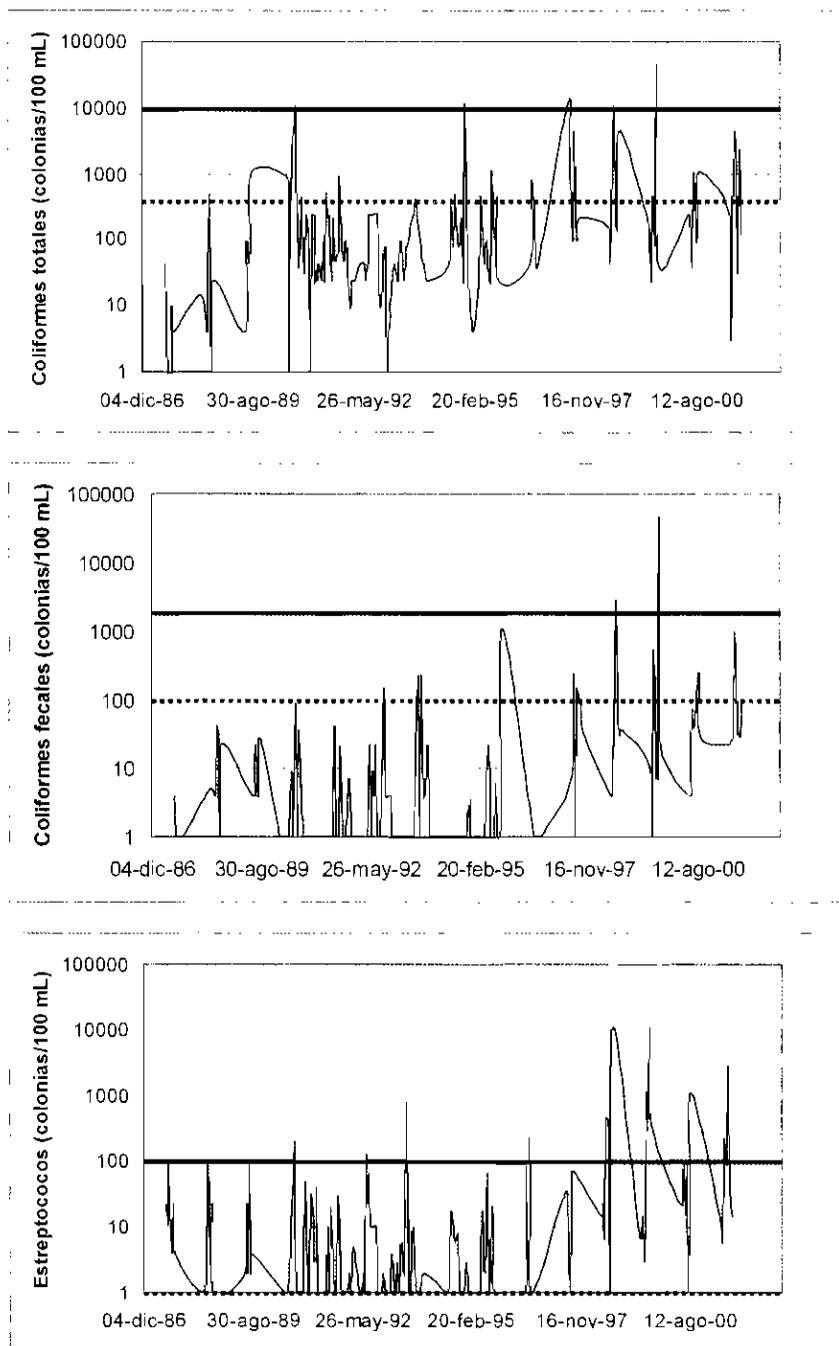


Figura 13. Concentraciones de los grupos bacterianos de interés sanitario en la laguna Colgada a lo largo del tiempo. La línea continua gruesa representa los valores imperativos y la discontinua, los valores guía que propone el Real Decreto 734/88.

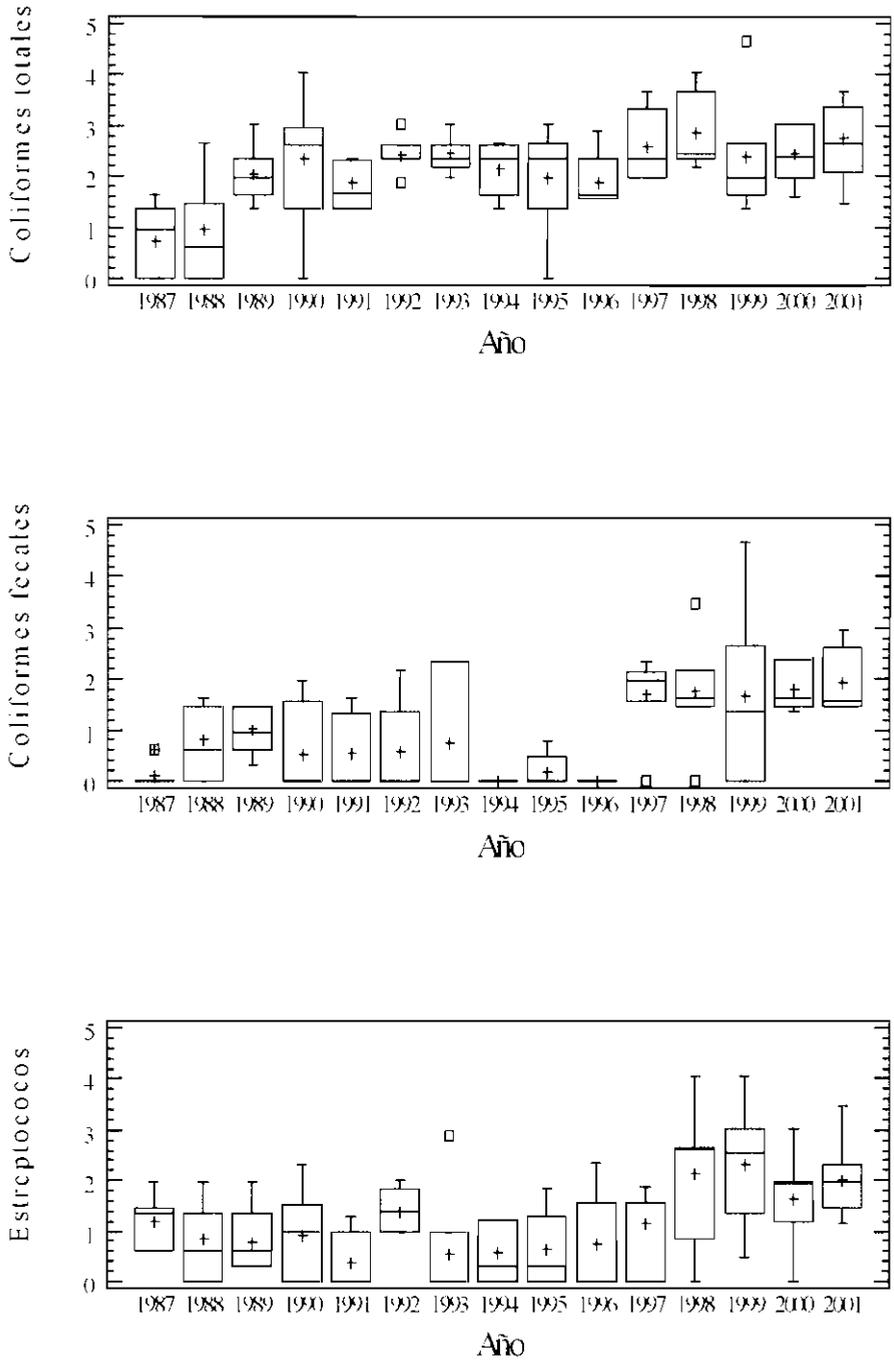


Figura 14. Evolución anual de las bacterias de interés sanitario en la laguna Colgada (playa del hotel La Colgada). La escala es logarítmica en base 10. Véase la Figura 3 para la explicación de este tipo de representación.

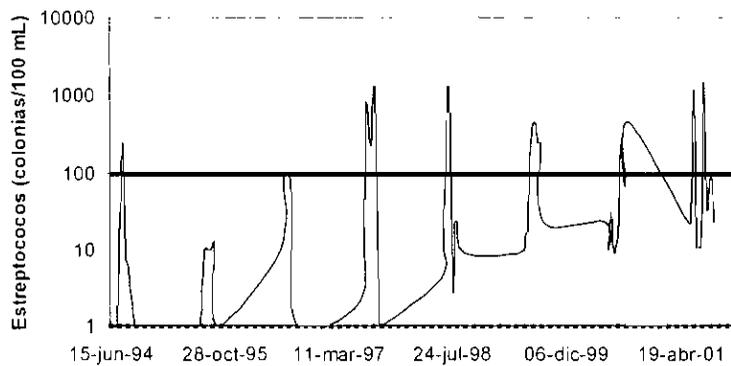
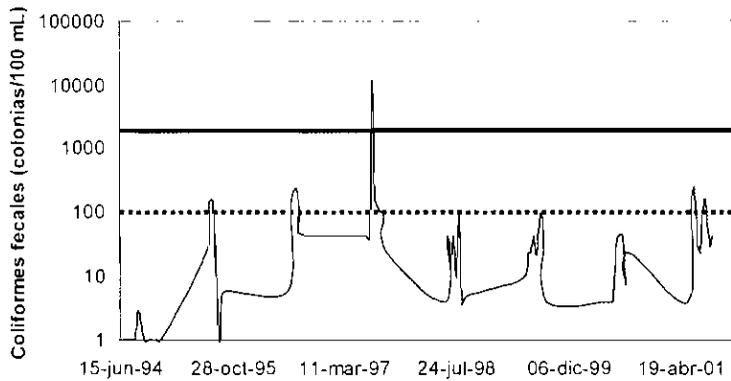
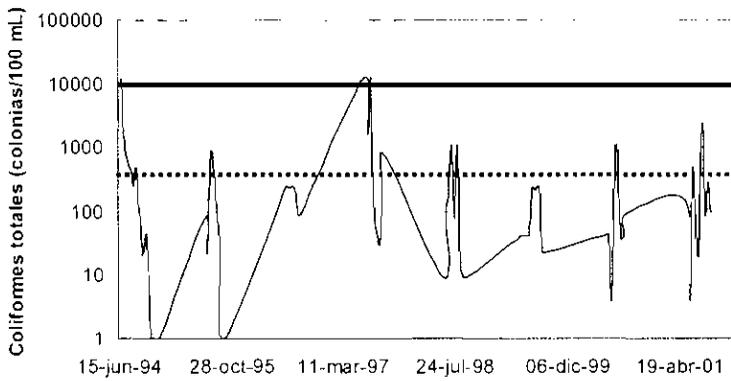


Figura 15. Concentraciones de los grupos bacterianos de interés sanitario en la laguna Colgada (playa de Entrelagos) a lo largo del tiempo. La línea continua gruesa representa los valores imperativos y la discontinua, los valores guía que propone el Real Decreto 734/88.

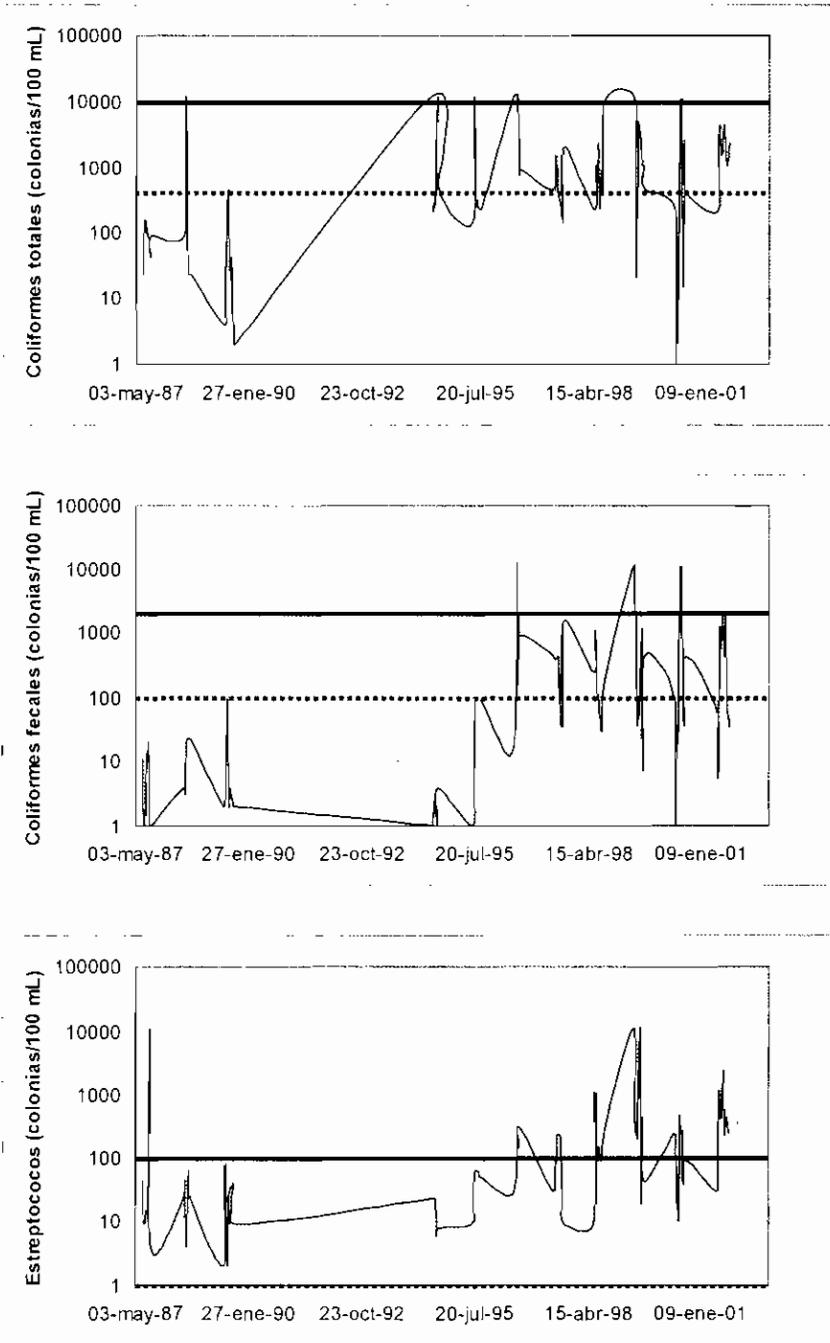


Figura 16. Concentraciones de los grupos bacterianos de interés sanitario en la laguna del Rey a lo largo del tiempo. La línea continua gruesa representa los valores imperativos y la discontinua, los valores guía que propone el Real Decreto 734/88.

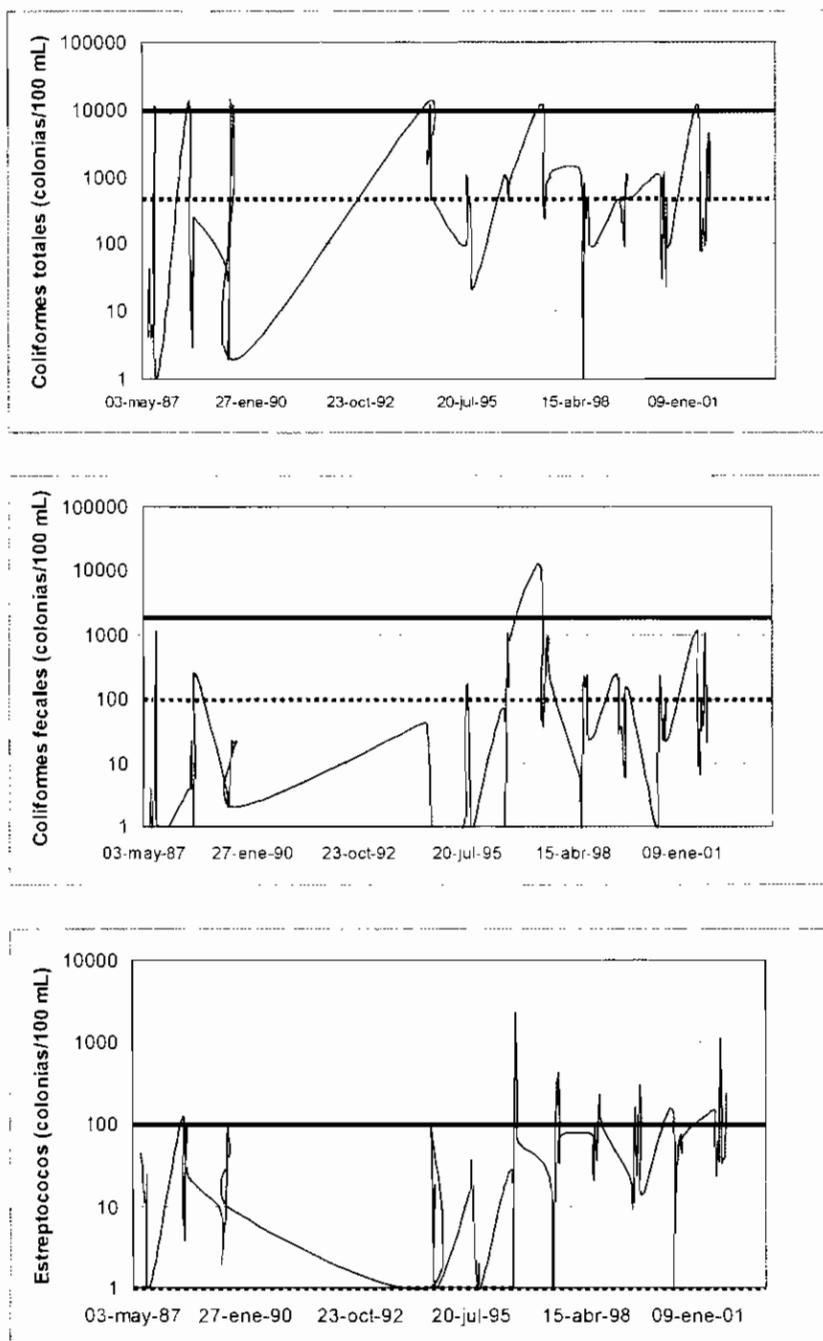


Figura 17. Concentraciones de los grupos bacterianos de interés sanitario en la laguna Cueva Morenilla a lo largo del tiempo. La línea continua gruesa representa los valores imperativos y la discontinua, los valores guía que propone el Real Decreto 734/88.

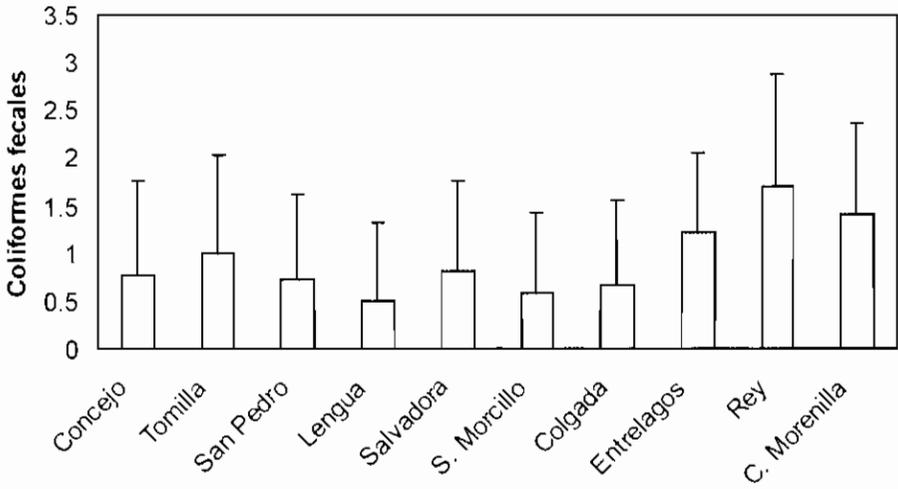


Figura 18. Promedios y desviaciones típicas (barras en T) en escala logarítmica de los Coliformes fecales en las aguas de baño de lagunas de Ruidera. Se han usado todos los datos disponibles de cada laguna.

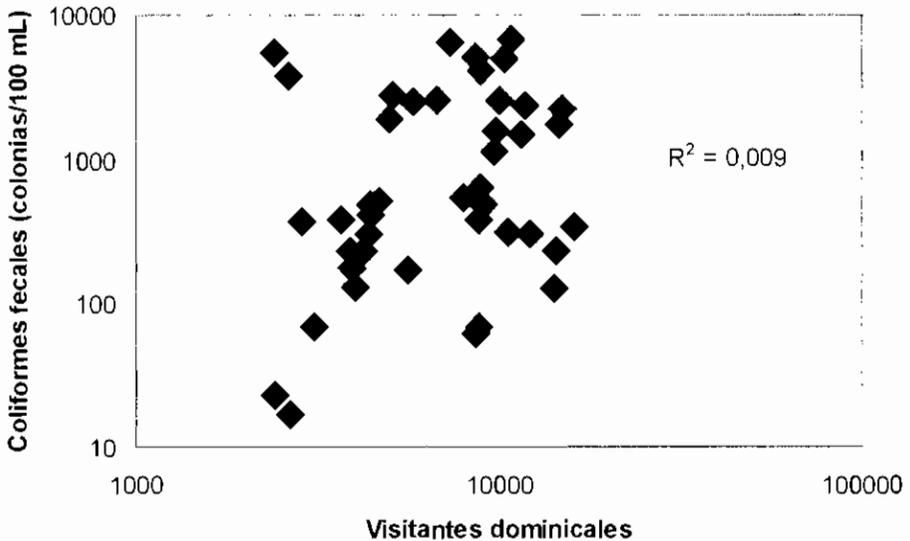


Figura 19. Relación entre el número de visitantes dominicales y la concentración de Coliformes fecales en los días inmediatamente posteriores. Datos conjuntos de todas las lagunas para las que existen cifras de ambas variables.

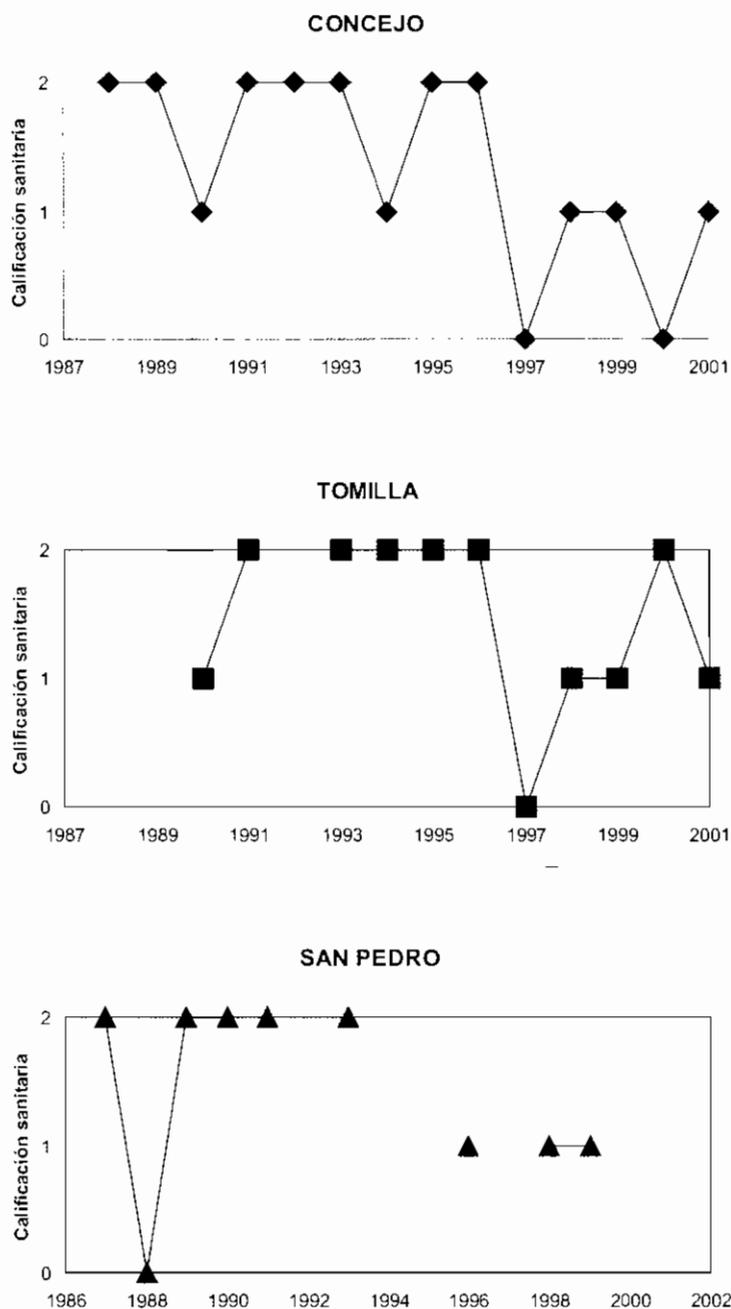


Figura 20. Calificación sanitaria de las lagunas de Ruidera desde que se comenzaron a realizar los análisis de calidad de aguas de baño, basada en los criterios del Real Decreto 734/88. Calidad muy buena: 2; calidad buena: 1; laguna no apta para el baño: 0.

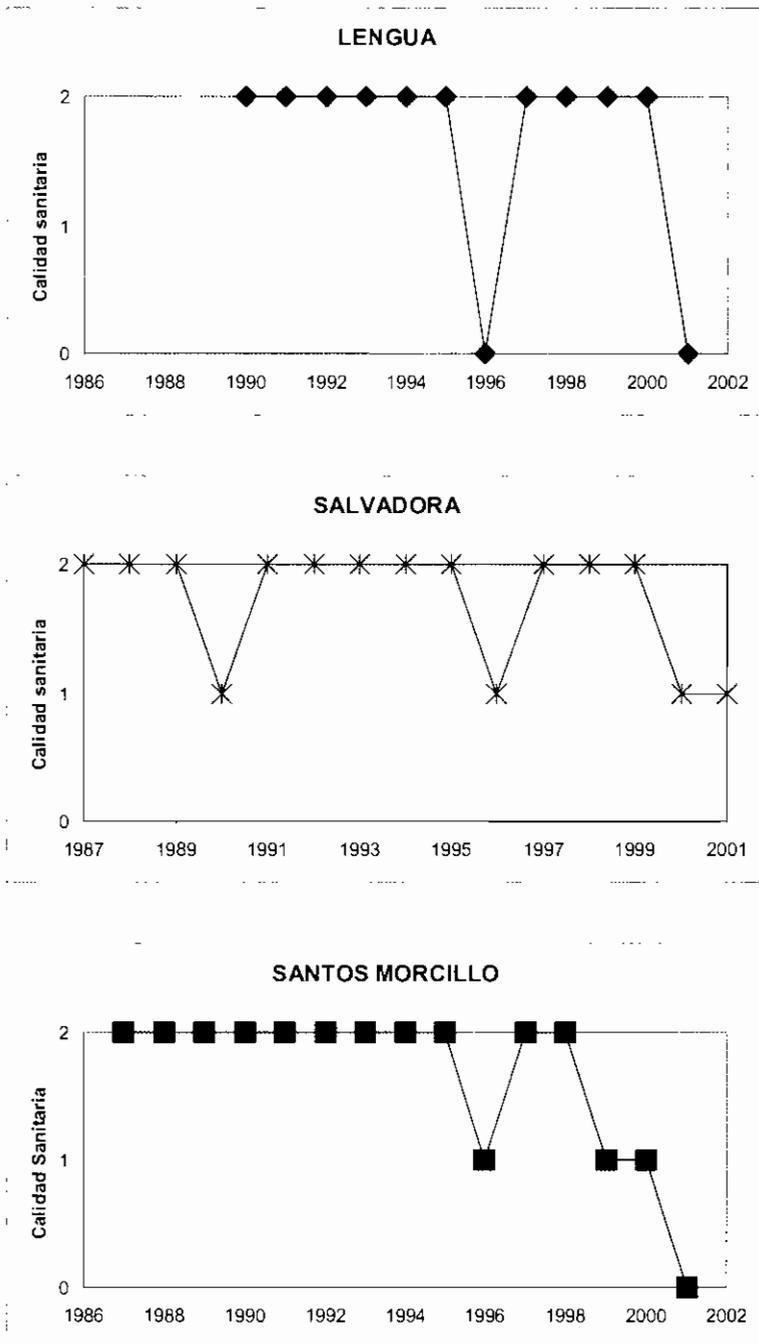


Figura 20. Calificación sanitaria de las lagunas de Ruidera desde que se comenzaron a realizar los análisis de calidad de aguas de baño, basada en los criterios del Real Decreto 734/88. Calidad muy buena: 2; calidad buena: 1; laguna no apta para el baño: 0.

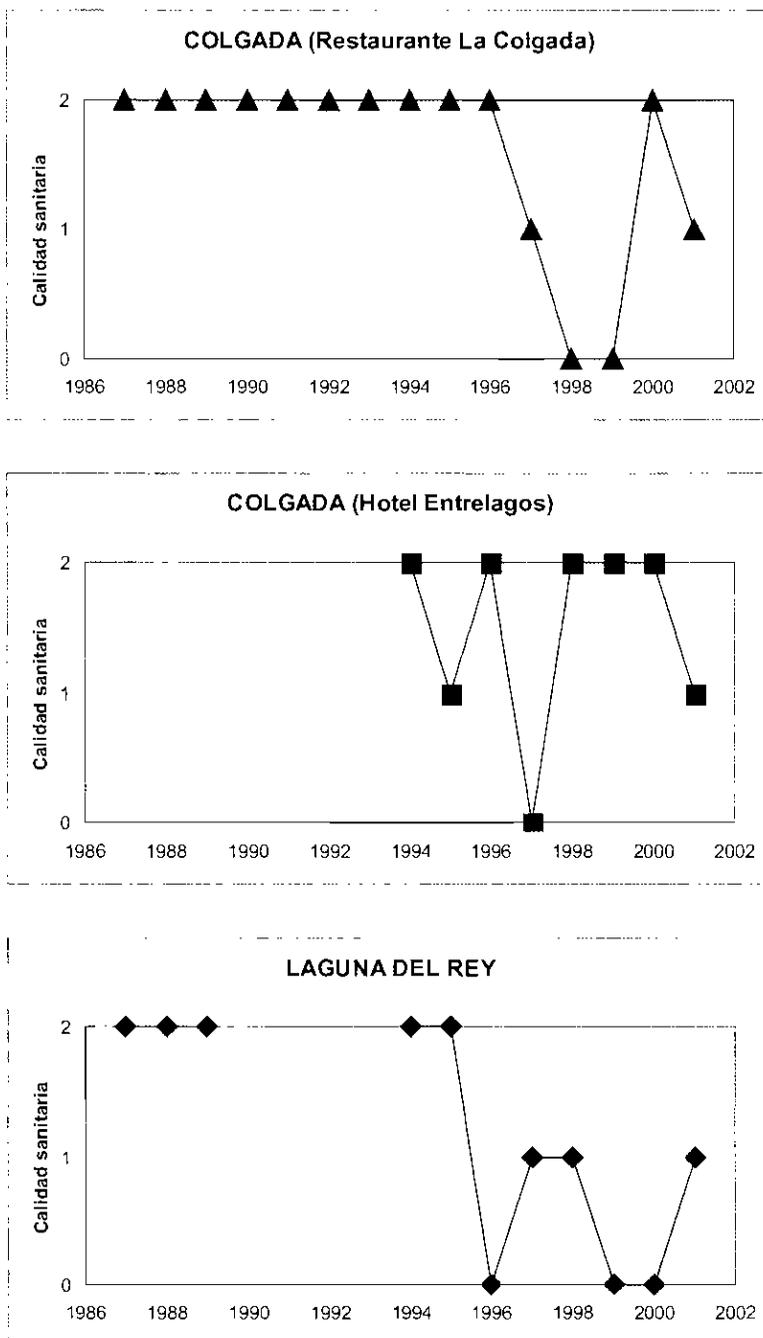


Figura 20. Calificación sanitaria de las lagunas de Ruidera desde que se comenzaron a realizar los análisis de calidad de aguas de baño. basada en los criterios del Real Decreto 734/88. Calidad muy buena: 2; calidad buena: 1; laguna no apta para el baño: 0.

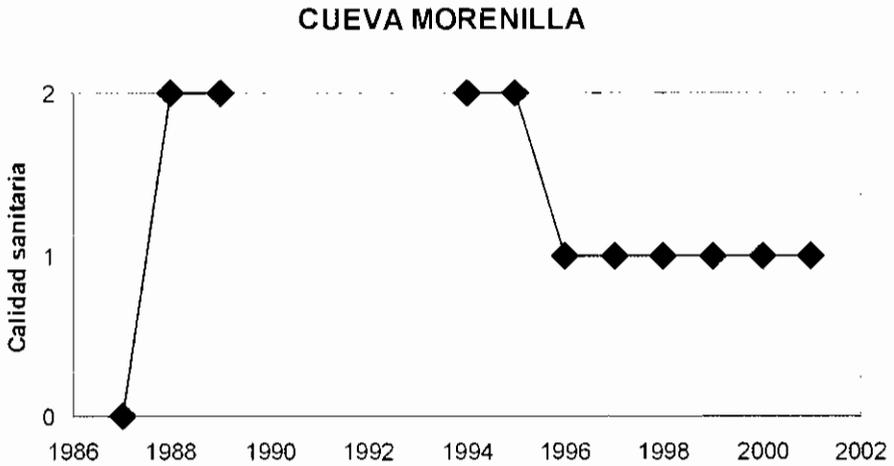


Figura 20. Calificación sanitaria de las lagunas de Ruidera desde que se comenzaron a realizar los análisis de calidad de aguas de baño, basada en los criterios del Real Decreto 734/88. Calidad muy buena: 2; calidad buena: 1; laguna no apta para el baño: 0.

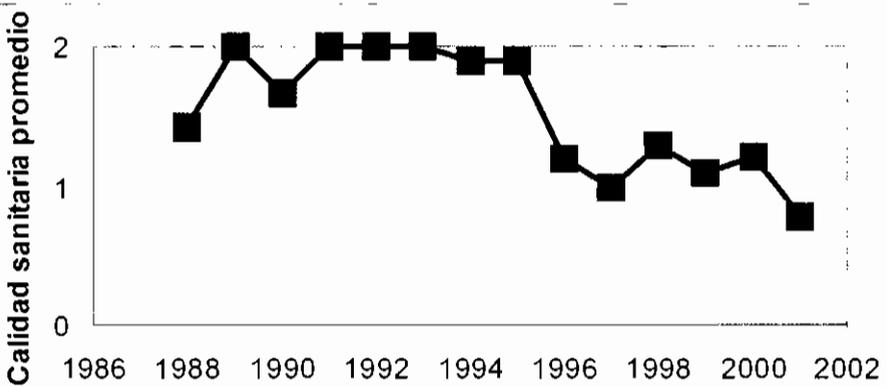


Figura 21. Calidad sanitaria promedio para todo el complejo de las lagunas de Ruidera, basada en los datos de la figura 20.