

EVOLUCION DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS EN EL P. N. DE LAS TABLAS DE DAIMIEL (CIUDAD REAL) DURANTE EL PERIODO COMPRENDIDO DESDE 1988 A 1993

G. DE ARANDA¹, J. GARCÍA² y J. M. MARTÍN -MONTALVO³

RESUMEN

El punto de partida es la base de un banco de datos obtenidos de muy distinta procedencia: Confederación Hidrográfica del Guadiana, Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Red de Sondeos Telemandados del ICONA. Se ha diseñado el estudio mediante una zonificación del mismo: zona «A», denominada «Tablazo»; zona «B», denominada «Madre Vieja del Guadiana», y zona «C», denominada «Restauración». El trabajo asume antecedentes desde 1972 y se centra en valoraciones de parámetros hidrológicos desde 1988 al 1993, sacando las correspondientes conclusiones de los mismos para el sistema humedal propio del Parque Nacional.

1. ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA ACTUAL

En un trabajo publicado anteriormente (ARANDA *et al.*, 1991) abordamos una metodología informática para la obtención de datos relativos al acuífero 23 (Cuenca del Guadiana) que se pueden reunir en dos grupos:

— Datos referidos a la cantidad de agua extraída del acuífero 23 mediante el bombeo en los pozos: caudales y niveles.

— Datos referidos a la calidad de las aguas de acuífero: parámetros hidrológicos medidos mediante sondas, como oxígeno disuelto, pH, conductividad y temperatura.

Uno y otro aspecto son las dos caras de una misma moneda, pues la relación entre la cantidad y calidad del recurso hídrico, tanto en el acuífero 23 como en la superficie, es obvia y los datos que se analizan en el apartado 3 de este trabajo indican la existencia de esta tendencia.

Las variaciones que se producen, tanto en la localización como en la cantidad y calidad del recurso hídrico durante el período estudiado en las Tablas de Daimiel, hace necesaria la modificación del antiguo programa informático mediante el diseño de un nuevo *software* aplicable al sistema de telemando y telecontrol, que siga conservando su carácter interactivo con el usuario a través de su sistema de menús (GARCÍA, J., 1992).

El núcleo del programa (U.M.S.) será el soporte del interfase entre el operador y el sistema, mediante un *software* de la aplicación denominado SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), desarrollado sobre el sistema operativo SCO. UNIX.SYSTEM.V que utilizando la UMS accede a la información generada por los sensores de campo y transmitida por el sistema de comunicaciones existente, llamado Dupline (MARTÍN MONTALVO, J. M., 1992).

El acuífero 23 está inserto en la cuenca hidrográfica del río Guadiana, la cual presenta una recarga anual en aguas subterráneas de 954 hm³, frente al total nacional de 20.021 hm³, de los cuales 771 hm³ se destinan para usos directos y 183 hm³ para usos asociados a la descarga natural, correspondientes todos ellos a riegos. No existen salidas no

¹ Doctor Ingeniero de Montes. ICONA.

² Ingeniero Agrónomo. Consultor.

³ Ingeniero Agrónomo. TRAGSA.

aprovechables a ríos y sí están cuantificadas otras salidas, del orden de 40 hm³ en la desembocadura del río Guadiana.

La citada cuenca hidrográfica, de la que el acuífero 23 forma parte, abastece en su conjunto una población de 1.641.224 habitantes, siendo el suministro de esa población de aguas subterráneas de un 50%.

En cuanto al volumen de aguas aportadas por los acuíferos, es menor, estando dentro de un orden del 39%, con una dotación en suministro con aguas subterráneas en el conjunto de la cuenca de 197 l/hab./día.

La Cuenca del Guadiana presenta tres unidades hidrográficas con problemas de sobreexplotación: La Mancha occidental, El Campo de Montiel (alto Guadiana) y Ayamonte-Huelva (Guadiana-Guadalquivir). De todos ellos, la primera unidad, La Mancha occidental, que comprende el acuífero 23, presenta un coeficiente K (bombeo/recarga) de 1,70, dando ese dato una idea del elevado grado de sobreexplotación del acuífero. Analizando y profundizando algo más en esa sobreexplotación, tenemos una recarga media de un orden de magnitud de 340 hm³/año, con un bombeo también medio de 580 hm³/año, lo que arroja un déficit estricto de 240 hm³/año y un déficit efectivo superior de unos 280 hm³/año. Tan altos valores del coeficiente K (1,70) identifican el problema de sobreexplotación como de carácter generalizado, no pudiéndose entrar en consideraciones de tipo local desde el punto de déficit del recurso hídrico, salvo bajo criterios de índole ecológica en el borde del acuífero en el lugar de ubicación del P. N. de las Tablas de Daimiel.

Este problema nos lleva a la declaración de zona sobreexplotada en una superficie de 500.000 ha, que comprende gran parte de la llanura manchega,

con un déficit estricto (recarga-bombeo) de 262 hm³/año, en la que el Parque Nacional ocupa sólo 3.000 ha.

El Plan Hidrológico Nacional (PHN), en actual debate, presenta unas propuestas de incrementos para la regulación y explotación de acuíferos que se indican en la Tabla I.

Al citado Plan se añadirá una red de control de las aguas subterráneas, Proyecto SAICA, que para el Guadiana, con una superficie de 12.763 km² de acuíferos, presenta 85 puntos con una densidad de 150 km² por punto, y en la que el centro del control del Parque Nacional puede y espera aportar datos contrastados de la calidad de las aguas del acuífero 23 mediante los controles analíticos que se realizan.

El estado carencial del recurso hídrico en el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel se agrava, como lo demuestran los datos procesados a continuación, que ponen en peligro a un humedal de interés universal según la Declaración de Ramsar.

A este respecto recogemos: «La explotación desmesurada de los recursos hídricos del acuífero de la Mancha occidental, con destino al regadío, pone en peligro la supervivencia del P. N. de las Tablas de Daimiel» (SÁNCHEZ, M.^a J., y MORAL, A. DEL, 1992) y como más adelante dicen en su artículo: «Las Tablas de Daimiel poseen el masegar más extenso de Europa occidental».

2. METODOLOGIA

2.1. Creación de un banco de datos

Partiendo de una situación original (hasta 1970-74), en la que los datos históricos de los valores de conductividad conocidos (cifras publicadas por SÁEZ-ROYUELA, 1977, y FERNÁNDEZ URÍA, *et*

TABLA I
HORIZONTE DE PLANIFICACION

Plan hidrológico	Período 1992-2002			Período 2002-2012			TOTALES		
	Acuífero	Regulación	Total	Acuífero	Regulación	Total	Acuífero	Regulación	Total
Guadiana I	—	549	549	—	195	195	—	744	744
Guadiana II	13	456	473	15	11	26	28	471	499

al., 1987) mostraban un equilibrio entre los aportes naturales (precipitación atmosférica, aguas fluviales de los ríos Cigüela y Guadiana, principalmente, y aguas procedentes de los niveles acuíferos) y las pérdidas por evaporación e infiltración, hasta otra situación en la que los aportes se modificaron sustancialmente (a partir de la década de los años ochenta las aguas de origen fluvial o superficial llegaron a ser inexistentes), para llegar, finalmente, y como consecuencia de la puesta en marcha del mencionado Plan de Regeneración Hídrica del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel en 1988 (ARANDA, G. DE, 1992), a un nuevo estado en el que se vuelven a producir entradas de aguas fluviales y subterráneas, aunque con un origen distinto de las mismas al tradicional e histórico del área del humedal, los autores del presente trabajo se plantearon la toma en consideración de datos obtenidos en distintos períodos con características muy específicas de cada uno de ellos.

Así, se recopilaron y procesaron los siguientes:

— Datos referentes a variación de los valores de conductividad durante los años 1972-1983. Obtenidos en los cauces de los ríos Cigüela y Guadiana y en el Parque Nacional.

Todos los datos manejados han sido recopilados de las cifras publicadas por SÁEZ-ROYUELA, 1977, y FERNÁNDEZ URÍA *et al.*, 1987.

— Datos obtenidos del estudio realizado por la empresa INYPSA durante el ciclo hidrológico 1988-89. Dicho estudio desarrolló un programa de muestreo en cuatro campañas o prospecciones coincidentes con las distintas estaciones climáticas del año durante el ciclo hidrológico 1988-89. Se consideraron doce estaciones de muestreo (analizando aguas superficiales o fluviales) situadas principalmente a lo largo del eje NE-SW, desde la desembocadura en el Parque del río Cigüela hasta su salida a través de la presa de Puente Navarro. También se tuvieron en cuenta los puntos de entrada de caudales procedentes del trasvase Tajo-Segura, y las diferencias transversales a este eje incluida una estación en el cauce de la Madre Vieja del río Guadiana. Se representan estas estaciones en la Fig. 1, donde aparecen cada una de ellas con la denominación usada en el estudio. Los análisis utilizados en este trabajo fueron efectuados por

el laboratorio de la Comisión de Aguas de la Confederación Hidrográfica del Guadiana, organismo al que pertenecían las estaciones utilizadas.

— Datos obtenidos del estudio denominado «Seguimiento de la Calidad Química y Biológica del Medio Acuático del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel». Estudio realizado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) para desarrollar un convenio establecido con el ICONA. Datos registrados durante 1992. Se utilizaron para la toma de muestras 18 estaciones seleccionadas con criterios similares a los del mencionado estudio de INYPSA. Algunas de las estaciones son coincidentes con las del anterior estudio, aunque no todas. En la Fig. 2 se refleja la localización de las mismas.

— Registros obtenidos por el ICONA y la Empresa de Transformación Agraria, S. A. (TRAGSA), mediante la utilización del Sistema Informático de Control de Parámetros Hidrológicos establecido en los seis pozos funcionales y telemandados (ARANDA, G. DE, 1993). Dicho control fue refrendado y ampliado por extracciones (aguas obtenidas por bombeo) analizadas en diferentes épocas por los laboratorios Centro de Análisis de Aguas, S. A. (Murcia), y Labaqua, S. A. (Alicante). Períodos de estudio: 1992-1993. La situación de los pozos se detalla en la Fig. 3.


2.2. Zonificación del estudio


La hidrología de la zona está profundamente afectada por dos factores: el topográfico y el geológico. Los ríos que discurren por estas llanuras, muy áridas, presentan pendientes inferiores al uno por mil y tienen cursos extremadamente lentos.

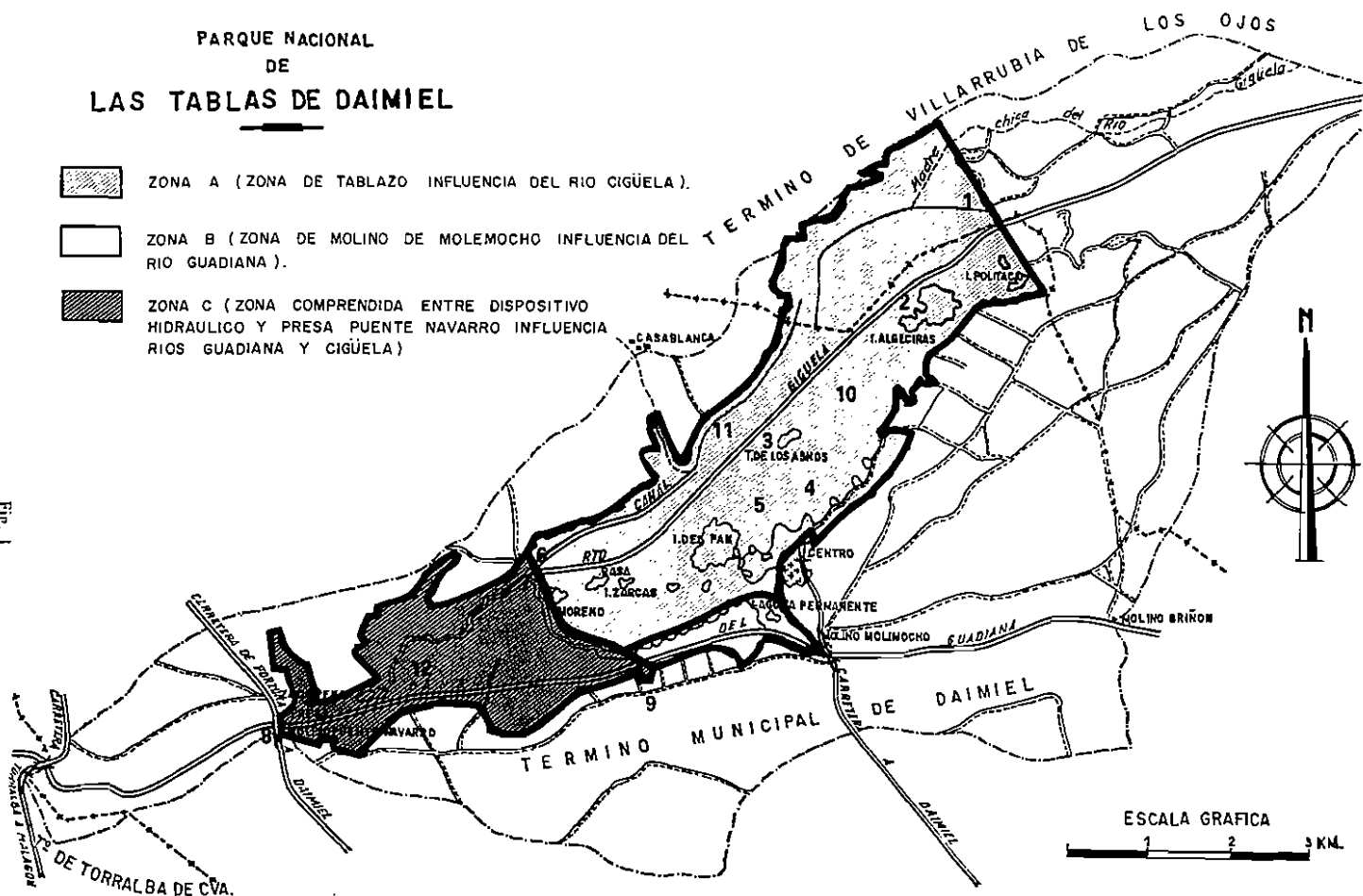
El acuífero de la llanura manchega, o acuífero 23, es la pieza clave del sistema hidrológico de la cuenca alta del Guadiana. La recarga de este acuífero procede de la infiltración de las aguas de lluvia, de las pérdidas de los ríos que discurren sobre su superficie y de los aportes laterales de las rocas calizas del Campo de Montiel. El acuífero, antaño, regulaba de manera natural las aportaciones que recibía y descargaba a través de aliviaderos naturales, siendo los más espectaculares los Ojos del Guadiana, origen del citado río. Parte de la descarga se efectuaba a lo largo de su curso, aguas abajo de

PARQUE NACIONAL
DE
LAS TABLAS DE DAIMIEL

 ZONA A (ZONA DE TABLAZO INFLUENCIA DEL RIO CIGÜELA).

 ZONA B (ZONA DE MOLINO DE MOLEMOCHO INFLUENCIA DEL RIO GUADIANA).

 ZONA C (ZONA COMPRENDIDA ENTRE DISPOSITIVO HIDRAULICO Y PRESA PUENTE NAVARRO INFLUENCIA RIOS GUADIANA Y CIGÜELA)



- 1 Pata Gallina
- 2 Isla de Algeciras
- 3 Tabla La Nasa
- 4 Embarcadero

- 5 Tablazo
- 6 Quinto de la Torre (antes del Dique)
- 7 Quinto de la Torre (tras Dique)
- 8 Puente Navarro

- 9 Madre Vieja del Río Guadiana
- 10 Tabla de Uña
- 11 Madre Vieja del Cigüela
- 12 Los Pesebres

Fig. 1

**EVOLUCION DE LA CONDUCTIVIDAD
AÑO 1988/89**

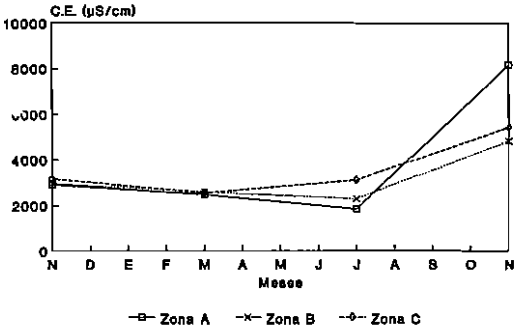


Fig. 4. Evolución de la conductividad.

**EVOLUCION DE LA CONDUCTIVIDAD
AÑO 1992**

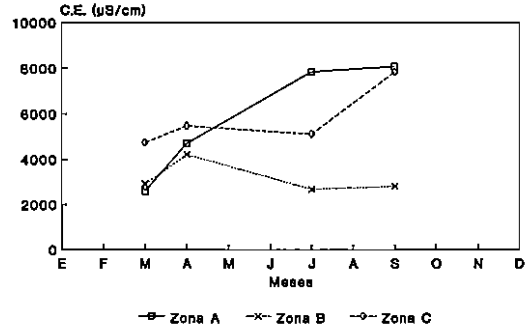


Fig. 5. Evolución de la conductividad.

**EVOLUCION DE LA CONDUCTIVIDAD
SONDEOS 2 Y 5**

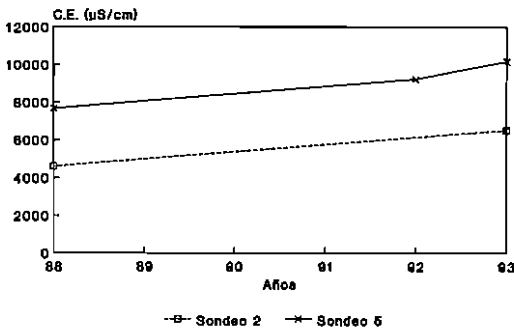
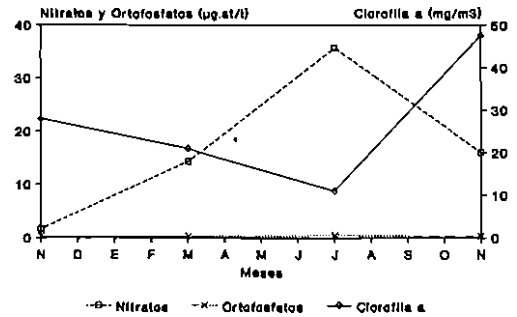


Fig. 6. Evolución de la conductividad.

**EVOLUCION DEL NIVEL DE NUTRIENTES
AÑO 1988/89**



ZONA C

Fig. 7. Evolución del nivel de nutrientes.

EVOLUCION DEL PH
AÑO 1988/89

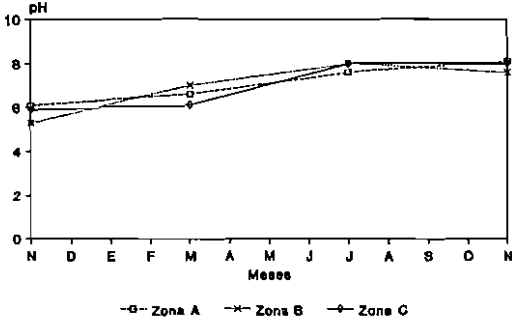


Fig. 8. Evolución del pH.

EVOLUCION DEL PH
AÑO 1992

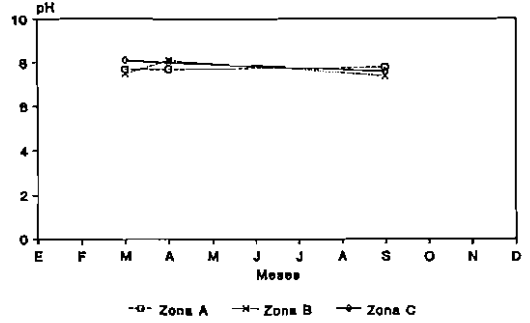


Fig. 9. Evolución del pH.

EVOLUCION DEL NIVEL DE OXIGENO DISUELTO
AÑO 1988/89

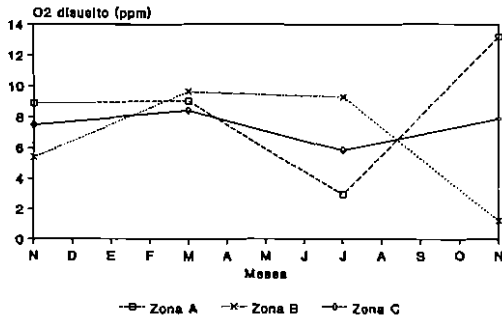


Fig. 10. Evolución del nivel de oxígeno disuelto.

su nacimiento, cuando el río formaba ya parte de las Tablas.

Las Tablas de Daimiel se formaban, pues, en la confluencia de la red hidrológica superficial de la cuenca alta del Guadiana (Cigüela tras recibir el Riansares y Záncara y éste a su vez al Rus, Saona y Córcoles) con los afloramientos del acuífero 23 (principalmente del propio Guadiana).

Los ríos de la vertiente Norte (Riansares, Cigüela y Záncara) atraviesan terrenos yesíferos en los que por la naturaleza de este sustrato sus aguas se cargan de sulfatos y cloruros. En sentido contrario, las cuencas de la vertiente Sur (Azuer, Córcoles y Alto Guadiana) transcurren por terrenos predominantemente calizos y calizo-margosos, por lo que las aguas son en general alcalinas.

Al amparo del río Guadiana se ha desarrollado una vegetación propia de aguas dulces (y anteriormente permanentes) y carbonatadas, mientras que con la influencia de los ríos más salinos, Cigüela y Záncara, predominantemente, y Azuer en menor grado, se ha favorecido el crecimiento de especies halófilas. Esta mezcla tan especial dio al Parque Nacional su peculiar aspecto vegetal. No obstante, hoy en día y desde hace años el Cigüela es el único alimentador importante del Parque.

Analizada así la situación, parece lógico diferenciar de entrada estas dos zonas de influencia marcadas por los cauces de ambos ríos Guadiana y Cigüela, más una tercera en la confluencia de los dos cauces con las especiales características añadidas por la construcción del dispositivo hidráulico (sobre la Madre Vieja del río Guadiana) que retiene y embalsa el agua de aporte de ambos cauces antes de su confluencia. Así pues, para clarificar más la selección de los datos recopilados se fija el siguiente criterio de zonificación, que permitirá agrupar todas las estaciones manejadas en el banco de datos en tres unidades homogéneas.

Zona A: Zona determinada «Tablazo» por las aportaciones superficiales del río Cigüela y las subterráneas de los sondeos funcionales de su margen izquierda.

Zona B: Zona denominada «Madre Vieja del Guadiana», por las aportaciones superficiales de este río y las subterráneas del sondeo del Molino de Molemocho, situado en su cauce.

Zona C: Zona denominada de «Restauración» o zona de confluencia de ambos ríos, y comprendida entre el dispositivo hidráulico (construido en la Madre Vieja del río Guadiana) y la presa del Puente Navarro. Aportaciones superficiales de ambos ríos y subterráneas procedentes del acuífero 23 (ARANDA, G. DE, 1992).

2.3. Estacionalidad del estudio

La mayoría de los ríos mencionados (que discurren por la cuenca alta del Guadiana) tienen un régimen muy irregular que además de la orografía de sus cuencas, ya mencionada, está influenciado por el clima extremo propio de la eseta central ibérica. En verano pueden llegar a secarse, al menos en algunos tramos, y posteriormente, con fuertes lluvias, llegan a inundarse grandes superficies de terreno.

Los niveles mínimos de inundación coincidían con el estío al disminuir los aportes y alcanzar la evapotranspiración sus valores más altos. Es decir, *a priori*, cabe suponer una importancia elevada en cuanto a la consideración del criterio de estacionalidad climática en el estudio. Sin embargo, si consideramos una media de precipitación anual no superior a los 350-400 mm/año (7-8 hm³/año) distribuida en una media de unos setenta-ochenta días de precipitación (datos obtenidos por la estación meteorológica del ICONA en el Parque. Ver Tabla III), no son relevantes en el período de estudio del que mayor número de datos se dispone, 1987/88 a 1992/93, frente a las aportaciones exógenas hídricas del ATS (Acueducto Tajo-Segura), cifradas en unos 13-18 hm³/año, distribuidas también en un período similar (unos setenta y siete-noventa días). A este respecto es interesante observar la Tabla II.

TABLA II
APORTACIONES TRASVASE TAJO-SEGURA

Año	Excedentes por Puente Navarro (hm ³)	Aportación total (hm ³)	Aportación recibida P. N. Tablas Daimiel
1988	—	12,90	75%
1989	—	13,33	75%
1990	3,5	15,78	75%
1991	5,2	17,72	68%
1992	—	6,60	40%

TABLA III
REGIMEN DE PRECIPITACIONES (mm). PARQUE NACIONAL DE LAS TABLAS DE DAIMIEL

Años	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total anual	Días de lluvia
70/71	0,0	11,6	29,4	40,2	80,7	14,6	81,7	83,6	144,1	26,1	24,6	6,6	545,2	—
71/72	5,0	8,5	10,2	53,9	54,2	88,3	67,1	0,0	28,3	16,6	0,0	11,0	343,1	—
72/73	49,3	110,9	41,2	40,6	24,7	7,0	37,4	29,4	50,4	56,9	1,0	5,8	454,6	—
73/74	4,0	90,1	23,7	54,6	9,3	45,6	33,6	71,9	8,6	92,6	6,1	4,5	444,6	—
74/75	0,0	43,5	16,0	2,7	16,5	42,4	105,0	42,0	70,8	19,1	0,0	14,1	372,1	—
75/76	15,9	1,2	17,0	27,7	14,1	41,7	21,4	53,0	19,6	27,5	64,1	22,8	326,0	—
76/77	33,3	62,9	38,6	85,6	69,0	50,4	21,5	7,9	29,5	19,4	15,6	25,4	459,1	—
77/78	0,6	60,2	54,7	109,4	38,3	88,9	26,3	63,1	38,9	20,7	0,0	16,2	517,3	—
78/79	14,4	3,4	24,2	91,0	116,9	101,9	36,8	30,6	33,5	24,6	8,9	0,0	486,4	—
79/80	29,4	101,2	7,1	17,5	12,4	28,6	38,5	32,7	42,9	3,2	2,0	12,5	326,2	—
80/81	14,2	45,8	63,1	4,5	2,2	34,8	20,6	93,7	32,4	7,6	3,6	3,4	325,9	—
81/82	9,8	1,8	1,3	141,9	36,0	23,9	21,2	41,4	99,6	13,1	23,1	1,5	414,6	—
82/83	14,1	40,4	107,0	19,5	0,0	5,7	5,7	31,8	3,5	16,6	0,0	15,8	259,8	65
83/84	1,5	5,0	85,7	54,5	14,7	24,4	65,4	65,7	80,8	7,0	0,0	3,1	407,8	60
84/85	6,8	36,6	99,3	2,8	48,3	61,6	3,5	42,7	46,9	35,9	0,0	0,0	384,4	108
85/86	6,2	0,0	47,0	81,6	22,9	82,4	17,9	77,0	31,6	26,5	2,5	0,0	395,6	—
86/87	20,6	60,0	15,8	14,7	81,8	50,2	8,2	65,5	3,7	ip	95,6	ip	416,1	—
87/88	32,5	77,0	23,4	114,2	38,5	16,4	0,7	44,7	34,2	71,4	11,7	0,0	464,7	—
88/89	0,0	21,7	10,0	7,6	14,4	27,1	23,0	35,8	84,6	19,5	0,0	0,0	243,7	58*
89/90	27,1	18,5	104,1	120,5	27,5	1,8	24,2	46,4	25,0	0,0	13,0	4,6	412,7	84
90/91	21,4	52,3	37,5	10,1	7,8	44,7	34,2	23,1	2,7	4,5	9,0	0,0	247,3	32**
91/92	69,8	75,4	7,1	33,8	1,6	70,2	20,4	46,5	45,3	151,6	0,0	13,7	535,4	60
92/93	16,4	86,6	2,2	28,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
93/94	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* A partir de abril de 1988.

** Hasta junio de 1990.

En consecuencia, se considera más importante para este estudio la combinación de las épocas de aporte del trasvase con los períodos de mayor precipitación pluviométrica que la estacionalidad climatológica.

2.4. Procesado y selección de datos

Todos los datos disponibles, obtenidos de las fuentes citadas (en el apartado 2.1) anteriormente, facilitados por la Dirección del Parque Nacional, se procesaron informáticamente y mediante sencillas hojas de cálculo se obtuvieron medias para cada período seleccionado y para cada estación de muestreo y/o sondeo.

Así pues, con el criterio de zonificación establecido y seleccionando como períodos más interesantes los que cumplen con los de máxima aportación hídrica (exógena) se confeccionan una serie de tablas en las que se presentan valores medios (de las distintas estaciones y/o sondeos considerados) de los principales datos físico-químicos que se citan: conductividad eléctrica, pH, concentración de los aniones y cationes más representativos, y, en ocasiones, otros datos, como concentración de clorofila, DQO y oxígeno disuelto (ver Tablas IV, V y VI).

Como información complementaria, en las Tablas VII y VIII se presenta la evolución de dos sondeos representativos: el núm. 2 (ubicado en el paraje denominado «La Mina») y el núm. 5 (ubicado en el paraje denominado «El Embarcadero»).

3. RESULTADOS EN EL PERIODO 1988-1993

3.1. Salinidad

3.1.1. Antecedentes 1972-1983.

Incendio 1986.

Regeneración hídrica 1987

La sobreexplotación de los recursos hídricos del acuífero 23 y la pérdida de funcionalidad de los ríos Guadiana y Cigüela originan un efecto sobre la calidad de las aguas, teniendo en cuenta la relación proporcional inversa entre las variables salinidad (representada por el valor de la conductividad eléctrica) y nivel de encharcamiento, que no es otro sino la progresiva salinización de las aguas del Parque. Así, se puede observar la evolución de este parámetro con valores medios anuales estabilizados en torno a 3.000-4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ entre los años 1972-79 hasta superar los 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en 1983 (datos de SÁEZ-ROYUELA, 1977, y FERNÁNDEZ URÍA *et al.*, 1987).

TABLA IV
RESULTADOS ANALITICOS EN LA ZONA A (TABLAZO)

	Nov. 1988	Marzo 1989	Julio 1989	Nov. 1989	Marzo 1992	Abril 1992	Sept. 1992	Marzo 1993
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2.910	2.480	1.840	8.160	2.571	4.709	8.084	7.978
pH	6,1	6,6	7,6	8,1	7,7	7,7	7,8	6,9
SO_4^{2-} (meq/l)	39,8	32,7	24,3	141,5	22,1	45,8	70,7	69,3
Cl^- (meq/l)	7,8	6,2	4,2	30,5	6,7	11,9	19,1	5,3
CO_3^{2-} (meq/l)	0,0	0,0	0,0	0,0	$\leq 0,02$	$\leq 0,02$	$\leq 0,02$	0,0
HCO_3^- (meq/l)	2,1	2,4	1,4	2,0	3,8	4,5	1,7	9,0
Ca^{2+} (meq/l)	25,4	19,5	18,1	67,3	16,5	27,1	40,0	32,6
Mg^{2+} (meq/l)	14,5	15,6	10,0	61,7	9,9	20,1	26,7	63,1
Na^+ (meq/l)	5,9	3,8	2,1	22,5	5,6	9,9	16,5	36,1
K^+ (meq/l)	0,3	0,4	0,3	0,8	0,3	0,4	0,8	0,7
NO_3^- ($\mu\text{g. at/l}$)	2,0	22,0	28,9	15,9	4,2	1,3	0,5	7,4
PO_4^{3-} ($\mu\text{g. at/l}$)	0,2	2,7	1,1	0,4	0,2	0,2	0,1	—
Clorofila a (mg/m^3)	22,8	4,3	23,2	37,6	51,6	54,3	140,0	—
Profundidad (m)	0,35	0,67	0,56	0,15	—	—	—	—
O_2 disuelto (ppm)	8,9	9,0	2,9	13,2	—	—	—	3,9
DQO (ppm O_2)	34,2	46,5	75,3	25,5	15,3	10,7	77,5	—

TABLA V
RESULTADOS ANALITICOS EN LA ZONA B (MADRE VIEJA DEL GUADIANA)

	Nov. 1988	Marzo 1989	Julio 1989	Nov. 1989	Marzo 1992	Abril 1992	Sept. 1992	Marzo 1993
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2.980	2.590	2.290	4.830	2.903	4.228	2.812	2.040
pH	5,3	7,0	8,0	7,6	7,5	8,1	7,4	7,2
SO_4^{2-} (meq/l)	45,4	29,9	26,7	64,1	26,6	43,1	27,1	18,9
Cl^- (meq/l)	6,2	6,8	5,4	26,6	5,5	8,9	6,5	6,2
CO_3^{2-} (meq/l)	0,0	0,0	0,0	0,0	$\leq 0,02$	$\leq 0,02$	$\leq 0,02$	0,0
HCO_3^- (meq/l)	3,4	2,0	1,4	3,2	3,5	3,3	4,0	5,2
Ca^{2+} (meq/l)	28,8	15,2	20,0	33,1	21,7	26,2	18,5	17,2
Mg^{2+} (meq/l)	14,0	17,2	12,0	31,6	12,7	17,5	12,0	9,5
Na^+ (meq/l)	3,8	4,8	3,1	19,1	3,6	7,3	6,3	2,7
K^+ (meq/l)	0,5	0,3	0,3	0,7	0,3	0,3	0,2	0,2
NO_3^- ($\mu\text{g. at/l}$)	3,1	57,6	35,7	7,3	4,6	0,9	0,5	18,6
PO_4^{3-} ($\mu\text{g. at/l}$)	0,3	0,1	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	—
Clorofila a (mg/m^3)	29,1	2,7	12,4	45,2	96,3	52,0	85,5	—
Profundidad (m)	0,30	0,60	0,53	0,42	—	—	—	—
O_2 disuelto (ppm)	5,4	9,6	9,3	1,2	—	—	—	6,9
DQO (ppm O_2)	63,0	105,0	40,0	95,0	10,9	10,3	30,8	—

La situación alcanzó en 1986 su momento más crítico, cuando el río Guadiana quedó definitivamente seco aguas arriba de las Tablas de Daimiel, mientras el Cigüela apenas aportó caudales, permaneciendo Las Tablas prácticamente secas durante todo el año. En septiembre de ese mismo año se desencadenó un incendio de superficie que a continuación se trasladó al paquete turboso del lecho de los ríos Guadiana y Cigüela, que aún, en algunos puntos, sigue activo en 1993.

Alcanzada esta situación, y con el fin de permitir la continuidad y salvaguarda de los valores ecológicos del Parque, se aprobó el Plan de Regeneración Hídrica, en el que se planteaban una serie de actuaciones con el objetivo de obtener un caudal de agua lo suficientemente grande como para asegurar la existencia de unos niveles estables comparables a los detectados históricamente en el área.

TABLA VI
RESULTADOS ANALITICOS EN LA ZONA C (RESTAURACION)

	Nov. 1988	Marzo 1989	Julio 1989	Nov. 1989	Marzo 1992	Abril 1992	Sept. 1992
C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	3.170	2.540	3.110	5.440	4.750	5.478	7.834
pH	5,9	6,1	8,0	8,0	8,1	8,0	7,6
SO_4^{2-} (meq/l)	42,5	31,2	28,2	74,9	43,4	53,1	84,0
Cl^- (meq/l)	7,3	6,8	9,4	31,3	13,1	13,5	22,9
CO_3^{2-} (meq/l)	0,0	0,0	0,0	0,0	$\leq 0,02$	$\leq 0,02$	$\leq 0,02$
HCO_3^- (meq/l)	4,0	2,9	1,6	2,0	4,4	3,7	3,0
Ca^{2+} (meq/l)	30,4	19,0	22,6	38,5	32,7	32,8	47,1
Mg^{2+} (meq/l)	15,0	15,8	12,4	33,1	24,6	24,1	38,9
Na^+ (meq/l)	3,3	4,5	5,4	21,7	10,3	11,8	19,6
K^+ (meq/l)	0,5	0,4	0,5	0,8	0,6	0,5	1,4
NO_3^- ($\mu\text{g. at/l}$)	1,7	14,3	35,7	16,0	5,1	2,0	0,1
PO_4^{3-} ($\mu\text{g. at/l}$)	0,3	0,3	0,5	0,3	0,1	0,0	0,1
Clorofila a (mg/m^3)	27,9	20,9	10,9	47,5	123,3	90,3	134,7
Profundidad (m)	0,20	0,55	0,47	0,25	—	—	—
O_2 disuelto (ppm)	7,5	8,4	5,8	7,9	—	—	—
DQO (ppm O_2)	77,0	72,5	50,0	40,6	47,5	4,0	117,5

TABLA VII
EVOLUCION DATOS SONDEO 2

	Junio 1988	Marzo 1993
C. E. ($\mu\text{S/cm}$)	4.596	6.500
pH	7,2	6,9
SO_4^{2-} (meq/l)	42,7	55,4
Cl^- (meq/l)	18,6	37,2
CO_3^{2-} (meq/l)	0,0	0,0
HCO_3^- (meq/l)	8,4	8,3
Ca^{2+} (meq/l)	31,3	32,1
Mg^{2+} (meq/l)	24,1	44,4
Na^+ (meq/l)	15,7	24,8
K^+ (meq/l)	0,7	0,6
NO_3^- (ppm)	23,1	19,1

Hasta el momento actual, las medidas llevadas a cabo han sido las siguientes:

— Aportación exterior durante el período 88-92 (aunque en el año 92 la aportación es mínima) derivando un total de 66,33 hm^3 procedentes del acueducto Tajo-Segura a través del cauce del Ciguéla. Previamente fue preciso construir una larga presa de tierra, a la altura de la Madre Vieja del Guadiana, que actuase como nueva retenida y permitiera el funcionamiento del sistema.

— Utilización de las aguas subterráneas del acuífero 23 mediante captación por una batería de sondeos (que quedaron reducidos a siete operativos, de los cuales seis son telemandados) dentro de los límites geográficos del Parque.

Con estas actuaciones es evidente que los aportes al Parque Nacional se han modificado sustancialmente tanto en su naturaleza como en su disposición temporal. Esto ha supuesto una evolución

TABLA VIII
EVOLUCION DATOS SONDEOS

	Junio 1988	Marzo 1992	Marzo 1993
C. E. ($\mu\text{S/cm}$)	7.682	9.200	10.150
pH	7,2	6,8	7,0
SO_4^{2-} (meq/l)	63,4	—	86,6
Cl^- (meq/l)	44,9	—	65,6
CO_3^{2-} (meq/l)	0,0	—	0,0
HCO_3^- (meq/l)	9,4	—	10,4
Ca^{2+} (meq/l)	38,9	—	31,4
Mg^{2+} (meq/l)	42,5	—	87,2
Na^+ (meq/l)	37,7	—	51,7
K^+ (meq/l)	0,8	—	1,0
NO_3^- (ppm)	21,5	—	2,2

tanto en la salinidad como en la composición iónica de las aguas del Parque.

3.1.2. Análisis del período considerado

Los aportes del ATS en el período 88-90, con 42,01 hm^3 , supusieron una inflexión en el proceso de salinización de las aguas del Parque descrito anteriormente. Esto se debió tanto por suponer la llegada de unos volúmenes importantes después de una época de aportes prácticamente nulos, como por ser aguas procedentes de una cuenca hidrográfica alejada, con un grado de concentración iónica menor en origen (aunque durante la derivación fue enriqueciéndose mediante intercambio iónico con el sustrato que conforma el lecho del río Ciguéla). De hecho, en los datos de que disponemos puede observarse la progresiva disminución de la conductividad durante la época de mayor derivación de caudales (noviembre/88 y marzo-julio/89), con valores muy inferiores a los comentados para el año 1983. Así, en estos meses se alcanzan valores medios de 2.000-3.000 $\mu\text{S/cm}$ (ver Tablas IV, V y VI).

Al mismo tiempo, parece detectarse durante esta época una tendencia hacia la homogeneización de toda la superficie acuática en cuanto a conductividad eléctrica se refiere, ya que se registran valores similares en las tres áreas en que se ha dividido el Parque para su estudio.

Una vez finalizados los dos primeros aportes del trasvase, la conductividad eléctrica aumenta considerablemente según disminuye la profundidad (nivel de encharcamiento). De este modo, nos encontramos en noviembre de 1989 con valores superiores a 8.000 $\mu\text{S/cm}$ en la zona A (Tablazo) (ver Tabla IV), manteniéndose valores inferiores en las zonas B y C, que permanecen con niveles de encharcamiento superiores (Tablas V y VI).

A partir de finales de 1991 la principal fuente de alimentación de agua de los terrenos del Parque Nacional de Las Tablas la constituyen las extracciones del acuífero a través de los sondeos, por lo que si tenemos en cuenta los valores de conductividad referentes a los sondeos y su evolución desde que están en servicio, en que han registrado un aumento significativo, es previsible que mientras continúe el presente régimen de aportes prosiga el proceso de salinización iniciado en los primeros

años ochenta. De hecho, en los datos de 1992 se observa una mayor conductividad eléctrica en las aguas del Parque (ver Tablas IV, V y VI).

A pesar de ello, existe un gradiente de conductividad en las aguas de los sondeos que disminuye al aproximarse al antiguo cauce del río Guadiana. Los aportes de agua procedentes del pozo de Molemochó (zona B), con una CE de aproximadamente 2.000-2.500 $\mu\text{s}/\text{cm}$, han posibilitado que los valores de CE obtenidos a lo largo de la Madre Vieja del Guadiana sean significativamente menores que los del Tablazo (zona A), con aportes procedentes de los sondeos de 8.000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ de conductividad media. De esta manera reaparece la zonación típica entre la zona mediatizada por aportes del río Cigüela, salinos (zona A), y los del Guadiana, más dulces (zona B).

3.2. Parámetros hidrológicos

3.2.1. Evolución y desarrollo

Basándonos en el método adoptado al fraccionar el estudio en zonas, y una vez analizado uno de los parámetros más significativos, el de la conductividad, que nos indica el estado de la salinidad de las aguas del Parque Nacional, procederemos seguidamente a exponer otras consideraciones observadas sobre otros parámetros de importancia, distinguiendo entre dos períodos plenamente definidos: 1988-90, que es cuando coinciden la entrada en servicio del sistema de extracción de pozos y los aportes más intensos del ATS, y el 1991-1993, que es cuando se detectan problemas en el funcionamiento de las instalaciones-hidromecánicas (principalmente debidos a la corrosión de los materiales que conforman las columnas de impulsión) y que a su vez corresponde con épocas de menores aportes hídricos.

En las Fotos 1 y 2 (detalle de registros ópticos obtenidos por vídeo-televisión de uno de los sondeos al transcurrir cuatro años desde su entubación) se puede observar el deterioro ocasionado por la corrosión de las aguas.

ZONA A

— Parámetro pH

Período 1988-1990:

En el período considerado tenemos oscilaciones de 6,1-8,1, importantes, pues son indicadores de que

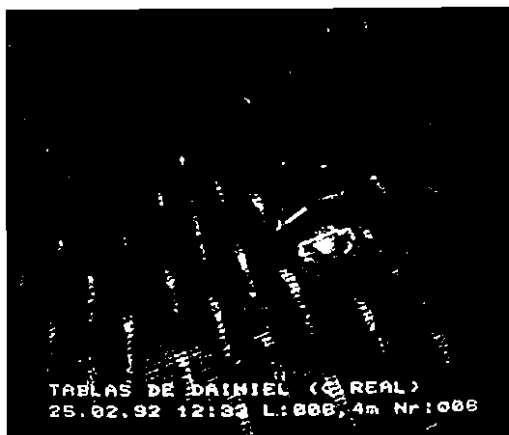


Foto 1. Detalle de registros ópticos obtenidos por vídeo-televisión: Tubería de impulsión con desgaste normal. Sondeo: La Mina. Profundidad: 60,7 m.

las aguas están progresando a un ambiente de más alta alcalinidad en función al aumento de concentración de radicales oxidrilos (OH^-).

Período 1991-1993:

En el período considerado tenemos oscilaciones de 6,9-7,7, lo cual indica una mayor estabilización de este parámetro a partir de la puesta en marcha de los pozos.

— Parámetro oxígeno disuelto y DQO

Período 1988-1990:

En cuando al DQO (p.p.m. O_2), los valores oscilan entre 2,5 a 75,3, siendo los valores más altos

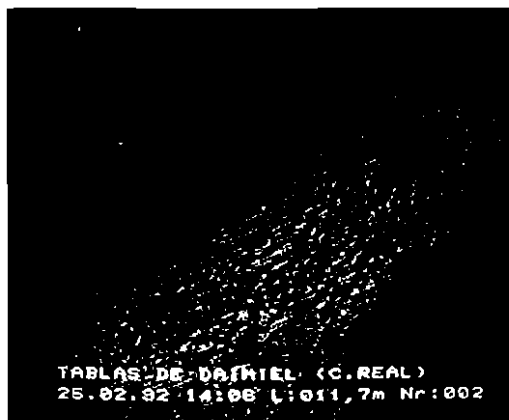


Foto 2. Detalle de registros ópticos obtenidos por vídeo-televisión: Tubería de impulsión con grandes incrustaciones. Sondeo: El Murciano. Profundidad: 11,7 m.

los del estiaje y los más bajos en el otoño coincidiendo con la mayor y menor demanda biológica respectivamente en superficie, que se acompañan de procesos de eutrofización.

Período 1991-1993:

Los valores de O₂ p.p.m. permanecen inalterados. En cuanto al DQO, los valores oscilan entre 10,7 a 77,5 en épocas similares al período 1988-1990.

ZONA B

— Parámetro pH

Período 1988-1990:

En el período considerado tenemos oscilaciones de 5,3-8,03, obteniéndose la misma interpretación que para la zona A.

Período 1991-1993:

En el período considerado tenemos oscilaciones de 7,5-8,1 obteniéndose la misma interpretación que para la zona A (en este período).

— Parámetro oxígeno disuelto y DQO

Período 1988-1990:

Variación de los valores entre 1,2-9,6 p.p.m. En cuanto al DQO, los valores oscilan entre 40-105, produciéndose una inversión respecto a la zona A en cuanto al período en que se producen los mayores valores absolutos.

Período 1991-1993:

Los valores de O₂ p.p.m. permanecen inalterados. En cuanto al DQO, los valores oscilan entre 10,3-30,8, de forma similar en igual período a la zona A.

ZONA C

— Parámetro pH

Período 1988-1990:

En el período considerado tenemos oscilaciones de 5,9-8,05; el aumento de alcalinidad de las aguas es constante como en las zonas A y B.

Período 1991-1993:

En el período tenemos oscilaciones de 8,1-7,56, indicando lo mismo que en las zonas A y B.

— Parámetro oxígeno disuelto y DQO

Período 1988-1990:

Variación entre 5,8-8,4. En cuanto al DQO, los valores oscilan entre 40,6-77, produciéndose efecto similar al de la zona B.

Período 1991-1993:

Los valores en O₂ permanecen inalterados, y respecto al DQO, los valores oscilan entre 4-117,5, siendo el intervalo mucho mayor en razón de sus valores extremos pero en igual sintonía con las zonas A y B.

3.2.3. Incidencia en el ecosistema humedal

Las transformaciones que ha ido experimentando el ecosistema sustentado en el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel en los últimos cinco años han tenido su origen en el régimen hídrico que allí se ha establecido, que proviene de las siguientes fuentes:

a) Régimen de precipitaciones.

Estos valores se adjuntan en la Tabla III, que incluye, a su vez, los días en que se ha producido lluvia y que arrojan una media anual en el período de este estudio de 380,76 mm frente a los 399,25 mm de los datos que se obtienen de la serie. La disminución de precipitación en los últimos cinco años frente a la serie de veintidós años es de un 5%, que contabilizados en aportaciones medias anuales arrojan la cifra de 0,356 hm³ en el propio Parque y de 1 hm³ en toda la zona de protección.

Esto nos lleva a la conclusión de que el régimen de lluvias no ha sido definitivo de la situación del Parque, sino los procesos de desecación que sobre el mismo se hicieron con anterioridad.

Además, la «evaporación alcanza su valor máximo durante el verano, superando ampliamente la cantidad de agua de lluvia, por lo que se puede definir la zona como francamente árida» (SÁNCHEZ, M.ª J., y MORAL, A. DEL, 1991 y 1992). Ahora bien, la disminución media en la zona de influencia del Parque de 1 hm³ anual incide en una mayor concentración de la salinidad del Parque al mantenerse iguales cotas de «evaporación».

b) Régimen de las aportaciones exógenas.

Obsérvense los datos apuntados en la Tabla I.

Hasta la fecha, el régimen de exploración del acuífero 23 ha sido irregular debido, principalmente, a problemas de funcionamiento de los equipos hidro-mecánicos. Las previsiones iniciales de 650 l/seg fueron disminuidas al orden de 500 l/seg debido a imprecisiones de los estudios de captación de aguas.

No obstante, de forma puntual tanto en el tiempo como en el espacio, las aguas extraídas de los pozos han producido efectos beneficiosos en el radio de actuación de la extracción, en general en las zonas de Molemocho y de La Viña.

Podemos concluir diciendo que aunque las aportaciones anuales por este sistema no han sido en valores absolutos comparables a las del trasvase, sí presentan una gran importancia por su localización en puntos estratégicos del Parque Nacional.

4. CONCLUSIONES

El aumento de las DQO indica una agresividad por encima de los valores normales, que produce un deterioro progresivo de las instalaciones hidromecánicas de extracción.

Los análisis cualitativos y cuantitativos de las aguas demuestran unas variaciones en aniones y cationes de forma generalizada, disminuyendo el calcio y el potasio y aumentando el sodio y el magnesio, lo que hace aumentar el ataque de las aguas a los elementos mecánicos de las bombas.

Los incrementos de las conductividades registrados en el acuífero manifiestan las variaciones de salinidad del mismo en consonancia con los análisis verificados en superficie y corroboran los daños apreciados en las columnas de impulsión de los pozos y en los rodetes de las bombas sumergidas instaladas.

El aumento de la salinidad, así como las variaciones cualitativas obtenidas en los análisis realizados en el período de estudio, se pueden atribuir a:

— Desaparición de las aportaciones regulares de aguas dulces del río Guadiana en Las Tablas debido a una sobreexplotación del acuífero y a que en la cuenca semiendorreica se creaban «ojos» que al bajar los niveles piezométricos desaparecieron.

— Aportaciones irregulares de aguas salobres procedentes del río Cigüela, aumentados desde el año 1988 por los envíos de agua desde el trasvase Tajo-Segura, que al recorrer su lecho llegan al Parque cargadas de sales (ARANDA, G. DE, 1992).

Estas causas han ocasionado variaciones estructurales de la asociación carrizo-masiega y la puesta en peligro de especies botánicas de estrechos márgenes de salinidad, como lo indican estudios que a este respecto realiza el ICONA.

La aplicación de estas conclusiones están restringidas, en lo que a durabilidad de las instalaciones mecánicas se refiere, al lugar en donde se han realizado los análisis y prospecciones del acuífero 23 coincidentes con la ubicación de los pozos. Si no se adoptan medidas correctoras al aumento de la salinidad de las aguas y a la bajada de caudales y niveles piezométricos del acuífero, en un corto plazo nos encontraremos, además de las averías en los equipos derivadas de las incrustaciones salinas, los siguientes problemas:

- a) Necesidad de realizar continuas adaptaciones y sustituciones de los equipos motobombas y de las columnas de impulsión por las variaciones que se presentan en los parámetros hidrológicos.
- b) Sustituciones y modificaciones de los sistemas de medida y control para adecuarlos a los equipos motobombas.
- c) Aumento de los costos normales de mantenimiento.
- d) Control programado de la calidad de las aguas del acuífero.
- e) Irrigación de los tablazos con un agua de baja calidad.

SUMMARY

The starting point is a bank of data obtained from very diverse sources, such as Confederación Hidrográfica del Guadiana (CHG)*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)**, and the ICONA teleautomated network of sampling.

The study has been designed considering a zoning approach: Zone «A» named «Tablazo», Zone «B» named «Madre Vieja del Guadiana» and Zone «C» named «Restauración». The work considers background data from 1972 and focuses on assessment of hydrological parameters from 1988 to 1993 getting the corresponding conclusions for the wetland system of the National Park.

BIBLIOGRAFIA

- ARANDA, G. DE, 1992a: «Regeneración hídrica del P. N. de las Tablas de Daimiel (C. Real). Aplicación a la hidrología subterránea». En: *Coordinación entre Hidrología Forestal y Protección de Suelos. Técnicas y experiencias de dirección de obras*. Cap. 21: 543-549. Col. Técnica, ICONA. Madrid.
- ARANDA, G. DE, 1992b: «Plan de regeneración hídrica del P. N. de las Tablas de Daimiel. Aliviaderos de labio fijo sobre terrenos inestables». En: *Actas X Congreso Forestal Mundial*. núm.º 2: 275. París. Publicado en: *Revista Forestal Española*, núm.º 6: 31-34.
- ARANDA, G. DE, 1992c: «Recuperación de un humedal. Regeneración hídrica del P. N. de las Tablas de Daimiel (C. Real)». En: *I Congreso Nacional del Medio Ambiente. Secc. Técnica. Gestión de Espacios Naturales y Biodiversidad*. Madrid.
- ARANDA, G. DE, 1993: *Proyecto de adaptación de los grupos motobombas y sistemas de control a la situación hídrica actual del P. N. de las Tablas de Daimiel (C. Real)*. Documento interno. ICONA, Madrid.
- ARANDA, G. DE, y MARTÍN-MONTALVO, J. M., 1991: «Implantación de sensores para la determinación de parámetros hidrológicos en el acuífero 23 con apoyo informático para la elaboración de una base de datos en el P. N. de las Tablas de Daimiel (C. Real)». *Ecología*, núm.º 5: 51-62. ICONA, Madrid.
- CSIC-ICONA, 1992: *Seguimiento de la calidad química y biológica del medio acuático del P. N. de las Tablas de Daimiel (C. Real)*. Doc. interno. ICONA. Madrid.
- FERNÁNDEZ URÍA *et al.*, 1987: *Datos de conductividades. Acuífero 23*. MOPT. Madrid.
- GARCÍA, J., 1992: *Manual de Mantenimiento de Batería de Pozos. Manual de empleo*. Sin publicar.
- MARTÍN-MONTALVO, J. M., 1992: «La informática y las comunicaciones aplicadas a la gestión del agua». En: *Curso de Inspectores en Calidad de Aguas*. U. P. M. Madrid.
- MOPT, 1993: *Plan Hidrológico Nacional*. Madrid.
- SÁEZ-ROYUELA, 1977: *Datos históricos de conductividad. P. N. T. D.* MOPT. Madrid.
- SÁNCHEZ, MARÍA JOSÉ, y MORAL, A. DEL, 1991: «El Parque Nacional de las Tablas de Daimiel o la importancia del agua en la España seca». *Rev. Forestal Española*, núm.º 3: 20-29.

* Guadiana River Hidaulyc Administration.

** High Research Council.