

Calidad de las aguas próximas a un vertedero

Experiencias en un vertedero de RSU de Cádiz

M.R. Rodríguez Barroso, M.C. Garrido Pérez, M.D. Gordillo Romero, J.M. Quiroga Alonso y D. Sales Márquez
Dpto.de Ingeniería Química, Tecnología de Alimentos y Tecnologías del Medio Ambiente. Universidad de Cádiz.

1. Introducción

Tanto los ríos, en calidad de colectores del drenaje superficial de la corteza terrestre, como las aguas subterráneas, por tratarse de colectores finales de las infiltraciones en el subsuelo, son los componentes del paisaje más sensibles a los impactos, siendo, por tanto, excelentes indicadores del estado de salud del medio ambiente.

Conocer la calidad de un agua es una necesidad y un buen instrumento para informar y alertar sobre posibles episodios de contaminación y controlar sus causas. Cada vez más, la calidad de un agua es motivo de preocupación, tanto por parte de las autoridades, como de los ciudadanos y empresas [3].

Los ecosistemas acuáticos son, en general, más sensibles que los ecosistemas terrestres, por lo que el impacto de la civilización se refleja en mayor medida en la contaminación del agua. Aún en países

donde el crecimiento de la población es prácticamente cero, el impacto de los productos químicos es cada vez mayor [6].

En el presente trabajo se ha realizado el seguimiento de los parámetros más significativos para la evaluación de la calidad natural de las aguas de los terrenos colindantes al vertedero controlado de residuos sólidos urbanos de la finca Miramundo en Medina Sidonia, con la idea de establecer la influencia de la pluviometría en la evolución temporal y espacial de los mismos.

2. Material y métodos

2.1. Localización geográfica

El vertedero controlado de residuos sólidos del Consorcio Bahía de Cádiz se encuentra ubicado en la finca Miramundo, en el término municipal de Medina Sidonia (provincia de Cádiz), tal y como se observa en la figura 1.

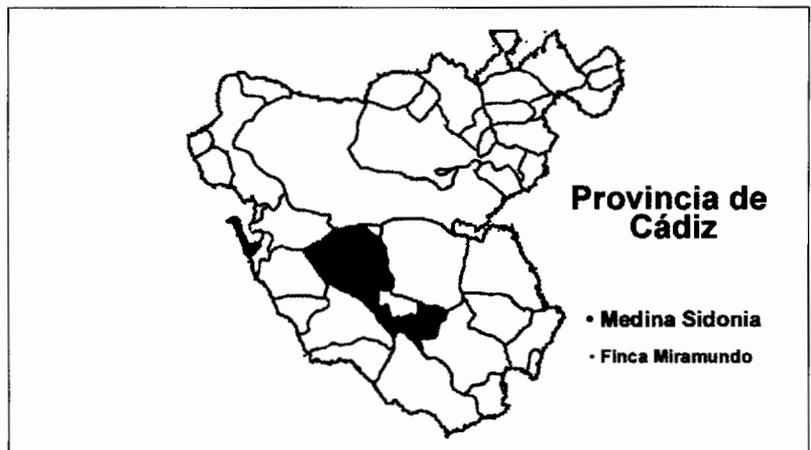


Figura 1.
Localización del vertedero en la provincia de Cádiz

En este trabajo se presentan las variaciones temporales y espaciales obtenidas en el control de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas próximas al vertedero controlado de residuos sólidos urbanos de la finca de Miramundo, que el Consorcio Bahía de Cádiz tiene en Medina Sidonia (Cádiz). Además, se han incluido los valores relativos a las precipitaciones medias de la comarca durante el periodo objeto de estudio, por haber coincidido éste con una acusada sequía. Se destaca la influencia de la pluviosidad en una disminución de la concentración de parámetros tales como la conductividad, el pH, los nitritos, nitratos y nitrógeno kjeldahl y, por el contrario, en un aumento de las concentraciones de DBO y de amonio.

Situado dentro de "la campiña" gaditana, los terrenos sobre los que está construido el vertedero están formados fundamentalmente por depósitos cuaternarios, margas y arcillas pertenecientes al Triásico subbético. Este tipo de materiales constituye formaciones sedimentarias impermeables, que actúan como pantalla protectora de posibles acuíferos cautivos profundos en ausencia de grandes sistemas acuíferos en la zona.

En la figura 2 se recoge la localización geográfica de los ocho puntos de muestreo en el interior y exterior de la finca Miramundo. Los puntos identificados como 1 y 2 son aguas superficiales y se corresponden con el control de las aguas del Arroyo Salado, el cual discurre por el límite de la finca recibiendo las aguas de escorrentía de los campos próximos al vertedero y se caracterizan sobre todo por un alto contenido en sales.

Las aguas subterráneas corresponden a aquellas recogidas, bien en los pozos artesanos ubicados en fincas en las proximidades de Miramundo, o bien de perforaciones realizadas en distintos puntos de la finca con el objeto de controlar la calidad de las aguas de los acuíferos de la zona y que corresponden a los puntos enumerados desde el 3 al 8.

Figura 2.
Localización de puntos de muestreo
Finca
Miramundo.
Medina
Sidonia, Cádiz

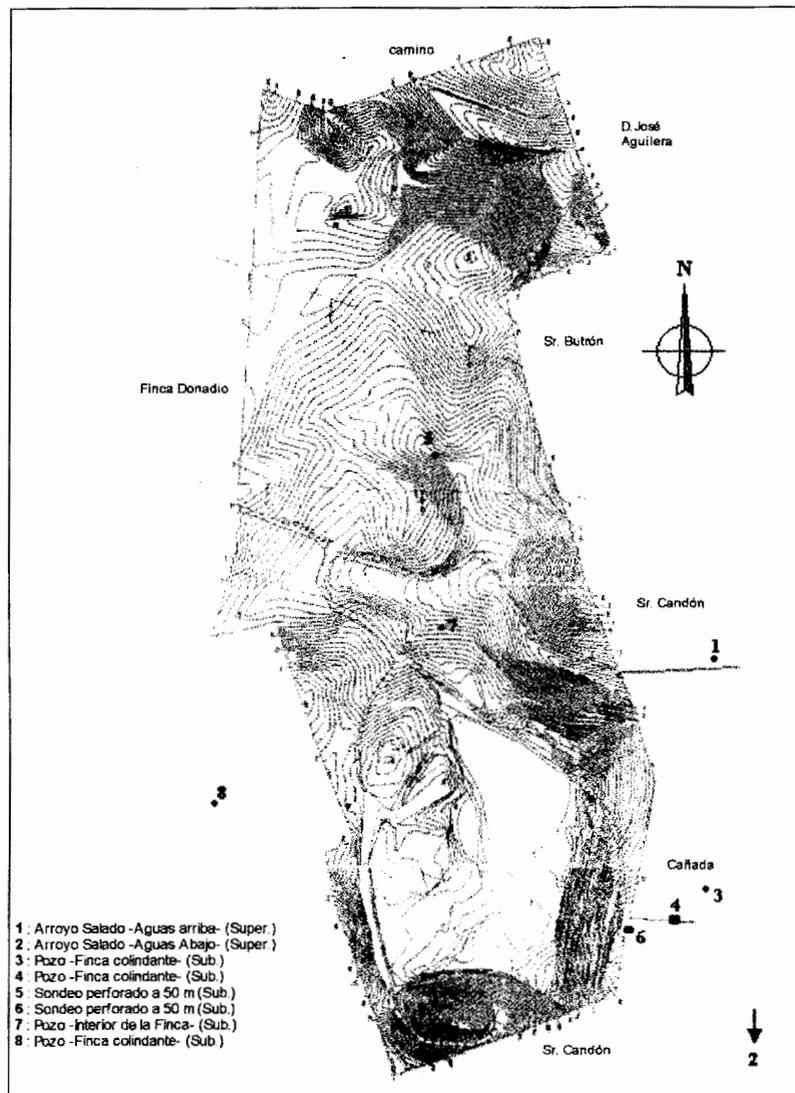


Tabla I. Parámetros y procedimientos analíticos

Parámetros	Procedimiento Analítico	Bibliografía APHA/AWWA/WPCF [2]	Unidad
Conductividad	Electrometría	2510-B	mS/cm
pH	Electrometría	4500-H ⁺ -B	
Amonio	Espectrofotometría de absorción molecular Reacción de Berthelot		mg/L NH ₄ ⁺
N. Kjeldahl	Método Macro-kjeldahl	4500-N _{org} -B	mg/L N
Nitratos	Espectrofotometría de absorción molecular		mg/L NO ₃
Nitritos	Espectrofotometría de absorción molecular Reacción de Griess	4500-NO ₂	mg/L NO ₂
DQO	Método de reflujo cerrado y método colorimétrico	5220-D	mg O ₂ /L
DBO ₅	DBO ₅ mediante sistema manométrico	5210-B	mg O ₂ /L
Cobre	Espectrometría de absorción atómica electrotérmica	3113-B	µg/L Cu
Estaño	Espectrometría de absorción atómica por generación de hidruros	3114	µg/L Sn
Mercurio	Espectrometría de absorción atómica por generación de vapor frío	3500-B	µg/L Hg
Plomo	Espectrometría de absorción atómica electrotérmica	3113-B	µg/L Pb
Zinc	Espectrofotometría de absorción atómica de llama o electrotérmica	3111-B y C; 3113-B	µg/L Zn

Tabla II. Frecuencia de muestreos (1994-1997)

Año/Punto	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
1994	3	3	3	3	3	3	3	3	24
1995	3	2	5	4	2	2	5	4	27
1996	6	5	6	5	5	5	6	5	43
1997	6	5	4	5	5	5	-	-	30
Total	18	15	18	17	15	15	14	12	124

2.2. Parámetros físico-químicos de control de calidad de las aguas

En la Tabla I se recogen los parámetros determinados en este trabajo. Para la realización de los ensayos analíticos se ha seguido la metodología indicada según la normativa vigente de Dominio Público Hidráulico, relativa a calidad de aguas continentales y vertidos de aguas residuales (Real Decreto 849/1986) y el manual de métodos normalizados [2].

2.3. Estrategias de muestreo

Desde julio de 1994 hasta el año 1997, se han tomado muestras en los distintos puntos localizados en la figura 2. Como puede observarse en las tablas de resultados, la periodicidad de los muestreos ha ido variando a lo largo de los años, en función de los requerimientos de control de la calidad del agua o de

la importancia relativa de un punto de muestreo frente a otro.

La Tabla II recoge las frecuencias de muestreo de cada punto durante el período de estudio. Los puntos 7 y 8 no aparecen en el año 1997, puesto que en este año, y siguiendo las indicaciones de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía y de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, se cambiaron los mismos, sustituyéndolos por otros que se mantienen en la actualidad.

2.4. Soporte informático

En la organización de la información, se recurrió al uso de los programas informáticos DBASE IV y EXCEL 5.0, utilizados como base de datos. El diseño de la base de datos se realizó empleando once variables de tipo numérico y escala de razón con aproximadamente 124 observaciones por variable. Se emplearon los programas estadísticos: STATGRAPHICS-PLUS y STATISTICAL 5.1.

3. Resultados y discusión

3.1. Meteorología de la zona

El periodo estudiado (1994-1997) está caracterizado, desde un punto de vista hidrológico, por haber sido una época de acusada sequía en todo el país, y de forma especial en Andalucía, lo que ha producido una variación en los acuíferos de la zona y un empeoramiento de la calidad de sus aguas. Para poder determinar la relación de la meteorología de la zona con la calidad de las aguas, se muestran los datos sobre el nivel de precipitaciones, de forma que se puedan establecer relaciones entre los parámetros físico-químicos y las etapas de sequía-humedad en que fueron analizados.

En la Tabla III se muestran los valores relativos a precipitaciones totales mensuales y a la temperatura media mensual registrados en la estación meteorológica más cercana al vertedero y ubicada en la comarca de Jerez de la Frontera. Estos datos han sido facilitados por el Departamento de Comisaría de Aguas de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Según la misma, se registra un valor medio de precipitaciones anuales de 745 mm. Los años 1994 y 1995 se corresponden con valores

Tabla III. Datos meteorológicos de la comarca de Jerez de la Frontera - Cádiz, (1994-1997)

Precipitaciones totales mensuales (mm)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
1994	45,5	86,5	0,5	28,3	68,3	1,0	0,0	0,0	49,1	26,8	73,6	8,4	388,0
1995	38,4	81,1	8,2	16,7	0,0	4,9	1,1	1,7	0,9	1,5	107,2	188,3	430,0
1996	345,3	37,0	42,6	37,9	102,1	0,0	0,0	0,0	68,8	55,2	126,1	608,5	1423,5
1997	192,0	0,0	0	52,3	30,7	30,6	1,1	0,8	21,6	54,0	180,7	175,5	739,3

Temperaturas medias mensuales (Media entre la MÁX, y la MÍN) (°C)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Media
1994	9,9	11,3	15,5	15,3	18,7	23,5	27,0	26,3	22,1	20,0	15,8	11,9	18,11
1995	10,6	13,2	14,7	16,9	21,3	22,4	26,3	26,7	21,9	21,6	17,6	14,3	18,96
1996	13,3	10,6	14,3	17,1	18,9	24,3	26,2	24,2	21,5	18,9	14,4	12,8	18,04
1997	12,1	13,7	16,5	18,9	19,0	21,3	24,3	25,6	24,5	21,5	15,9	12,3	18,80

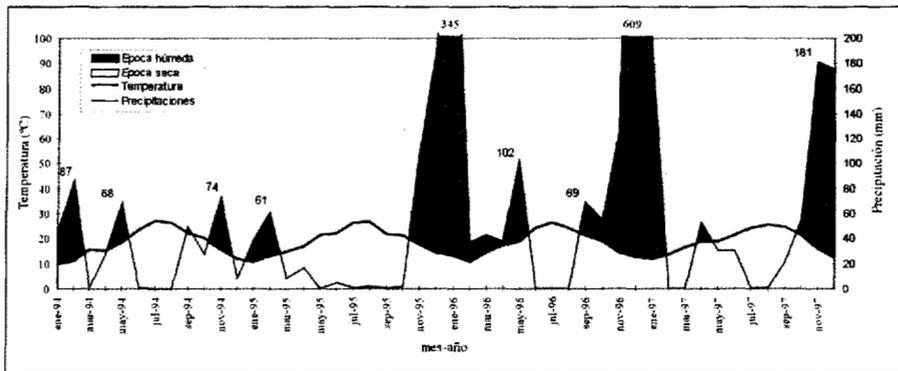


Figura 3. Climograma de la comarca de Jerez de la Frontera, (1994-1997)

de precipitaciones totales que no superan la media, mientras que a partir del año 1995 se produce un aumento que alcanza su valor máximo en el año 1996.

Para tener una idea del régimen térmico y pluviométrico del clima y poder diferenciar los periodos o meses de sequía de los húmedos, en la figura 3 se representan los climogramas, correspondientes al periodo 1994-1997. En la misma, la curva de precipitaciones se encuentra por debajo de la de temperatura para los periodos indicativos de sequía y por encima en las épocas húmedas. El climograma obtenido se corresponde con un clima de tipo mediterráneo, caracterizado por una estación seca de gran amplitud desde los meses de mayo-junio a septiembre y durante los cuales apenas llueve, y otro periodo desde octubre hasta abril de precipitaciones más abundantes. Se diferencian, pues, un periodo de sequía comprendido principalmente entre los años 1994 y 1995, y

dos años húmedos con meses de grandes precipitaciones, durante los dos últimos años del periodo estudiado, sobre todo a partir del mes de diciembre de 1996, con precipitaciones de 608,5 mm, alcanzándose una precipitación total anual de 1.424 mm, muy por encima de la media estimada en 745 mm.

3.2. Análisis estadístico

Se ha realizado un análisis estadístico a todos los parámetros analizados en la totalidad de los puntos de muestreo y en el periodo 1994-1997, basado en el estudio de índices estadísticos tales como el número de muestras, el valor medio, la mediana, la desviación estándar, los valores mínimo y máximo, el rango, el menor y mayor cuartil y el rango intercuartilico, tal y como muestra la Tabla IV.

Dado que pueden existir incidencias en la evolución de los paráme-

tros durante el periodo de estudio, se llevó a cabo el análisis estadístico de las muestras para las estratificaciones por años, en la que los índices analizados fueron el valor medio y la desviación típica, según se muestra en la Tabla V. De la misma forma, con idea de establecer las variaciones significativas de los parámetros en los diferentes puntos de muestreo, se realizó un estudio análogo, recogido en la Tabla VI.

Para complementar los resultados más destacables del estudio estadístico, se han representado en las figuras 4 a 9 la evolución temporal de los parámetros frente a los años, por una parte, y de los puntos de muestreo, por otra. Así, quedan recogidos en varios grupos de contaminantes. Los parámetros físico-químicos, como son el pH y la conductividad; los parámetros que se identifican con la cantidad de materia orgánica tales como demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅); los componentes nitrogenados, como son nitritos, nitratos, amonio y nitrógeno kjeldahl y, por último, los metales pesados, entre los que se han determinado cobre, plomo y zinc.

3.3. Evolución de los parámetros determinados

La conductividad es un parámetro indicativo de la concentración de

Tabla IV. Estudio estadístico general

	pH	Cond. mS/cm	DQO mg O ₂ /L	DBO ₅ mg O ₂ /L	NO ₂ ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	N.K. mg/L	Cu ₂ ⁺ ppm	Zn ₂ ⁺ ppm	Pb ₂ ⁺ ppm
Nº muestra	124	124	86	119	124	124	124	120	106	106	104
Media	7,67	9,62	32,57	4,23	0,24	33,39	0,65	42,21	16,07	132,7	6,39
Mediana	7,72	4,24	22	3	0,08	15	0,1	21,12	5	69,25	3
Mínimo	6,65	0,31	0	0	0	0	0	2,72	0	0	0
Máximo	8,49	50,8	195	26	8,25	205	14	328	411,3	1527	100
S.D.	0,323	12,087	32,887	5,272	0,795	52,725	2,029	52,877	47,748	218,72	11,654
Rango	1,84	50,49	195	26	8,25	205	14	325,28	411,30	527	100
Q1	7,49	2,70	14	0	0,04	3	0,03	14,05	2,10	39	1
Q2	7,86	7,74	38	5	0,2	31	0,23	48,15	9,34	128	6,89
Rango IQ	0,37	5,03	24	5	0,16	28	0,20	34,1	7,24	89	5,89

S.D.: Desviación estándar Q1: Menor cuartil Q3: Mayor cuartil N.K.: Nitrógeno Kjeldahl

Tabla V. Estadística descriptiva respecto del periodo de estudio (periodo 1994-1997)

AÑOS		pH	Cond, mS/cm	DQO mg O ₂ /L	DBO ₅ mg O ₂ /L	NO ₂ ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	N,K, mg/L	Cu ²⁺ ppm	Zn ²⁺ ppm	Pb ²⁺ ppm
1994	Media	7,7	10,87	32,39	4,17	0,09	34,17	0,52	53,62	3,708	141,542	4,083
	S,D,	0,344	14,155	20,600	6,397	0,127	57,150	0,898	42,415	4,005	274,041	5,107
1995	Media	7,66	8,05	33,23	2,83	0,52	40,52	0,30	86,62	6,630	176,704	3,074
	S,D,	0,385	11,082	30,586	2,869	1,661	63,552	1,072	88,230	8,572	319,323	6,337
1996	Media	7,59	6,62	31,26	6,78	0,16	25,44	1,19	23,64	24,094	106,704	8,687
	S,D,	0,341	9,270	32,236	6,135	0,166	40,476	3,173	14,024	69,388	102,596	15,761
1997	Media	7,77	14,30	34,56	1,90	0,23	37,76	0,30	19,04	33,249	109,144	10,818
	S,D,	0,167	13,662	49,115	2,398	0,229	55,184	0,724	13,284	45,237	101,206	11,391

S,D,: Desviación estándar

N,K,: Nitrógeno Kjeldahl

sólidos disueltos y determina cambios a corto plazo en la calidad de las aguas. En la figura 4.b. se observa un valor medio muy alto para los puntos 1 y 2 pertenecientes al Arroyo Salado. En cuanto a los puntos correspondientes a las aguas subterráneas, se diferencian los pozos 3 y 4, colindando con la finca de Miramundo, que mantienen conductividades en torno a 4 mS/cm, de los pozos 6, 7 y 8, con valores más bajos, mientras que el punto 5 mantiene un nivel mayor de hasta 9 mS/cm; valores bastante

altos, teniendo en cuenta que se trata de acuíferos alejados del mar, como consecuencia de la mineralización de las aguas. En cuanto a la calidad de las aguas a lo largo de los años, en la figura 4.a, se observa una mejora de la misma desde el año 1994 al 96, año de intensas precipitaciones, siendo peor la calidad en el 97, en el que se incrementó el valor de la conductividad.

El pH a lo largo de los años está comprendido dentro del rango 7.70 - 7.72 y experimenta un aumento a

lo largo de los años que puede ser consecuencia del aumento de las precipitaciones y el aporte de CO₂ a las aguas, lo que provoca un leve aumento de la acidez de las mismas [9].

El parámetro representativo de contaminación de tipo orgánica, DQO, presenta una media de 32.6 mg O₂/L, variando muy poco a lo largo de los años, como se observa en la figura 5.a. Se trata de un valor bastante alto para tratarse de aguas superficiales. Respecto a los

Tabla VI. Estadística descriptiva respecto de los puntos de muestreo

Punto		pH	Cond, mS/cm	DQO mg O ₂ /L	DBO ₅ mg O ₂ /L	NO ₂ mg/L	NO ₃ mg/L	NH ₄ mg/L	N,K, mg/L	Cu ppm	Zn ppm	Pb ppm
1	Media	7,73	25,82	-	3,17	0,28	12,54	0,35	26,44	7,74	107,94	17,84
	S,D,	0,275	15,360	-	3,111	0,19	13,068	0,734	20,697	5,356	106,054	24,968
2	Media	7,84	21,12	-	4,27	0,17	7,60	0,34	20,51	17,14	104,10	11,22
	S,D,	0,258	12,288	-	6,777	0,134	11,446	0,702	12,318	32,93	81,060	8,461
3	Media	7,51	4,05	25,00	2,47	0,14	25,42	0,08	63,76	5,02	79,99	3,73
	S,D,	0,262	1,384	14,599	2,348	0,207	16,868	0,137	102,891	5,673	122,180	4,152
4	Media	7,78	4,51	29,69	4,31	0,16	8,22	0,46	31,38	5,99	81,35	2,08
	S,D,	0,364	0,992	18,672	3,005	0,235	8,091	0,987	32,970	4,439	94,964	2,072
5	Media	7,67	9,51	53,54	5,11	0,19	17,29	0,66	39,59	29,09	120,83	9,00
	S,D,	0,275	12,110	56,881	6,452	0,330	14,724	1,452	46,887	34,852	84,233	11,023
6	Media	7,45	2,80	52,36	8,93	0,86	56,50	3,24	31,15	8,79	244,25	1,69
	S,D,	0,429	1,426	40,249	7,805	2,183	71,727	4,823	23,458	13,196	437,076	2,047
7	Media	7,62	2,22	12,77	1,27	0,05	135,93	0,04	51,85	51,01	208,10	3,01
	S,D,	0,206	3,190	10,425	1,268	0,024	69,827	0,040	37,019	119,368	374,097	3,590
8	Media	7,78	3,78	21,17	4,45	0,07	16,17	0,10	77,38	4,68	132,71	2,16
	S,D,	0,311	0,616	10,125	5,52	0,059	6,658	0,108	54,697	5,335	110,474	2,578

S,D,: Desviación estándar

N,K,: Nitrógeno Kjeldahl

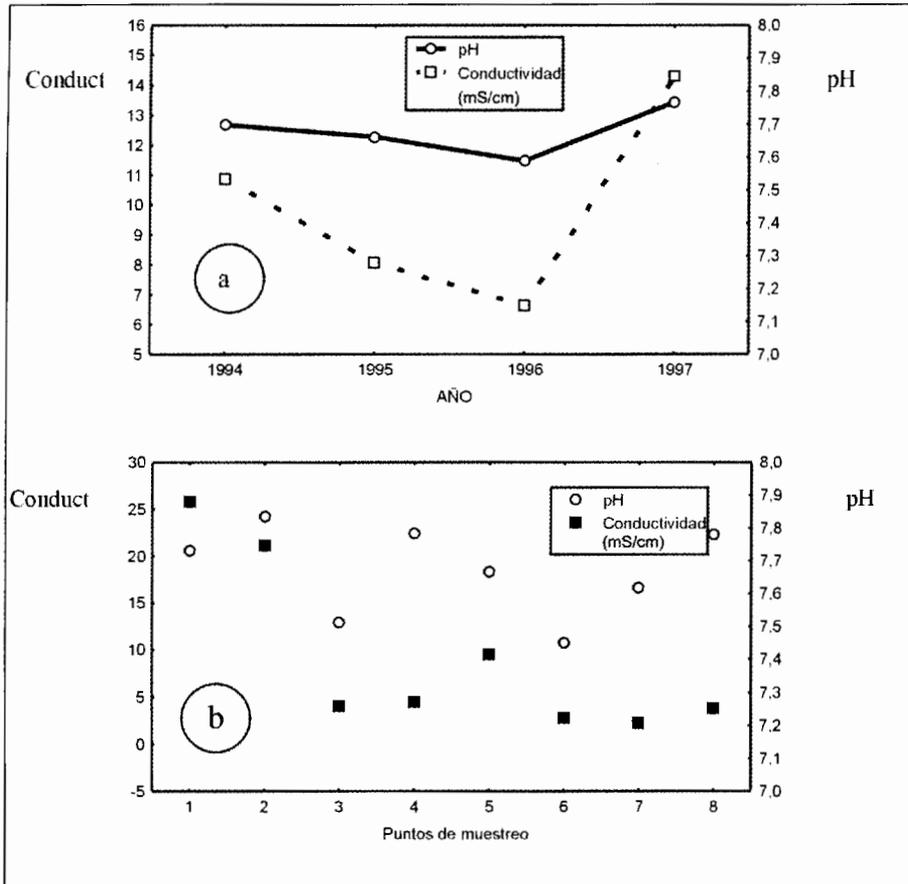


Figura 4. Evolución de la conductividad y el pH: a. Temporalmente; b. Espacialmente

puntos de muestreo (Fig. 5.b), no se pudo determinar la DQO para las muestras de agua salada (puntos 1 y 2) debido a interferencias en el método de medida por la cantidad de cloruros. Las aguas subterráneas de los sondeos perforados a 50 m (puntos 5 y 6) son los que muestran una DQO mayor de la media, en torno a 50 mg O₂/L, mientras que los demás puntos tienen valores por debajo de la misma. Por último, el pozo 7 (interior a la finca) es el de menor valor (12.8 mg O₂/L).

Otro parámetro indicativo de la contaminación por materia orgánica es la DBO que muestra un valor medio de 4.2 mg O₂/L, resultando el año 1996 el de mayor contenido, posiblemente por la avenida de las lluvias y el arrastre de materia orgánica, tal y como se observa en la figura 5.a. Los sondeos 5 y 6 presentan los valores más altos de DBO, al igual que ocurría con la DQO, según muestra la figura 5.b. En las aguas del Arroyo Salado, los resultados determinados no mostraron índices de altas contaminaciones por materia biodegradable.

Los componentes nitrogenados indican cantidades muy pequeñas de los iones amonio y nitrito, representados en la figura 6.a, encontrándose más altos los contenidos de nitrato tal y como sucede en la mayoría de las aguas subterránea (Fig. 6.b). Esto es como consecuencia del proceso de nitrificación que experimenta el amonio hasta un estado de oxidación más estable, que es el que representa el ion nitrato. No obstante, estas aguas también presentan contenidos elevados de nitrógeno kjeldahl, como suma de nitrógenos orgánico y amoniacal.

El análisis respecto a los años indica un aumento del contenido de nitritos, nitratos y nitrógeno kjeldahl en el 1995, año en que la sequía alcanzó su mayor grado, mientras que para el resto del periodo; por contra, los valores de este parámetro disminuyen considerablemente en 1996, con la avenida de las lluvias, aumentando el contenido de amonio por encima de los valores

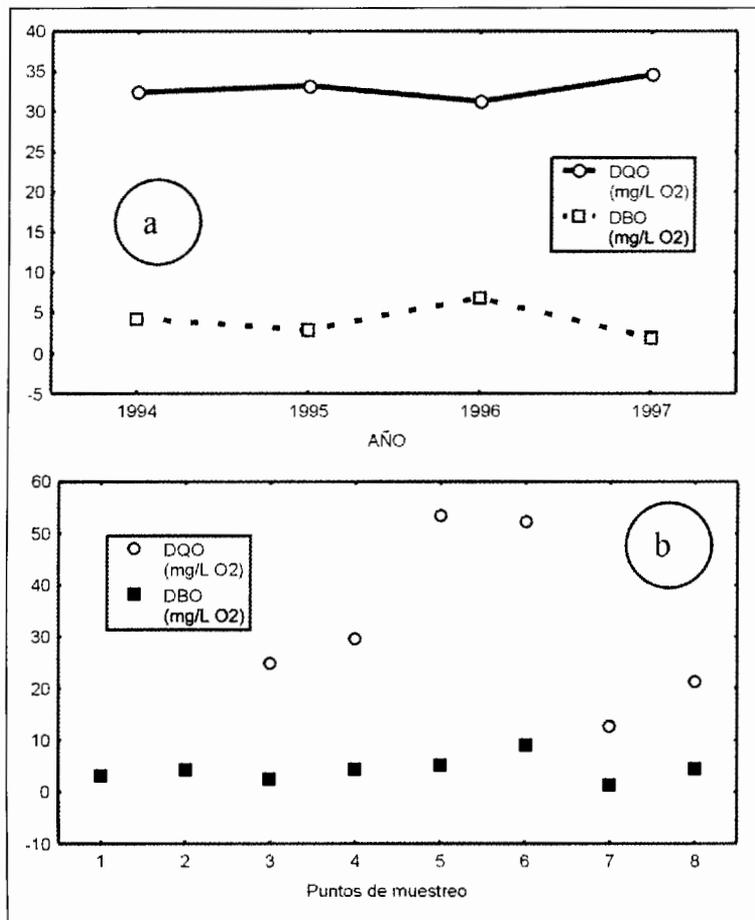


Figura 5. Evolución de la demanda química de oxígeno (DQO) y de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅): a. Temporalmente; b. Espacialmente

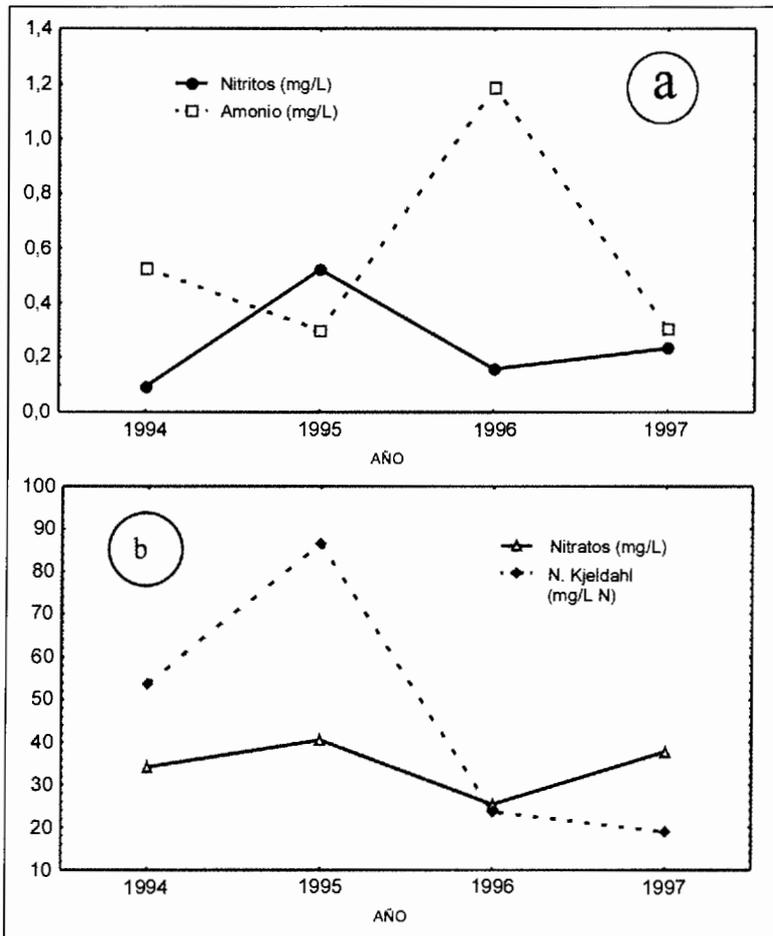


Figura 6. Evolución temporal de los niveles de : a. nitrito (NO_2^-) y amonio (NH_4^+); b. nitrato (NO_3^-) y nitrógeno Kjeldahl (N)

medios de la etapa estudiada. La toxicidad del amoníaco depende de su concentración como amoníaco no ionizado en el agua a partir del equilibrio $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$, estando en función del pH y de la temperatura, desplazándose el equilibrio hacia la izquierda cuando se incrementan estos dos parámetros en un determinado intervalo [5]. Es por ello que a la avenida de las lluvias y el consecuente aumento de CO_2 , como quedó especificado anteriormente, disminuya el pH y el desplazamiento del equilibrio tienda hacia la derecha, aumentando, por tanto, el contenido en ion amonio en el año 1996.

Cabe destacar el sondeo nº 6 cuyos valores de nitritos y amonio (Fig. 7.a.), así como de nitratos (Fig. 7.b.) son los más altos del grupo, exceptuando los nitratos del pozo 7, ambos con valores de nitratos mayores que los seguidos en la evolución temporal. No obstante, el nitrógeno kjeldahl (Fig. 7.b.), se mantiene en concentraciones menores que otros puntos en este sondeo, por lo que no cabría considerar una gran cantidad de nitrógeno orgánico en el mismo.

3.4. Metales pesados

Algunos elementos son esenciales para los organismos vivos, pero si rebasan ciertos límites pueden llegar a ser tóxicos e incluso letales. Así, la toxicidad de los diferentes elementos pesados es distinta, por ejemplo, se admite que el Ni es 8 veces más tóxico que el Zn, y que el Cu es el doble de tóxico que el Zn, por lo que esto hace necesario su control en las aguas.

Se considera al cobre como un metal esencial, pero a partir de ciertos niveles de concentración puede producir efectos tóxicos, tales como trastornos gastrointestinales o hepáticos. El plomo puede producir envenenamiento crónico al interferir en la síntesis del grupo hemo, (se absorbe en los glóbulos rojos y circula a través del cuerpo). Sus concentraciones en el agua en cada momento vienen dadas por la distinta calidad de los vertidos, y por movilizaciones de estos meta-

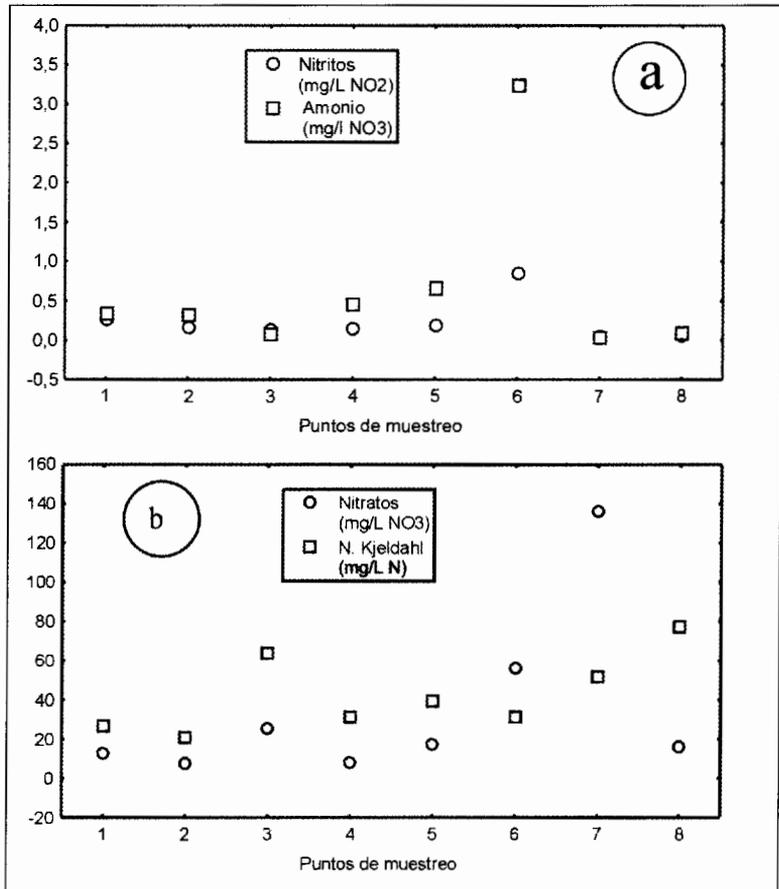


Figura 7. Evolución espacial de los niveles de : a. nitrito (NO_2^-) y amonio (NH_4^+); b. nitrato (NO_3^-) y nitrógeno Kjeldahl (mg/LN)

les desde los sedimentos que pueden tener lugar si se producen pequeñas variaciones en el pH del agua o en el contenido de materia orgánica [1].

En la figura 8.a, se representa la evolución de los metales plomo y cobre. Aparecen, en general, en bajas concentraciones, y éstas siguen la misma línea de tendencia, incrementándose a lo largo del periodo estudiado, siendo el año 97 el que presenta mayor concentración de ambos; se destaca que para ambos metales no se superan las concentraciones máximas admisibles establecidas en la legislación referente a aguas potables [7].

En la figura 8.b., se observa que los puntos localizados en el Arroyo Salado son los que presentan mayores concentraciones de plomo, mientras que son los pozos 5 y 7 (situados en el interior de la finca) los de mayor concentración de cobre.

El zinc constituye aproximadamente el 0,02 % de la corteza terrestre [4], y se trata de un metal esencial no considerado como perjudicial para la salud, aunque infiere un sabor desagradable al agua de bebida. Según la figura 9.a., la concentración aumenta considerablemente en el año 1995 con las precipitaciones ocurridas al final del año, provocado por el lixiviado de las escorrentías de agua y la consecuente mineralización de las corrientes subterráneas. Respecto a los puntos de muestreo, el sondeo nº 6 y el pozo 7 son los que presentan valores mayores que el resto de los puntos, según se observa en la figura 9.b, aunque los puntos 5 (sondeo de 50 m) y el 8 (pozo colindante), también mantienen valores altos; no obstante, no son contenidos tan altos como para llegar a ser tóxicos, puesto que quedan lejos de superar las concentraciones máximas legisladas para aguas potables (5.000 µg/L) [4].

4. Conclusiones

A partir del análisis pormenorizado de los parámetros estudiados se extraen las siguientes conclusiones:

Figura 8. Evolución de los niveles de cobre y plomo: a. Temporalmente; b. Espacialmente

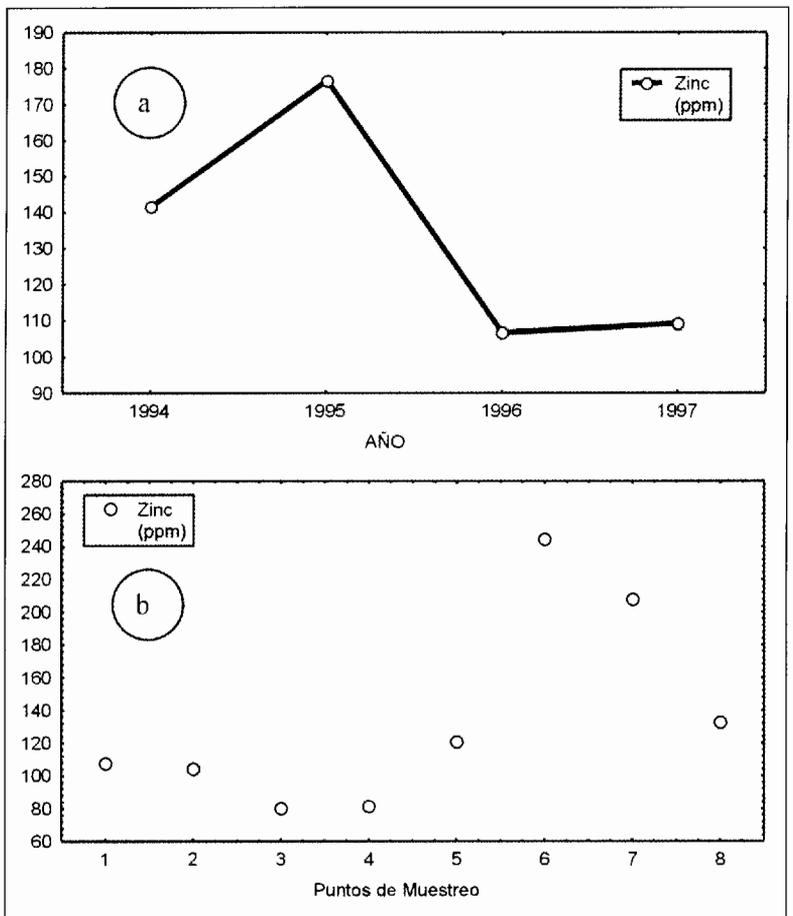
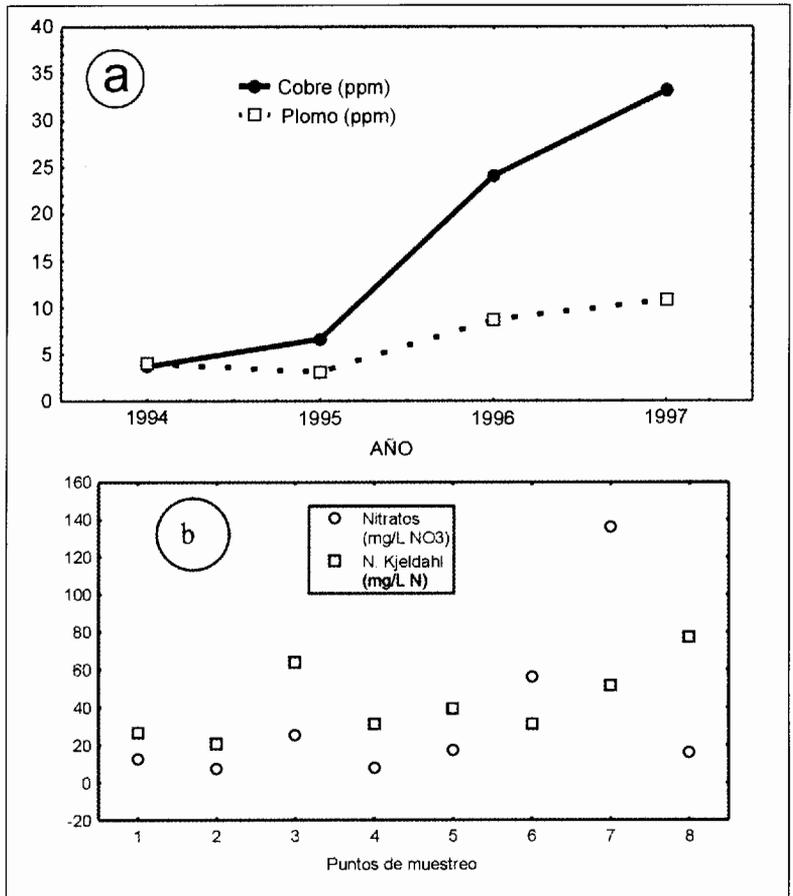


Figura 9. Evolución de los niveles de zinc: a. Temporalmente; b. Espacialmente

• Las lluvias del año 1996 influyen con gran evidencia en una disminución de la conductividad y del pH, así como en un aumento en DBO, una disminución de nitritos, nitratos y nitrógeno kjeldahl y, por el contrario, un aumento de amonio.

• La sequía del año 1995 provocó un aumento de nitritos, nitratos y nitrógeno kjeldahl, así como un aumento de zinc.

• Atendiendo a la concentración de los distintos metales analizados en los distintos puntos de muestreo durante el periodo de estudio, se puede concluir que el contenido es bajo y sus concentraciones varían en función de diferentes características a las mencionadas con anterioridad para otros agentes contaminantes, tanto espacial como temporalmente. Esta generalizada baja carga metálica implica que es poco probable que estos iones causen fenómenos de toxicidad, puesto que ni siquiera alcanzan los límites establecidos legalmente para las aguas de bebida.

5. Consideraciones finales

Los programas de seguimiento de la calidad de aguas son muy útiles para el control de posibles episodios de contaminación de aguas subterráneas y aguas superficiales próximas a un vertedero. En este sentido, el Consorcio Bahía de Cádiz mantiene un control periódico de las aguas colindantes al ver-

tedero de residuos sólidos urbanos de la finca de Miramundo desde hace varios años.

Actualmente, el Consorcio tiene puesto en marcha la construcción de una planta de biorreciclaje en Miramundo, lo que conllevará una serie de cambios y mejoras en la finca, entre los cuales cabe destacar el sellado y regeneración del vertedero actual, la creación de un nuevo vertedero de apoyo a la planta en la finca colindante Los Hardales y la instalación de un sistema de recuperación y utilización del biogás generado en el viejo vertedero.

Esta nueva situación implicará una serie de cambios en el programa de seguimiento de la calidad de las aguas, entre los cuales deberá contemplarse:

- El mantenimiento de los puntos de control del antiguo vertedero.
- La ubicación de nuevos puntos de control para el vertedero nuevo.
- El control de los lixiviados generados en ambos.
- El tratamiento de los lixiviados generados mediante evaporación forzada.

6. Bibliografía

[1] Alda, A.; Loeches, J.L.; Martínez Para, M.C.; Aguilar, M.V. "Calidad de las aguas del río Henares en el tramo Guadalajara-Azuqueca de Henares: III. Metales pesados" *Tecnología del Agua*, 155: 42-46. (1996).

[2] APHA, AWWA, WPCF. *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y*

residuales. Editorial Díaz de Santos, S.A. Edición en español. Madrid. (1989).

[3] Bridgman, H.A. "Evaluating rainwater contamination and sources in southeast Australia using factor analysis. *Atmospheric Environment* 26A, 13, 2401-2412. (1992).

[4] Bueno, J.L.; Sastre, H.; Lavín, A.G. *Contaminación e Ingeniería Ambiental. Degradación de suelo y tratamiento de residuos*. Fundación para el Fomento en Asturias de la Investigación Científica Aplicada a la Tecnología (F.I.C.Y.T.). Oviedo. (1997).

[5] Hellawell, J.M. "Biological indicators of freshwater pollution and environmental management". Elsevier Applied Science Publishers, Londres. (1986).

[6] Loeches, J.L.; Alda, A.; Martínez Para, M.C.; Aguilar, M.V.; Hernández, D.; Lucas, J. "Calidad de las aguas del río Henares en el tramo Guadalajara-Azuqueca de Henares. II. Parámetros indicadores de contaminación.". *Tecnología del Agua*, 154: 33-39. (1996).

[7] Real Decreto 1138/1990, de 14 de septiembre, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables al consumo público.

[8] Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos Preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.

[9] Sánchez, M. D. "Estudio de calidad de las aguas del río Turia en el entorno de Teruel: II. Salinidad del agua y clasificación según la composición de iones mayoritarios". *Tecnología del Agua*, nº 127, pp. 9 - 15. (1994).

Agradecimientos

Los autores del presente trabajo desean expresar su agradecimiento al Consorcio Bahía de Cádiz, así como al Departamento de Ingeniería Química, Tecnología de los Alimentos y Tecnologías del Medio Ambiente, por la colaboración prestada para la realización de este trabajo.

IQ

**Los Mejores Suministradores
de Equipos y Servicios
están en la
Guía de Compras
de las páginas finales de la revista**