

# Problemática de las aguas subterráneas empleadas para consumo humano en las zonas de regadío: el caso de las vegas del Guadiana de Badajoz

*"La calidad del agua debe preservarse en niveles adaptados a la utilización a la que está destinada y debe satisfacer las exigencias de la salud pública"*

(Punto IV de la Carta Internacional del Agua).

## INTRODUCCIÓN.

La puesta en riego de un terreno obliga en nuestras latitudes a retener las aguas caídas sobre todo en los meses de octubre a marzo para emplearlas entre mayo y septiembre en época de mayor actividad vegetativa de los cultivos y por tanto de mayor demanda hídrica.

El esquema más simple para grandes superficies consiste en la construcción de un embalse que convenientemente dimensionado permita regular los aportes hiperanuales o anuales de la cuenca vertiente y por medio de dos canales principales, uno por cada margen del río y con pendiente menor que éste, dominar el área a irrigar, al principio constituida únicamente por la vega y, más lejos, al aumentar el desnivel entre el río y el canal, también por las terrazas bajas. El esquema puede complicarse con el añadido de bombeos para batir las terrazas altas o por la sustitución de parte del riego a pie por sistemas de aspersión a partir de depósitos elevados en torre para conseguir la presión necesaria.

Otra variante, en algunas zonas muy empleada, consiste en la explotación de embalses subterráneos existentes en el subsuelo del área a irrigar de donde se extrae el agua por medio de sondeos.

De los canales principales parte la red secundaria que conduce el agua

a cada una de las parcelas realizándose el riego, en el caso más sencillo, por el sistema de manta, más barato que los de aspersión y goteo que tienen la ventaja de requerir menos dotación hídrica.

Se consigue así la puesta en producción intensiva de zonas más o menos extensas con el correspondiente beneficio económico y social. El hecho viene acompañado, entre otros, por un aumento de habitantes que acrecientan los núcleos urbanos existentes o se asientan en nuevos pequeños poblados o en construcciones diseminadas.

Sin embargo, y como se verá, no todo son ventajas y la actuación acarrea algunos inconvenientes, entre otros, la pérdida de calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

Los terrenos a cultivar en la gran mayoría de los regadíos son vegas y terrazas de edad cuaternaria. Estos materiales en la península (1) se caracterizan por presentar un espesor reducido que salvo raras excepciones como cuenca baja del Manzanares y Jarama al sur de Madrid, desembocadura de ríos y franjas costeras del Levante, río Cardoner al sur de Cardona, etc., están en la tónica de la decena de metros, con valores ligeramente superiores en las vegas e inferiores en las terrazas.

La formación no suele ser homogénea: En la parte inferior predominan las gravas y arenas que en las terrazas, especialmente en las altas, pueden estar parcialmente cementadas por carbonato cálcico. En la parte superior, en el metro o par de metros más superficiales, aparecen elementos más finos: arcillas, arenas y limos, que forman suelos de los grupos de entisoles, alfisoles, vertisoles, inceptisoles, etc., en general de alta fertilidad. Se trata, por tanto, de materiales de elevada permeabilidad, sobre todo en su parte inferior granular, en la que la percolación de las aguas es rápida con la formación de acuíferos que tienen como límite el contacto de las gravas con el sustrato menos permeable.

## 1. LA CONTAMINACIÓN DE LOS ACUÍFEROS EN LAS ÁREAS REGADAS Y SUS CAUSAS.

El análisis químico de las aguas subterráneas procedentes de estos acuíferos muestra como progresivamente se van cargando de sustancias indeseables y en especial de compuestos de nitrógeno: nitratos, nitritos y amonio,

hasta sobrepasar con frecuencia los valores que el Reglamento Técnico Sanitario para el Abastecimiento y Control de la Calidad de las Aguas Potables de Consumo Público exige en España a las aguas destinadas al consumo humano. El tope en estos momentos está establecido en 50 mg/l. para los nitratos, 0'1 mg/l. para los nitritos y 0'5 mg/l. para el amonio.

La causa de esta frecuente impotabilidad es debida a la percolación, al acuífero de aguas cargados de compuestos de nitrógeno. Su origen hay que buscarlo sobre todo en la propia práctica del cultivo en regadío que conlleva la aportación masiva de fertilizantes que en los regadíos del interior peninsular suele hacerse en dos etapas: Un abonado de fondo a base de compuestos de Nitrógeno-Fósforo-Potasio que se suministra en abril-primera quincena de mayo y un abonado de cobertura en junio con nitrato de alta graduación o con urea. Según los cultivos y latitud estas fechas pueden desfasarse ligeramente.

El problema de la lixiviación de los compuestos de nitrógeno es complejo por el gran número de parámetros que intervienen y por su variabilidad de un lugar a otro. Son importantes las características climáticas como temperatura y pluviosidad; las características del suelo, en especial su permeabilidad, espesor, capacidad de campo, contenido en materia orgánica, distribución del perfil, la existencia de horizontes gley y Bt, la capacidad de cambio, etc.; el volumen sistema y ritmo de aplicación de los riegos, el cultivo, el tipo, cantidad, ritmo y sistema de aplicación del abonado y ciertos parámetros del acuífero como profundidad, transmisibilidad, permeabilidad, balance hídrico, etc.

Simplificando al máximo y en un intento de aproximación al problema, cálculos sencillos, muestran que en una zona, sin recirculación de agua, con pluviosidad de 600 mm. al año, regada con 6.000 m<sup>3</sup>/Ha y año, —valores normales de la España irrigada—, las aguas lixiviadas supuestas homogéneas serían impotables por contener más de 50 mg/l. de nitratos si el añadido de nitratos en Kg. de Nitrógeno por Hectárea supera los 135 Kg. por año. Valores muy inferiores a los 190 a 300 que se aportan a los cultivos de maíz, a las 250 o algo más que se aplican a los frutales, y a los en torno a los 200 de la remolacha. En un orden de magnitud comparable están el tomate, pimientos y otros cultivos hortícolas así como el tabaco, a los que se suministran entre 120 y 180 Kg. de nitrógeno/Ha y el arroz con 150. Por debajo se sitúan el girasol con 50 a 100 y por supuesto los cultivos forrajeros que no necesitan abonados nitrogenados.

Dosis más elevadas se emplean en ciertos cultivos hortícolas del Levante y S.E. peninsular donde las características climáticas y en especial los regímenes de temperatura y pluviosidad obligan a mayores aportaciones de riego, y a aumentar las dosis y desplazar las fechas del abonado. Así, en los cultivos hortícolas, se llegan a aplicar hasta 360 Kg/Ha. de N., de ellos el 90 por ciento en los meses de diciembre-enero; el resto se reparte a lo largo del año. En cítricos el abonado total de 250 Kg. de N/Ha. se suministra a las variedades tempranas en febrero y julio en forma de  $N_3Na$  si bien parte del suministro de febrero puede realizarse con  $S_4(NH_4)_2$ . Las variedades tardías se abonan en julio con  $(N_3)_2Ca$ .

Además y más puntualmente contribuyen a la contaminación química por compuestos de nitrógeno y a veces microbiológica la actividad ganadera y los aportes procedentes de vertidos de residuos líquidos urbanos e industriales.

Otras causas de impotabilidad de estas aguas son:

- El aumento de hierro, manganeso y metales pesados debido a la incompleta oxidación de la materia orgánica procedente de la ganadería intensiva muy localizada con producción de vertidos incontrolados.
- La presencia de pesticidas procedentes del empleo de organoclorados, algunos como el endrín, lindano y DDT muy tóxicos y acumulativos en los tejidos de los animales. Aunque poco solubles pueden pasar al acuífero y en muy bajas proporciones hacerlo impotable. Afortunadamente la materia orgánica los retiene y facilita su volatilidad. También ciertas arcillas montmorilloníticas los atrapan y evitan así su paso al acuífero. Menos contaminantes son los pesticidas organofosfatados y los carbamatos de destrucción más fácil y menor toxicidad al no acumularse en los tejidos animales.
- Los herbicidas según su tipología presentan comportamientos muy diferenciales: los formados por nitrofenol y piridilo son acumulativos y de elevada toxicidad, aunque éste último es bien retenido por las arcillas. Los que derivan del ácido ferroxialquílico no son tóxicos pero comunican al agua sabores y olores desagradables. En España el contenido de estos compuestos en el agua es poco conocido debido a la dificultad de su caracterización y análisis que exige el empleo de la cromatografía de gases. Además, sus bajas concentraciones obligan a procesos previos de extracción, con concentración y purificación. La legislación española exige que las aguas potables contengan menos de 0'5 microgramos/l. tota-

les y además que de cada tipo los valores sean inferiores a 0'1 microgramos/l.

Al comparar estas cifras, con las admitidas en otros países, destaca la severidad de nuestra normativa en este aspecto. Así, en los Estados Unidos el valor más bajo permitido corresponde al herbicida 2,4,5-T del que se toleran hasta 2 microgramos por litro. Es, sin embargo, una severidad sobre el papel porque es uno de los parámetros que no se controlan. Las aguas embotelladas en nuestro país, según la ley, no pueden contener estas sustancias.

En las páginas que siguen nos centramos exclusivamente en los nitratos, que es la contaminación más conocida en las áreas regables, dejando el problema de la contaminación de plaguicidas que, por la causa citada, está muy poco estudiado en la península.

## 2. LOS EFECTOS NOCIVOS DEL NITRATO EN LAS AGUAS.

El nitrato ingerido con cierta continuidad en dosis altas puede causar problemas de salud: cianosis infantil, perturbaciones en el crecimiento; además de resultar cancerígeno si al reducirse a nitrito en su recorrido gastrointestinal reacciona con ciertos elementos y forma nitrosaminas.

La cianosis infantil o metahemoglobinemia afecta sobre todo a los niños de menos de tres años en los que el líquido gástrico, tan sólo ligeramente ácido, permite el desarrollo de gérmenes reductores que convierten a los nitratos en nitritos. Estos, ya en la sangre, dan lugar a la formación de metahemoglobina responsable de la falta de oxigenación de las células. El fenómeno queda abortado en el adulto, en el que la mayor acidez del jugo gástrico dificulta la formación de nitritos y la existencia de la encima diaspoxasa, de la que carecen los niños, impide la formación de metahemoglobina.

Hay quien defiende que algunos cánceres de estómago e hígado están relacionados con las nitrosaminas, sustancias procedentes de la reacción entre las aminas secundarias de ciertos alimentos y los nitritos originados por reducción estomacal de los nitratos.

Las dosis a partir de las que pueden desarrollarse estos efectos están sometidas a debate. La Organización Mundial de la Salud, la C.E.E., etc.,

han constituido grupos de expertos sobre el problema de nitratos en las aguas para coordinar los estudios y legislación sobre el tema. Casi todos los países limitan su contenido en las aguas de consumo público. La Organización Mundial de la Salud lo fija en 45 mg/l., valor asumido por muchos países como Dinamarca, Irlanda, Finlandia, Austria, Nigeria, Sudáfrica, etc.

Las directrices de la C.E.E. recomiendan la cifra de 50 mg/l.; Alemania e Israel toman como tope los 90 mg/l.; Bélgica, 76; U.S.A., 45; Francia, 44; Suiza, 20 e Italia, 10.

La tendencia actual es considerar que los niños con menos de seis años no deben ingerir agua con más de 50 mg/l. de NO<sub>3</sub>, entre 50 y 100 mg/l., sería aceptable para el resto de la población y por encima de los 100 mg/l. totalmente desechable.

En España el límite para las aguas potables se establece en 50 mg/l., si bien, como veremos, muchos abastecimientos urbanos se suministran de aguas denominadas legalmente *sanitariamente permisibles* que se caracterizan porque algunos de sus parámetros físico-químicos sobrepasan los límites tolerados; su consumo se considera como excepcional y debe ser aprobado por la Comisión Permanente de Control y sustituido por otras de naturaleza potable a la mayor urgencia posible. No obstante, son muy numerosos los abastecimientos españoles que utilizan permanentemente aguas sanitariamente permisibles.

### 3. LOS NITRATOS EN LOS REGADÍOS ESPAÑOLES.

Un porcentaje en torno al 60 por ciento de las 2.800.000 Ha. que ocupan los regadíos hispanos se desarrollan sobre terrenos cuaternarios de las características descritas y son muchos los núcleos de población y habitantes que se abastecen a partir de aguas subterráneas procedentes de los acuíferos relacionados con las zonas regadas.

Apraiz (2), con motivo de los trabajos realizados por la Comisión 2.<sup>a</sup> de la A.E.A.S. para conocer el grado de cumplimiento de las Directivas de la CEE acerca de la calidad de las aguas potables de consumo público, realiza una encuesta sobre 33 grandes poblaciones con 15.964.920 habitantes abastecidos en un 10,1 por ciento de aguas subterráneas. 8 pobla-

ciones en áreas regables, el 24,2 por ciento, con 225.000 habitantes, el 1,4 por ciento del total de la población investigada, está afectada por la contaminación de nitratos. Por término medio a lo largo de 264 días al año estas 8 poblaciones sobrepasan los 50 mg/l. alcanzando un valor medio de 93 mg/l. El máximo controlado asciende a 200 mg/l.

Bastante conocido es el caso de la Plana de Castellón estudiada por Sánchez González y Varela (3), donde en únicamente tres años entre Nules y Villareal, zona de máximo contenido en nitratos, se ha pasado de 120-140 mg/l. a 160. De las 45.000 Ha. de la Plana y su acuífero, más de 35.000 presentan contenidos en nitratos superiores a los 50 mg/l. Las poblaciones, excepción hecha de Castellón, Almazora y Villareal, se abastecen del acuífero. En el acuífero de la Plana, de Sagunto, Sánchez González (4) encuentra contenidos en nitratos entre 30 y más de 150 mg/l. De las 10.000 Ha. que ocupa, únicamente 500, a lo largo de 3 Kms. de longitud, en su borde interno, no alcanzan los 50 mg/l. Las 9.500 Ha. restantes superan los valores tolerables.

En el Norte de la provincia de Valencia, entre Puzol y Tabernes Blanques, en un área de 6.500 Ha. Ramos Ramis y Ferrer Polo (5) encuentran contenidos en nitratos que varían entre 60 y 110 mg. en una zona densamente poblada y abastecida del acuífero. El riego se realiza a partir de aguas subterráneas y de la acequia de Moncada a la que se incorporan las aguas residuales no tratadas de los núcleos urbanos. En base a un modelo numérico determinista de transporte de masa del tipo mezcla instantánea discretizando espacio y tiempo y calibrado a partir de datos de seis años, se ha simulado el estado del acuífero en el año 2.000. En esas fechas, si no se toman medidas en la gestión del agua, los valores de nitratos ascenderán a cifras comprendidas entre 70 y 150 mg/l. La depuración de las aguas residuales o su eliminación al mar, sin ser utilizadas en el riego, bastaría para retener el progresivo deterioro; si además se eliminarán el 50 por ciento de los excedentes de abono nitrogenado se produciría una importante mejora del acuífero de forma que, más del 60 por ciento de su superficie, la más poblada, bajaría a contenidos entre 20 y 50 mg/l. sin sobrepasar los 100 mg/l. en el resto.

En el acuífero Gandía-Denia con una superficie de 5.000 Ha. Rodríguez Hernández y colaboradores (6) encuentran en su límite con la zona montañosa valores inferiores a los 40 mg/l. que crecen progresivamente en el sentido de la escorrentía subterránea hasta alcanzar, ya en el

centro de la cuenca, los 250 mg/l. de nitratos. Anualmente del acuífero se extraen 4'5 Hm<sup>3</sup> para abastecimiento urbano.

El acuífero costero de Masnou Premia, estudiado por Alonso y Mediavilla (7), es interesante porque el agua de regadío se toma del propio acuífero y por sus características puede considerarse como modelo cerrado real con recirculación de las aguas. A lo largo de once años el contenido de nitratos ha aumentado por término medio en 100 mg/l. lo que conduce a un exceso de abonado para una pluviosidad de 587 mm. y para una dotación anual de 7.000 m<sup>3</sup>/Ha. de 55 kg. de N por Ha. y año.

En la Vega de Granada, Antonio Castillo (8) en 2.700 de las 20.000 Ha. estudiadas encuentra valores de nitratos superiores a los 50 mg/l. con un máximo de 184 mg/l. En cuatro años los valores del contenido en nitratos han aumentado en un 70 por ciento. Es uno de los pocos acuíferos españoles del que con motivo de la tesis doctoral de Acuña (9) se tienen datos sobre su contenido en pesticidas organoclorados: un 77 por ciento de las muestras analizadas contienen menos de 0,2 mg/l., el 18 por ciento entre 0,2 y 0,4 mg/l. y un 5 por ciento más de 0,4 mg/l. De ellos el aldrin prohibido en algunas naciones como Francia y el EDDT (DDE + TDE + DDT) —éste último prohibido en muchos países del mundo— son los compuestos que se presentan en concentraciones más altas.

Entre Logroño y Cortes el acuífero aluvial y las terrazas del Ebro y de sus afluentes, presentan según Castiella y col. (10) contenidos en nitratos superiores a los 100 mg/l. en el entorno de Logroño, Mendavia, Tudela, Cortes y en la desembocadura y curso inferior de los ríos Arga, Ega y Queiles. Los mayores valores controlados se sitúan próximos a los 300 mg/l. Resulta paradójico y de difícil explicación que en los últimos años, y a pesar del aumento de fertilizantes nitrogenados, haya disminuido el contenido de nitratos de estas aguas.

#### 4. LA PROBLEMÁTICA EN LAS VEGAS DEL GUADIANA.

De los 88 sistemas acuíferos diferenciados en España se desconoce la evolución de su contenido en nitratos de 30 (11). Entre los desconocidos el de mayor extensión que, además soporta un más intenso aprovechamiento agrícola, es el sistema acuífero 21 situado en las Vegas del Guadiana en Badajoz.

Los regadíos de las Vegas del Guadiana en Badajoz se desarrollan en ambos márgenes del río a lo largo de poco más de 100 Kms. entre Orellana y Badajoz con una anchura media de 10 Kms. Ocupan una superficie de 106.000 Has. sobre las que se asientan unos 300.000 habitantes.

Sus aguas subterráneas son todavía mal conocidas. El inventario de sus puntos de agua se ha realizado en 1990. Proceden de dos acuíferos: El más superficial se desarrolla en las gravas, arenas y arcillas de las terrazas y planas cuaternarias de hasta 15 m. de espesor. Su nivel freático se sitúa a poca profundidad, en general a menos de 10 m. Funciona como acuífero libre con permeabilidad de 150 a 400 m./día y con porosidad eficaz del orden del 10 por ciento. El más profundo, en relación con areniscas arcólicas y arcillas miocenas, se alimenta, en parte, de zonas próximas, fuera del área regable y funciona en amplias superficies como acuífero confinado desconectado del acuífero superficial.

#### 4.1. *El abastecimiento de la población diseminada.*

Con motivo de distintos estudios (12) a (20), necesitamos en 1986 conocer la composición de 276 muestras de agua procedentes de pozos y sondeos abiertos en los acuíferos de estos regadíos. La muestra estadística supone alrededor del 7 por ciento de las captaciones existentes.

Los análisis químicos fueron realizados in situ, en el Laboratorio del Área de Cristalografía y Mineralogía de la Facultad de Ciencias de la UNEX y en el Laboratorio Regional Agrario de Cáceres.

El porcentaje mayoritario, Tabla y Figura 1, de los pozos y sondeos analizados no sobrepasa los 10 mts. de profundidad de forma que cada 100 perforaciones 82 tienen menos de 10 mts. y 15 entre 10 y 20. La mayor profundidad controlada alcanza los 75 mts. de profundidad.

Únicamente el 42 por ciento de las muestras, Tabla y Figura 2, con contenido inferior a 50 mg/l. son potables. Del resto, el 25,8 por ciento contiene entre 50 y 100 mg/l. y el 32,2 por ciento sobrepasa los 100 mg/l. El máximo controlado alcanza los 351 mg/l. de nitrato. Estos valores pueden considerarse como representativos del estado de los abastecimientos de agua potable de los diseminados del área regable.

La variación del contenido en nitratos según las profundidades de las captaciones aparece en las Tablas y Figuras 3 a 5. Para profundidades

entre 0 y 20 mts. la calidad de las aguas varía poco. Un 43 por ciento de las aguas de menos de 10 mts. de profundidad son potables. El porcentaje descende al 36,6 por ciento para captaciones entre 10 y 20 mts. de profundidad; sin embargo, las poluciones más elevadas con valores de nitratos, por encima de los 200 mg/l. son más frecuentes, el 10,6 por ciento, en los pozos más someros, frente al 7,3 por ciento en los de 10 a 20 mts.

El inventario y análisis químico de todos los pozos de menos de 20 mts. de distintas áreas pone de manifiesto una elevada variación del contenido en nitratos entre pozos muy próximos y denota el efecto de los aportes puntuales de carácter ganadero, industrial y humano sobre los valores de fondo de origen agrícola. Por ello los niveles más altos de nitratos en los pozos se dan en relación con vertidos incontrolados de aguas residuales procedentes de explotaciones ganaderas, industriales, agrícolas y núcleos de población. También dan valores elevados los pozos de captación excavados junto a pozos sépticos, en el sentido de circulación del flujo subterráneo. En algún caso los valores son excepcionales al cometerse el disparate de utilizar como pozo de vertido un antiguo pozo de captación. En todos los casos el agua muestra contenidos anormales de amonio, nitritos, coliformes, etc.

A partir de los 20 metros de profundidad la mejora es manifiesta, Tabla y Figura 6. Ningún agua de las controladas en captaciones entre 20 y 30 mts. de profundidad sobrepasa los 100 mg/l. de nitratos.

La causa de esta mejora hay que buscarla en la mezcla de aguas entre un acuífero superficial, alimentado por el regadío, ligado a los materiales cuaternarios y muy cargado en nitratos, con un acuífero más profundo, menos cargado, en relación con arenas, arcosas y conglomerados terciarios que se alimentan de zonas externas a las áreas regables. El sellado en estos casos de los 15-20 primeros mts. de las captaciones conllevará una mejora de las aguas al tomar únicamente las procedentes del acuífero profundo de mayor calidad y con frecuencia desconectado del acuífero superficial.

#### 4.2. *El abastecimiento de los núcleos urbanos.*

Juan José Gómez (21) (22) en dos interesantes trabajos estudia el contenido en nitratos de las aguas de 102 núcleos urbanos de los 117 que consumen aguas subterráneas en la provincia de Badajoz. Tabla y Figura 7. La población investigada, el 47 por ciento de la provincia, asciende a

315.750 personas. El total de muestras recogidas y analizadas entre enero y marzo de 1989 ha sido de 167.

Únicamente 57 pueblos con 194.015 habitantes, el 61 por ciento de las personas estudiadas, consumen aguas con menos de 50 mg/l. de nitratos, el 39 por ciento restante, 121.753 personas de 45 pueblos se abastecen de aguas con más de 50 mg/l.

De las 167 muestras, 100 corresponden a pozos excavados, 47 a sondeos perforados y las otras 20 proceden de tomas, azudes y presas que aprovechan aguas superficiales o corresponden a aguas sometidas a un proceso de depuración convencional cuando la población dispone de planta de tratamiento.

De los 147 pozos y sondeos, 47 tienen una utilización alternativa. 81 pozos y 12 sondeos toman agua del acuífero situado bajo el área regable mientras 19 y 35 respectivamente están en áreas de secano.

36 poblaciones, Tabla y Figura 8, se suministran de 81 pozos de menos de 20 mts. de profundidad abiertos en el acuífero superficial desarrollado bajo la zona regable. Únicamente 6 núcleos urbanos, el 16,6 por ciento de los así abastecidos consumen aguas con menos de 50 mg/l. los otros 30, el 83,4 por ciento superan tal valor con máxima en torno a los 140 mg/l. Tres poblaciones con este tipo de suministro, Guareña, Medellín y La Garrovilla están en esta fecha —enero de 1990— en alerta roja, por la alta contaminación de nitratos de sus aguas.

Los valores son bastantes peores que los obtenidos en 1986 para la población diseminada, ya comentada, que obtiene aguas de la misma procedencia y profundidad con el 42,3 por ciento de los puntos de agua con menos de 50 mg/l. de nitratos.

En el área regable 12 sondeos profundos abastecen 5 pueblos, Tabla y Figura 9, sólo un núcleo urbano alcanza valores entre 50 y 80 mg/l. los otros 4 presentan contenidos inferiores a 50 mg/l. sin alcanzar en 3 de ellos los 20 mg/l. Contrastan por su enorme diferencia de contenido en nitratos las captaciones superficiales respecto a las profundas.

La excelente calidad de estas aguas hay que relacionarla, como ya se ha comentado, con acuíferos profundos desarrollados en las arcosas, arenas y conglomerados terciarios que se alimentan de áreas próximas fuera ya de la zona regable. La mayor o menor interconexión entre ambos acuíferos controla el contenido en nitratos, en general bajo.

#### 4.3. Evolución del acuífero superficial.

La evolución del acuífero superficial en la zona regable a lo largo de veintidos años puede conocerse por comparación de los datos aportador por José Ramón Peláez (23), Tabla y Figura 10, con los de Víctor Higes y Carmen Aguilera (12) a (20), Tabla y Figura 5, y con los de Juan José Gómez (21), Tabla y Figura 8.

En el año 1967, Peláez, Tabla y Figura 10, sobre 82 muestras encuentran un 73,2 por ciento de puntos de agua con contenido en nitratos inferior a 50 mg/l. Únicamente el 2,4 por ciento de los pozos superan los 100 mg/l. con valor máximo de 130 mg/l.

En 19 años, Tabla y Figura 11, un 31,2 por ciento del total de puntos de agua han perdido su potabilidad al superar los 50 mg/l. de nitratos. De un 2,4 por ciento de los puntos controlados en 1967 con más de 100 mg/l. se ha pasado a un 33 por ciento en 1986 con aumento del 29,8 por ciento. Tres años más tarde, otro 26,7 por ciento de los pozos pierden la potabilidad y un 11,7 por ciento más, sobrepasan los 100 mg/l. El máximo contenido en NO<sub>3</sub> controlado pasa de 130 mg/l. en 1976 a 351 mg/l. en 1986.

Las cifras son suficientemente elocuentes, pero además este ritmo de empeoramiento, salvo que se tomen medidas correctoras, se acelerará con la ampliación en marcha del área regable en 50.000 Ha.

#### 4.4. Diferencias con las aguas captadas en las áreas de secano de las proximidades.

En terrenos de secano junto a la zona regable, en pozos de menos de 20 mts. de profundidad, M.<sup>a</sup> Jesús Liso y col. (24) encuentran sobre muestras recogidas en septiembre-diciembre de 1981, en una etapa de fuerte sequía, los valores de nitratos que figuran en la Tabla y Figura 12. El 35,7 por ciento de los pozos sobrepasa los 50 mg/l. de nitratos. La única muestra que supera los 100 mg. alcanza los 130 mg/l.

Juan José Gómez (21) para 19 poblaciones abastecidas de otros tantos pozos con menos de 20 mts. de profundidad obtiene los siguientes contenidos en 1989, expresados en la Tabla y Figura 13.

El 52,6 por ciento de las muestras sobrepasan los 50 mg/l. y el 10,5 por ciento los 100 mg/l.

Las cifras de 1981, Tabla y Figura 14, son comparables, aunque lige-

ramente peores que las obtenidas para las zonas regables en 1967, poco después de su reconversión y son a su vez mejores que las dadas en 1989 por Juan José Gómez para las aguas de abastecimiento público en áreas de secano. Se deduce que en la zona también las aguas subterráneas de los acuíferos superficiales situados bajo los cultivos de secano van cargándose progresivamente de nitratos, a velocidad creciente.

El número de puntos que han perdido su potabilidad a lo largo de los últimos ocho años duplica las pérdidas de los catorce años anteriores aunque el ritmo del deterioro es inferior al de las zonas de regadío.

#### 4.5. Posibles soluciones.

A los ritmos de crecimiento detectados en un plazo de tiempo no muy lejano los acuíferos superficiales, primero en las zonas regables y más tarde en las de secano, serán incapaces de suministrar agua potable y contribuirán a un lento pero continuado aumento del contenido en nitratos de las aguas superficiales que en ciertas zonas de la provincia pasarán al nivel A3, no válido según la reglamentación de la C.E.E. para suministro de aguas potables.

La recuperación, a medio y largo plazo de estos acuíferos, es necesaria y pasa por el conocimiento, análisis y estudio detallado de las causas y distribución de su contaminación valorando el grado de influencia que ejercen el abuso y forma de aplicación del abonado, el exceso y ritmo de aporte de los volúmenes de riego consumidos, los vertidos de aguas residuales urbanas, ganaderas, de industrias agrícolas, etc. en relación con los tipos de cultivo, y con las características edafológicas e hidrogeológicas de la zona no saturada por encima del acuífero.

Esta fase de toma de información y análisis debe conducir a la realización de modelos de simulación que una vez ajustados permitan predecir para distintas fechas las mejoras conseguidas al aplicar diferentes acciones en la gestión del acuífero como depuración de las aguas residuales procedentes de los núcleos urbanos, eliminación de diferentes porcentajes de los excesos de nitratos, etc. Servirán de base a la administración para la aplicación de las necesarias acciones correctoras.

A corto y medio plazo las posibles medidas para mejorar el abastecimiento de los núcleos urbanos de las Vegas regables del Guadiana, las más afectadas de toda la provincia, son:

- Mantener los actuales abastecimientos dotándolos de plantas de desnitrificación por intercambio iónico, desnitrificación biológica, ósmosis inversa o reducción química.
- Sustitución de los abastecimientos por otros a partir de aguas superficiales procedentes de zonas próximas fuera del área regable.

Estas soluciones son técnicamente posibles, pero sus costes de inversión y mantenimiento se disparan para núcleos urbanos de menos de 10.000 habitantes. Son por tanto válidas únicamente si los municipios afectados se agrupan en mancomunidades como ya han hecho algunas poblaciones de la provincia. Así y todo la diversificación de tomas puede hacer inviable la primera solución.

Una tercera solución a muy corto plazo sobre todo para poblaciones de muy pequeño tamaño, del orden de los 1.000 a 2.000 habitantes es la sustitución de los actuales abastecimientos por aguas subterráneas procedentes del acuífero profundo. Requerirá la realización de estudios de detalle para delimitar su extensión y características. A largo plazo obligará al control de su área de recarga y de sus posibles interconexiones con el acuífero superficial.

En los diseminados, ciertas medidas a pequeña escala pueden retrasar la invasión por aguas contaminadas del bajo porcentaje de pozos que todavía son potables: delimitación de áreas de protección, control en el entorno de la dosificación de abonados, de los aportes de agua de riego, de los vertidos polucionantes puntuales, etc.; aún así la toma de aguas por sondeo del acuífero profundo es, por ahora, la única solución para conseguir abastecer de agua potable a la gran mayoría de las diseminadas, de las áreas de regadío.

## 5. RESUMEN Y CONCLUSIONES.

La puesta en riego de amplias superficies de la nación ha traído consigo un importante desarrollo económico y social, sin embargo, el suministro de agua potable a partir de aguas subterráneas de la población asentada sobre estas áreas se ha visto gravemente perturbado sobre todo por la contaminación de nitratos.

La ingestión continuada de aguas con más de 50 mg/l. por niños menores de seis años puede provocarles enfermedades del aparato circulatorio. En la población adulta, elevados contenidos en nitratos al reaccionar con ciertos compuestos de la dieta alimenticia pueden formar nitrosaminas, posible cancerígeno en relación con ciertos tumores estomacales y hepáticos. La toma prolongada de aguas con más de 100 mg/l. de nitratos se considera peligrosa.

La dosis de nitratos de los acuíferos en grandes superficies de las 2.800.000 Has. puestas en riego en España supera con frecuencia los 50 mg/l. alcanzando valores de hasta 250 mg/l.

Contenidos por encima de los 50 mg/l. presentan entre otros los acuíferos de la desembocadura del Llobregat, planas de Masnou-Prenia, Castellón, Sagunto, Tabernes-Blanques, Gandía-Denia, Lepe, Vegas y terrazas del Ebro entre Logroño y Cortes, y Vega del Guadiana en la provincia de Badajoz.

Muchas poblaciones asentadas en los regadíos consumen aguas subterráneas no potables por su elevada dosis de nitratos.

En 1985 el control de 33 abastecimientos españoles con 15.964.920 habitantes muestra que 223.508, el 1,4 por ciento de la población investigada, toma aguas con más de 50 mg/l. con máximo de 200 mg/l.

Badajoz es la provincia donde el problema afecta a un mayor porcentaje de población.

De los 117 núcleos urbanos que se abastecen de aguas subterráneas, 102 con 315.750 habitantes han sido controlados en 1989, Figura 15. De ellos 121.735 en 45 poblaciones consumen agua con más de 50 mg/l. En la zona regable de 41 poblaciones, 31 sobrepasan los 50 mg/l., el porcentaje baja en el secano donde de 61 poblaciones 14 no son potables.

El acuífero superficial en la zona regable es el más polucionado. Está en relación con las gravas, arenas, limos, etc. del aluvial y terrazas cuaternarias del Guadiana de un espesor en torno a los 10-15 mts. 30 de las 36 poblaciones que se abastecen de él por medio de pozos de menos de 20 mts. de profundidad consumen aguas con más de 50 mg/l., de las que 15 superan los 100 mg/l. En 1986, el 57,7 por ciento de los pozos de menos de 20 mts. de profundidad abiertos en los diseminados no eran potables y el 33 por ciento superaba los 100 mg/l. con máximo de 351 mg/l. El proceso de degradación del acuífero se acelera a lo largo del tiempo, Figura 16. Entre 1967 y 1986, en diecinueve años el número de pozos no pota-

bles ha aumentado en un 31,2 por ciento para, sólo tres años después, entre 1986 y 1989 hacerlo en un 25,7 por ciento más. El proceso todavía se acelerará con la prevista puesta en riego de 50.000 nuevas Hectáreas.

La fuerte variación en pequeñas superficies del contenido en nitratos de unos pozos a otros denota que además de la dosis de fondo, atribuible al abonado agrícola, existen valores punta provocados por la infiltración de aguas residuales en relación con la actividad ganadera, avícola, industrial, agraria, vertidos urbanos no depurados, etc. En algún caso, ¡ahí es nada el disparate! se introducen directamente en el acuífero a través de antiguos pozos de extracción convertidos en sumideros. En los análisis el alto contenido en nitratos suele acompañarse de valores elevados de amonio, nitritos (por reducción de nitratos), coliformes y a veces cloruros (aguas no potables para consumo humano).

En parte de las zonas regables de las Vegas del Guadiana, bajo el acuífero superficial, aparece otro más profundo en relación con arcosas, arenas y conglomerados terciarios. Se alimenta mayoritariamente de áreas ya fuera de la superficie regable y parece estar bastante desconectado del acuífero superior. De cinco poblaciones que de él se abastecen por medio de sondeos de más de 20 mts. de profundidad, sólo uno sobrepasa los 50 mg/l. sin rebasar los 80. De los diseminados, el 42,9 por ciento de los sondeos dan agua con menos de 50 mg/l., el 57,1 por ciento restante no sobrepasa los 100 mg/l. La diferencia de calidad hay que achacarla a la falta de sellado de los 15-20 primeros metros en la gran mayoría de estos últimos sondeos que mezclan agua de los dos acuíferos.

La contaminación, Tabla 15, también ha llegado a las zonas de agricultura de secano aunque más amortiguada. En 1989 de 19 poblaciones abastecidas por pozos de menos de 20 mts., 10 exceden los límites de 50 mg/l. y 2 se sitúan por encima de los 100 mg/l. En los diseminados, en 1981 un 64,3 por ciento de los pozos de menos de 20 metros no eran potables. Entre 1967 y 1989, Figura 17, un 25,8 por ciento de los pozos han perdido su potabilidad. En los últimos ocho años las pérdidas se duplican respecto a los catorce años anteriores aunque el ritmo del deterioro es inferior al de las zonas de regadío.

Las aguas de mejor calidad se obtienen en las zonas forestales y en el secano, en profundidad. En este de 42 poblaciones sólo 4 superan los 50 mg/l., sin alcanzar los 80 en ningún caso.

En un plazo no muy lejano los acuíferos superficiales, primero en las

zonas de regadío y más tarde en la agricultura de secano, serán incapaces de suministrar agua potable y contribuirán a un lento pero continuado aumento del contenido en nitratos de las aguas superficiales.

La recuperación de estos acuíferos a medio y largo plazo es necesaria y pasa por mejorar su conocimiento con el estudio y análisis de los factores y causas contaminantes, características hidrogeológicas y edáficas de la zona no saturada, etc., para que la administración pueda tomar las medidas necesarias de gestión.

En los abastecimientos urbanos de las zonas regables la confederación de municipios es obligada para emprender soluciones a corto y medio plazo en términos económicos razonables. Consistirán estas en la construcción de nuevos abastecimientos a partir de aguas superficiales procedentes de zonas externas próximas a las áreas regables o en la realización de plantas de desnitrificación de uso común, conservando los actuales puntos de suministro. Su diversificación y dispersión puede hacer inviable en algunos casos esta última posibilidad. La toma de agua del acuífero profundo, por medio de sondeos es solución puente a muy corto plazo para las áreas urbanas y la única por ahora para conseguir el abastecimiento de agua potable de la gran mayoría de los diseminados.

VÍCTOR HIGES ROLANDO

*Departamento de Ingeniería y Morfología del Terreno. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid.*

CARMEN AGUILERA COLLADO

*Instituto de Formación Profesional "Juan de Herrera". Valladolid.*

MARÍA JESÚS LISO RUBIO

*Departamento de Biología y Producción de los Vegetales. Facultad de Ciencias. Universidad de Extremadura. Badajoz.*

MARIANO PÉREZ GALIANA

*Laboratorio Agrario Regional de Extremadura. Consejería de Agricultura y Comercio. Cáceres.*

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) Sáenz Ridruejo, C. e Higes Rolando, V. (1970). Avance para un mapa de espesores de acarreo en los cauces fluviales españoles. Assoc. Portuguesa Prog. Ciencias. XXIX Cong. Luso-Español, tomo II, p. 41-58 Lisboa.
- (2) Apraiz Goyenaga, D. (1989). Calidad del agua de consumo humano antes y después del tratamiento en España. Implicaciones ante la Directiva del Consejo de las Comunidades Europeas, X Jornadas Técnicas de la Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento, pp. 13-33. Sevilla.
- (3) Sánchez González, A. y Varela M. (1982). Contaminación producida por los riegos en las aguas subterráneas de la Plana de Castellón. Jornadas sobre Análisis y Evolución de la Contaminación de Aguas Subterráneas en España. Tomo I, pp. 53-66. Barcelona.
- (4) Sánchez González, A. (1982). Contaminación de aguas subterráneas en la Plana de Sagunto. Jornadas sobre Análisis y Evolución de la Contaminación de Aguas Subterráneas en España. Tomo I, pp. 125-129. Barcelona.
- (5) Ramos Ramis, F.J. y Ferrer Polo, J. (1983). Simulación de medidas de gestión para la previsión de contaminación por nitratos de las aguas subterráneas del N. de la provincia de Valencia. IV Asamblea Nacional de Geodesia y de Geofísica. Vol. III, pp. 1.467-1.488. Madrid.
- (6) Rodríguez Hernández, L.; Álvarez Fernández, C. y López Gata, J.A. (1982). Contaminación por nitratos en el acuífero detrítico de Gandía-Denia. Jornadas sobre Análisis y Evolución de la Contaminación de Aguas Subterráneas en España. Tomo I, pp. 83 a 95. Barcelona.
- (7) Alonso Chicote, Mediavilla, C. (1982). Estado sobre la contaminación agrícola y marina del acuífero costero entre Masnou y Premiá. Jornadas sobre Análisis y Evolución de la Contaminación de Aguas Subterráneas en España. Tomo I, pp. 131 a 136. Barcelona.
- (8) Castillo Martín, A. (1986). Estudio Hidroquímico del Acuífero de la Vega de Granada. 658 páginas. Granada.
- (9) Acuña, M.J. (1981). Contaminación por plaguicidas organoclorados de la Vega de Granada. Tesis Doctoral de la Universidad de Granada. 380 páginas. Granada.
- (10) Castiella J. Solé J. Niñerola S. y Otamendi A. (1982). Las aguas subterráneas en Navarra. Proyecto Hidrogeológico. Diputación Foral de Navarra. 229 páginas. Burlada (Navarra).
- (11) Instituto Geográfico Nacional (1991) Atlas Nacional de España. Sección X. Grupo 39. Problemas Medioambientales. Mapa 39. 8-9. Madrid.
- (12) Higes Rolando, V. (1983). Estudio de caracteres litológicos, niveles freáticos y vulnerabilidad a la contaminación biológica. Nuevo Cementerio de Badajoz. 138 páginas. Badajoz. (Inédito.)
- (13) Higes, V. y Aguilera, C. (1986). Estudio de caracteres litológicos, niveles freáticos y vulnerabilidad a la contaminación biológica. Cementerio de Valdeboíta. 160 páginas. Badajoz. (Inédito.)
- (14) Higes, V. y Aguilera, C. (1986). Estudio de caracteres litológicos, niveles freáticos y vulnerabilidad a la contaminación biológica. Cementerio de Novelda. 167 páginas. Badajoz. (Inédito.)

- (15) Higes, V. y Aguilera, C. (1986). Estudio de caracteres litológicos, niveles freáticos y vulnerabilidad a la contaminación biológica. Cementerio de Sagrajas. 143 páginas. Badajoz. (Inédito.)
- (16) Higes, V. y Aguilera, C. (1986). Estudio de caracteres litológicos, niveles freáticos e impacto contaminante en el Nuevo Cementerio de Villafranco (Badajoz). 284 páginas. Badajoz. (Inédito.)
- (17) Higes, V. y Aguilera, C. (1986). Estudio de caracteres litológicos, niveles freáticos e impacto contaminante en el Nuevo Cementerio de Gévora (Badajoz). 203 páginas. Badajoz. (Inédito.)
- (18) Higes, V. y Aguilera, C. (1986). Estudio de caracteres litológicos, niveles freáticos impacto contaminante en el Nuevo Cementerio de Alvarado (Badajoz). 195 páginas. Badajoz. (Inédito.)
- (19) Higes, V. y Aguilera, C. (1986). Estudio de caracteres litológicos, niveles freáticos impacto contaminante en el Nuevo Cementerio de Alcazaba (Badajoz). 249 páginas. Badajoz. (Inédito.)
- (20) Higes, V. (1982-1989). Informes inéditos, sobre captaciones de agua en la provincia de Badajoz.
- (21) Gómez García, J. J. (1989). Contaminación por iones  $\text{NO}_3^-$  de las aguas subterráneas con destino al consumo humano en la provincia de Badajoz. X Jornadas Técnicas de la Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento, pp. 115-132. Sevilla.
- (22) Gómez García, J. J. (1990). Contaminación de las aguas subterráneas por iones  $\text{NO}_3^-$ . Resumen de la ponencia a presentar en el Congreso Internacional de Copenhague (en prensa).
- (23) Peláez Pruneda, J. R. (1973). Características hidrogeológicas e hidroquímicas de los alrededores de Villanueva de la Serena y Don Benito (Badajoz). Instituto de Estudios Extremeños y Departamento de Geología Económica C.S.I.C. 126 pp.. Madrid.
- (24) Liso Rubio, M. J.; Gaspar Blázquez, M. J., y Higes, V. (1981). Características hidrogeológicas del río Rivilla y sus aplicaciones. Anales de Bromatología XXIII - 2, pp. 243-268. Madrid.

TABLA I.

	0-10 m.	226	81,9	100
		NÚMERO DE MUESTRAS	% SOBRE EL TOTAL	CONCENTRACION DE NITRATO (EN mg/l) QUE SUPERA EL VALOR LIMITE

NOTA: Tabla elaborada a partir de datos de V. Higes Solano y J. J. Gómez García.

TABLA 1.  
 VEGAS DEL GUADIANA. PROFUNDIDAD DE LOS POZOS Y SONDEOS ANALIZADOS EL AÑO 1986

	PROFUNDIDADES				
	0-10 m.	10-20 m.	20-30 m.	30-40 m.	>40 m.
NÚMERO DE MUESTRAS	226	41	7	1	1
% SOBRE EL TOTAL	81,9	14,8	2,5	0,4	0,4
% ACUMULADO QUE SOBREPASA EL VALOR INFERIOR	100	18,1	3,3	0,8	0,4

NOTA: Tabla elaborada a partir de datos de V. Higes Rolando y C. Aguilera Collado (12) a (20)

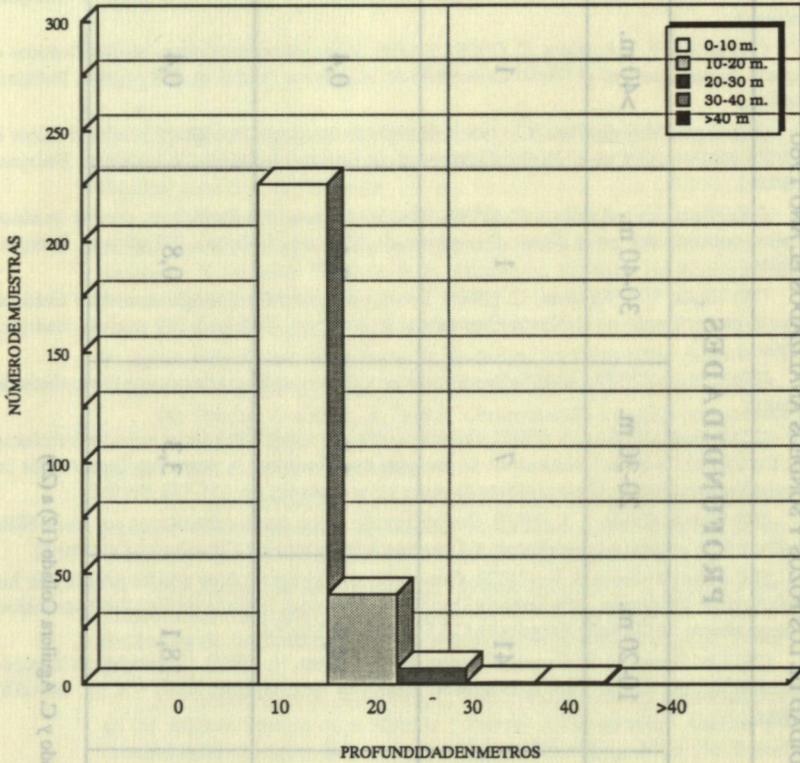


FIGURA 1.-Vegas del Guadiana. Zona de regadío. Abastecimiento a  
diseminados. Profundidad de los pozos y sondeos analizados  
el año 1986.

TABLA 2.  
 VEGAS DEL GUADIANA. CONTENIDO EN NITRATOS DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS EL AÑO 1986

	CONTENIDOS EN NITRATOS (mgs./litro)				
	0-50	50-100	100-200	200-300	>300
NÚMERO DE MUESTRAS	116	71	62	24	3
% SOBRE EL TOTAL	42,0	25,8	22,4	8,7	1,1
% ACUMULADO QUE SOBREPASA EL VALOR INFERIOR	100	58,0	32,2	9,8	1,1

NOTA: Tabla elaborada a partir de datos de V. Higes Rolando y C. Aguilera Collado (12) a (20)

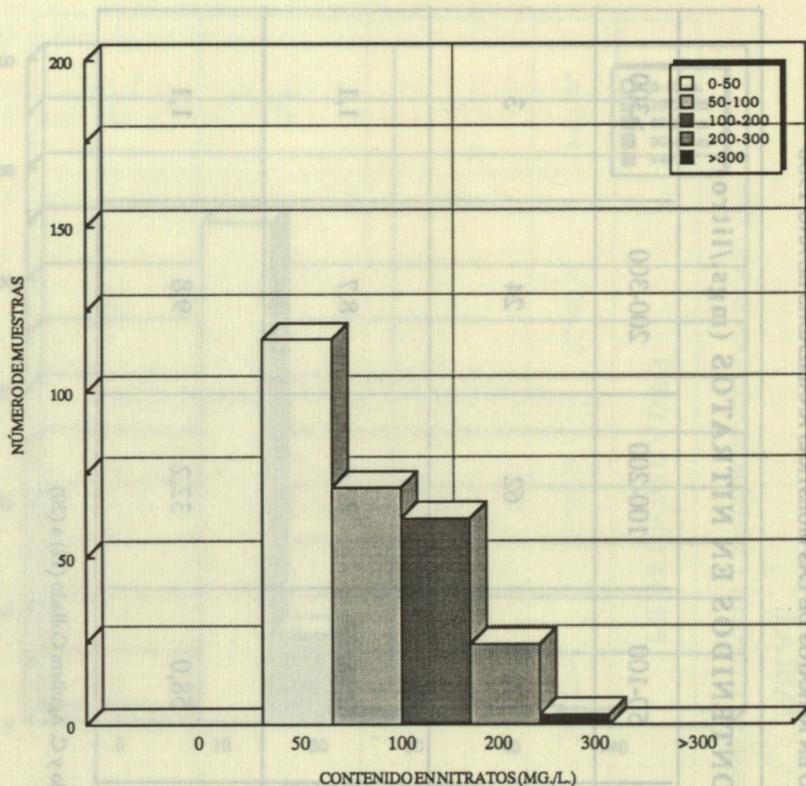


FIGURA 2.-Vegas del Guadiana. Zona de regadío. Abastecimiento a disseminados. Contenido en nitratos de los pozos y sondeos analizados en 1986.

VEGAS DEL GUADIANA. CONTENIDO EN NITRATOS ENTRE 0 Y 10 MTS. DE PROFUNDIDAD. AÑO 1986

	CONTENIDO EN NITRATOS mgs./litro				
	0-50	50-100	100-200	200-300	>300
NÚMERO DE MUESTRAS	98	55	49	22	2
% SOBRE EL TOTAL	43,4	24,3	21,7	9,7	0,9
% ACUMULADO QUE SOBREPASA EL VALOR INFERIOR	100	56,6	32,3	10,6	0,9

NOTA: Tabla elaborada a partir de datos de V. Higes Rolando y C. Aguilera Collado (12) a (20)

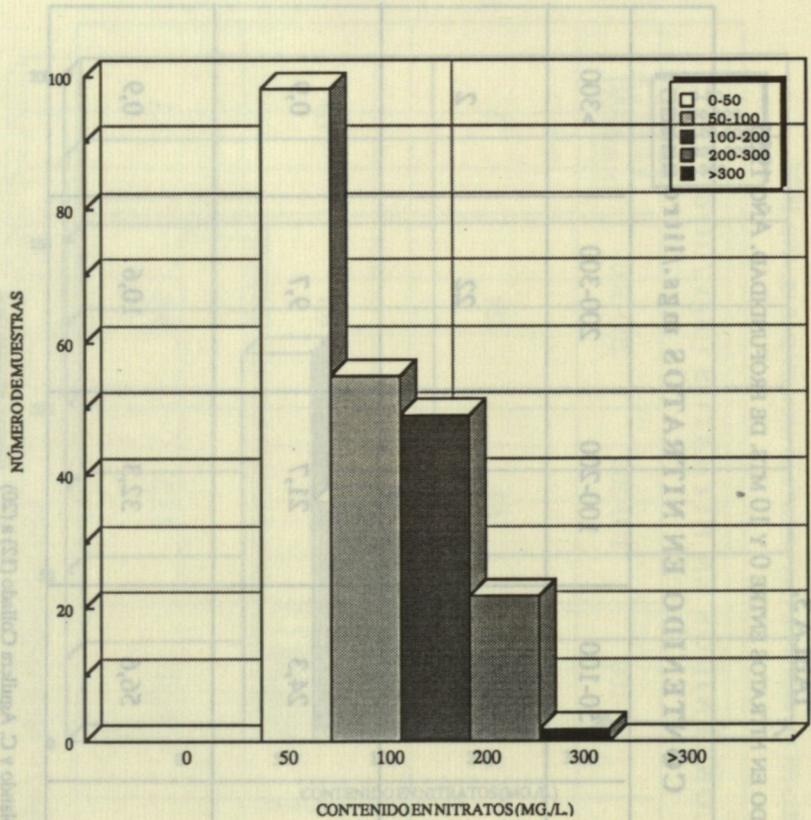


FIGURA 3.-Vegas del Guadiana. Zona de regadío. Abastecimiento a  
diseminados. Contenido en nitratos en pozos y sondeos de  
menos de 10 metros de profundidad. Año 1986.

TABLA 4.  
 VEGAS DEL GUADIANA. CONTENIDO EN NITRATOS ENTRE 10 Y 20 MTS. DE PROFUNDIDAD. AÑO 1986

		CONTENIDO EN NITRATOS mgs./litro				
		0-50	50-100	100-200	200-300	>300
NÚMERO DE MUESTRAS	15	11	12	2	1	
% SOBRE EL TOTAL	36,6	26,9	29,2	4,9	2,4	
% ACUMULADO QUE SOBREPASA EL VALOR INFERIOR	100	63,4	36,6	7,3	2,4	

NOTA: Tabla elaborada a partir de datos de V. Higes Rolando y C. Aguilera Collado (12) a (20)

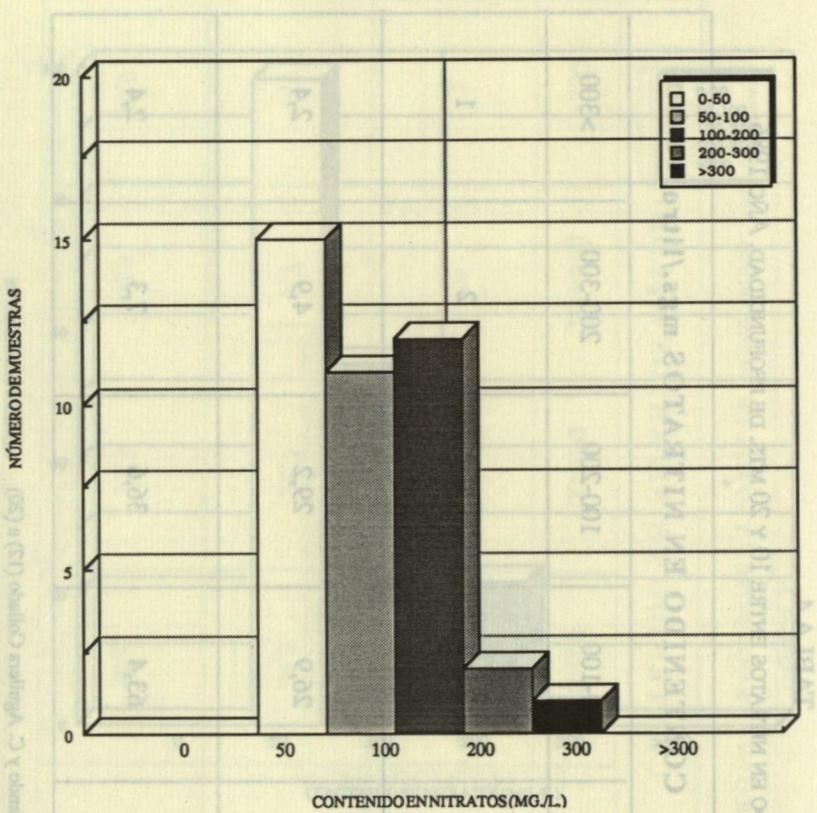


FIGURA 4.-Vegas del Guadiana. Zona de regadío. Abastecimiento a diseminados. Contenido en nitratos en pozos y sondeos de 10 a 20 metros de profundidad. Año 1986.

VEGAS DEL GUADIANA. CONTENIDO EN NITRATOS ENTRE 0 Y 20 METROS DE PROFUNDIDAD. AÑO 1986

	CONTENIDO EN NITRATOS mgs./litro				
	0-50	50-100	100-200	200-300	>300
NÚMERO DE MUESTRAS	113	66	61	24	3
% SOBRE EL TOTAL	42,3	24,7	22,9	9	1,1
% ACUMULADO QUE SOBREPASA EL VALOR INFERIOR	100	57,7	33	10,1	1,1

NOTA: Tabla elaborada a partir de datos de V. Higes Rolando y C. Aguilera Collado (12) a (20)

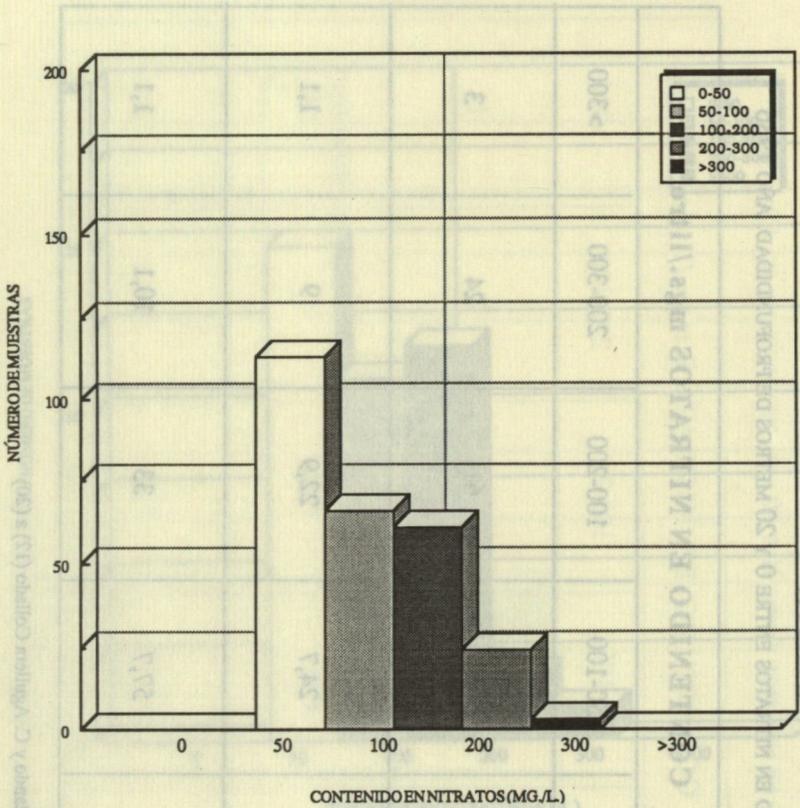


FIGURA 5.-Vegas del Guadiana. Zona de regadío. Abastecimiento a diseminados. Contenido en nitratos en pozos y sondeos de menos de 20 metros de profundidad. Año 1986.

TABLE 6.  
 VEGAS DEL GUADIANA. CONTENIDO EN NITRATOS ENTRE 20Y 30 MTS. DE PROFUNDIDAD. AÑO 1986

	CONTENIDO EN NITRATOS mgs/litro				
	0-50	50-100	100-200	200-300	>300
NÚMERO DE MUESTRAS	3	4	—	—	—
% SOBRE EL TOTAL	42,9	57,1	—	—	—
% ACUMULADO QUE SOBREPASA EL VALOR INFERIOR	100	57,1	—	—	—

NOTA: Tabla elaborada a partir de datos de V. Higes Rolando y C. Aguilera Collado (12) a (20)

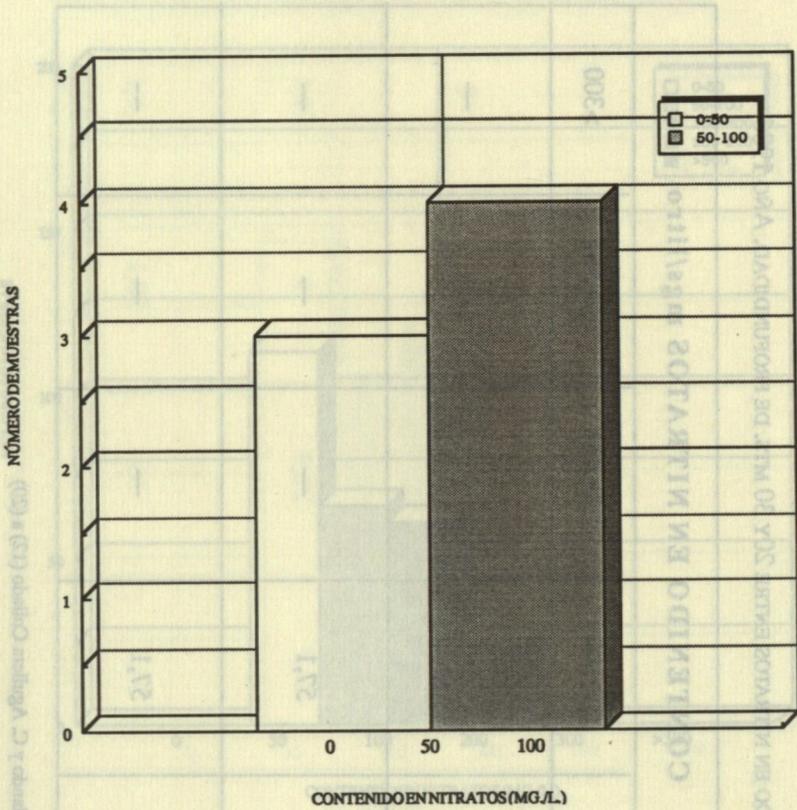


FIGURA 6.-Vegas del Guadiana. Zona de regadío. Abastecimiento a  
diseminados. Contenido en nitratos en pozos y sondeos de 20  
a 30 metros de profundidad. Año 1986.

TABLA 7.  
 PROVINCIA DE BADAJOZ. CONTENIDO EN NITRATOS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EMPLEADAS PARA ABASTECIMIENTO PÚBLICO

	CONTENIDO EN NITRATOS mgs./litro			
	0-50	50-100	100-200	200-300
NÚMERO DE HABITANTES	194.015	26.235	48.750	46.750
POBLACIÓN ACUMULADA	315.750	121.735	95.500	46.750
% DE HABITANTES	61	8,6	19,4	15
% ACUMULADO QUE SUPERA EL VALOR INFERIOR	100	39	30,4	15
				>300
				3
				1,1
				1,1
				—

NOTA: Tabla elaborada a partir de datos de J. J. Gómez García (21)

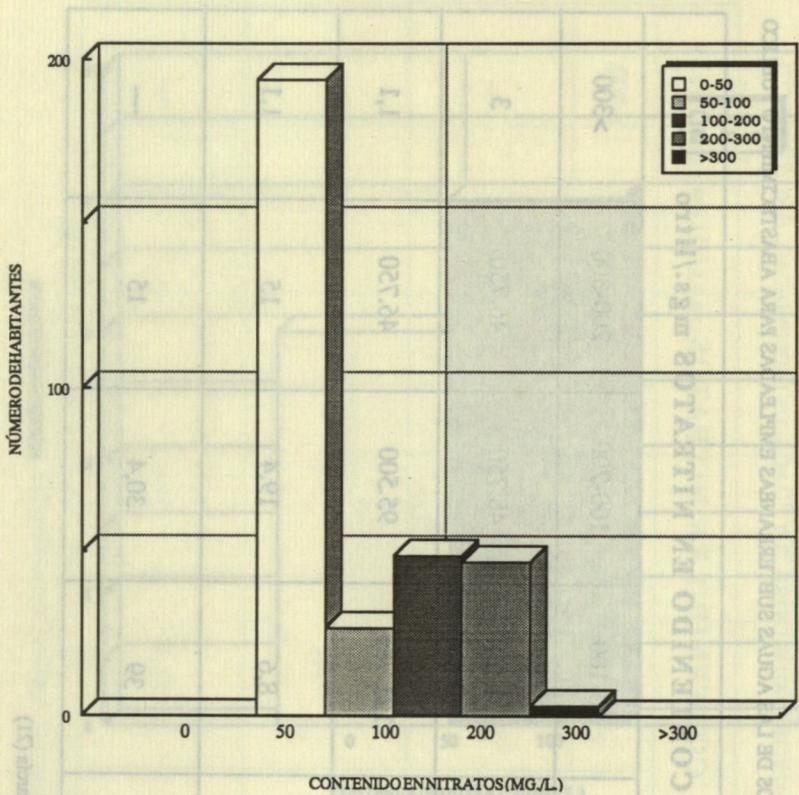


FIGURA 7.-Provincia de Badajoz. Contenido en nitratos de las aguas subterráneas empleadas para abastecimiento público. Año 1989.

TABLA 8.  
 VEGAS DEL GUADIANA. CONTENIDOS EN NITRATOS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS CAPTADAS EN POZO DE HASTA 20 MTS.  
 DE PROFUNDIDAD Y EMPLEADAS PARA ABASTECIMIENTO PÚBLICO

	CONTENIDO EN NITRATOS mgs/litro				
	0-50	50-100	100-200	200-300	>300
NÚMERO DE POBLACIONES	6	15	15	—	—
% SOBRE EL TOTAL	16,6	41,7	41,7	—	—
% ACUMULADO QUE SOBREPASA EL VALOR INFERIOR	100	83,4	41,7	—	—

NOTA: Tabla elaborada a partir de datos de J. C. Gómez García (21)

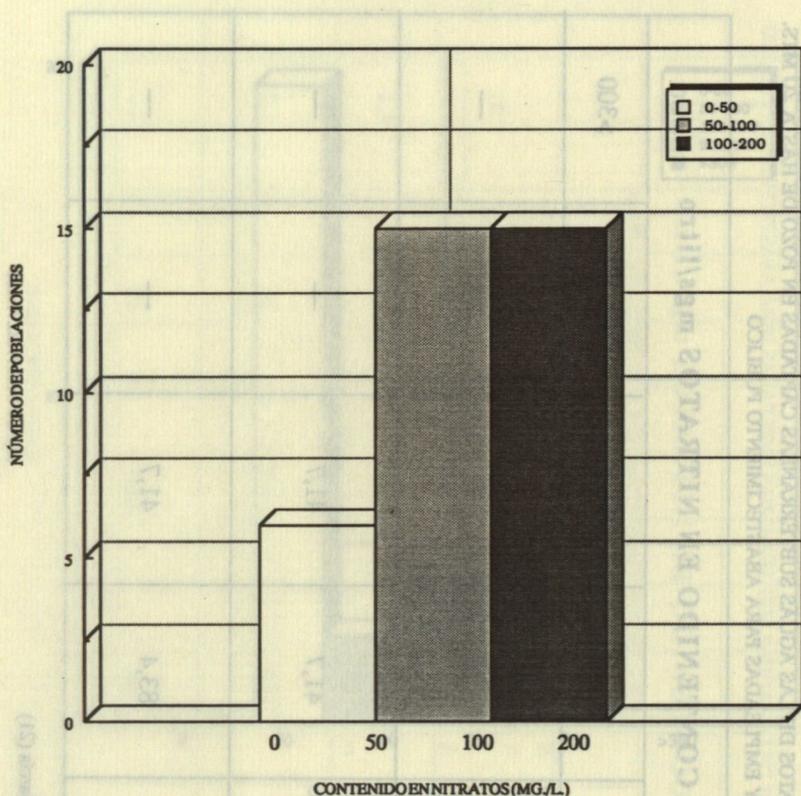


FIGURA 8.-Vegas del Guadiana. Zona de regadío. Contenido en nitratos de las aguas subterráneas captadas en pozos de menos de 20 metros de profundidad y empleadas para abastecimiento público. Año 1989.

**TABLA 9.**  
**VEGAS DEL GUADIANA. CONTENIDO EN NO<sub>3</sub> DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS CAPTADAS POR SONDEOS DE MAS DE 20 MTS.**  
**DE PROFUNDIDAD Y EMPLEADAS PARA ABASTECIMIENTO PÚBLICO**

	CONTENIDO EN NITRATOS mgs/litro			
	0-20	20-50	50-80	80-100
NÚMERO DE POBLACIONES	3	1	1	—
% SOBRE EL TOTAL	60	20	20	—
% ACUMULADO QUE SOBREPASA EL VALOR INFERIOR	100	40	20	—

NOTA: Tabla elaborada a partir de datos de J. J. Gómez García (21)

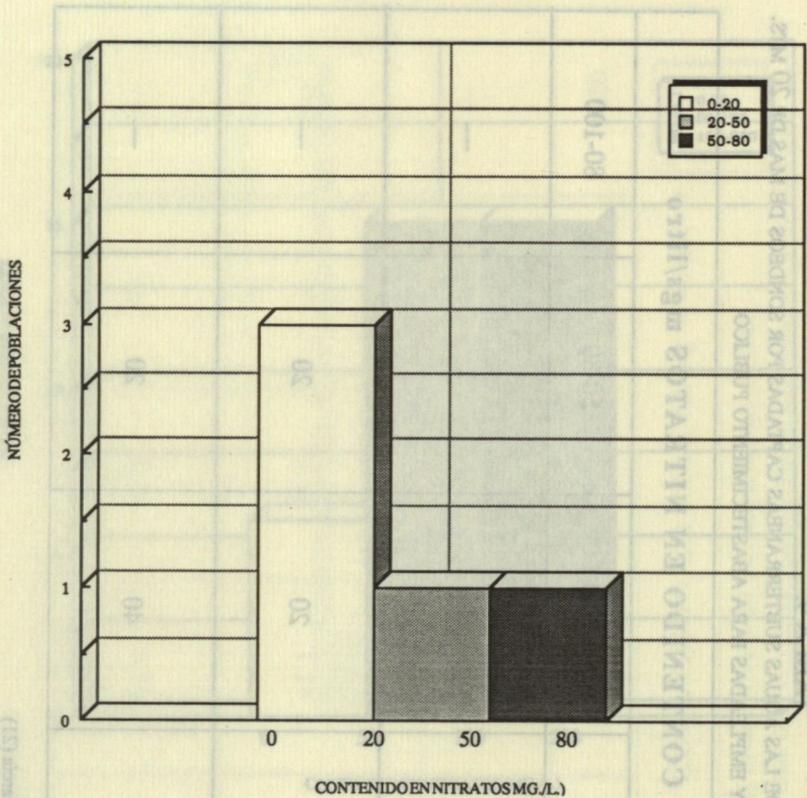


FIGURA 9.-Vegas del Guadiana. Zona de regadío. Contenido en nitratos de las aguas subterráneas captadas por sondeos de más de 20 metros de profundidad y empleadas para abastecimiento público. Año 1989.

TABLA 10.  
 VEGAS DEL GUADIANA. CONTENIDO EN NITRATOS DE LAS MUESTRAS DEL ACUIFERO SUPERFICIAL ANALIZADAS EN 1967,  
 EN EL COMIENZO DE SU PUESTA EN RIEGO

	CONTENIDO EN NITRATOS (mgs./litro)				
	0-50	50-100	100-200	200-300	>200 m.
NÚMERO DE MUESTRAS	60	20	2	—	—
% SOBRE EL TOTAL	73,2	24,4	2,4	—	—
% ACUMULADO QUE SOBREPASA EL VALOR INFERIOR	100	26,8	2,4	—	—

NOTA: Tabla elaborada a partir de datos de J. R. Peláez Pruneda (23)

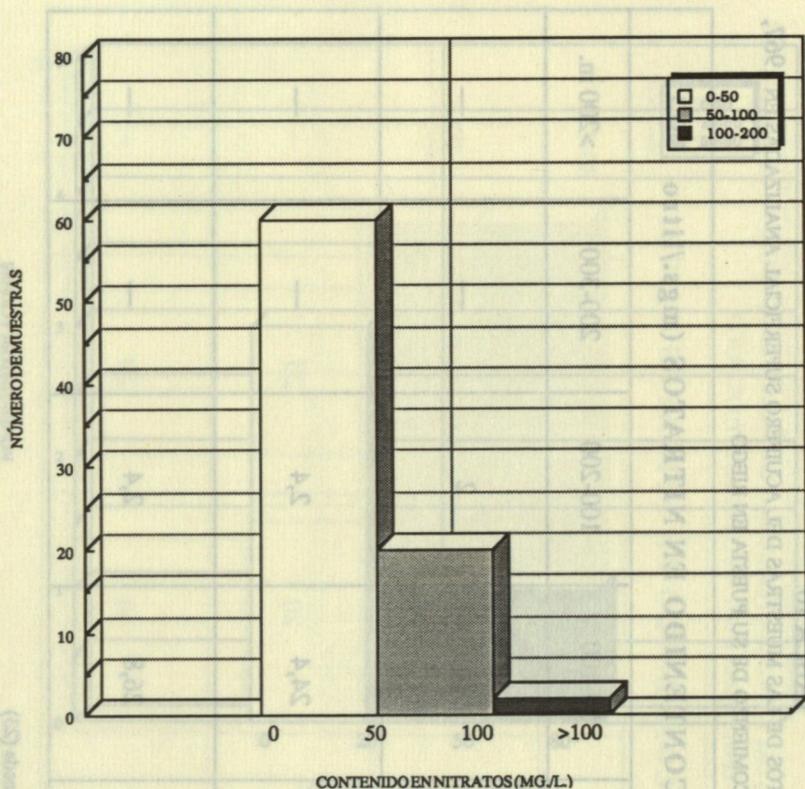


FIGURA 10.-Vegas del Guadiana. Zona de regadío. Contenido en nitratos de muestras del acuífero superficial obtenidas en pozos de menos de 20 metros de profundidad. Año 1967, al comenzar la irrigación del área.

TABLA 11.  
 VEGAS DEL GUADIANA. VARIACION DEL CONTENIDO EN NITRATOS DEL ACUIFERO SUPERFICIAL ENTRE 1967 Y 1989  
 EN LA ZONA REGADA

	% POZOS QUE SUPERAN EL CONTENIDO EN NITRATOS			
	50 mgs./l.	100 mgs./l.	200 mgs./l.	200 mgs./l.
ZONA REGABLE EN 1967	26,8	2,4	—	—
ZONA REGABLE EN 1986	57,7	33	10,1	1,1
ZONA REGABLE EN 1989	83,4	41,7	?	?

NOTA: Tabla elaborada a partir de datos de J. R. Peláez Prunedda (23); V. Higes Rolando y C. Aguilera Collado (12) a (20) y J. J. Gómez García (21)

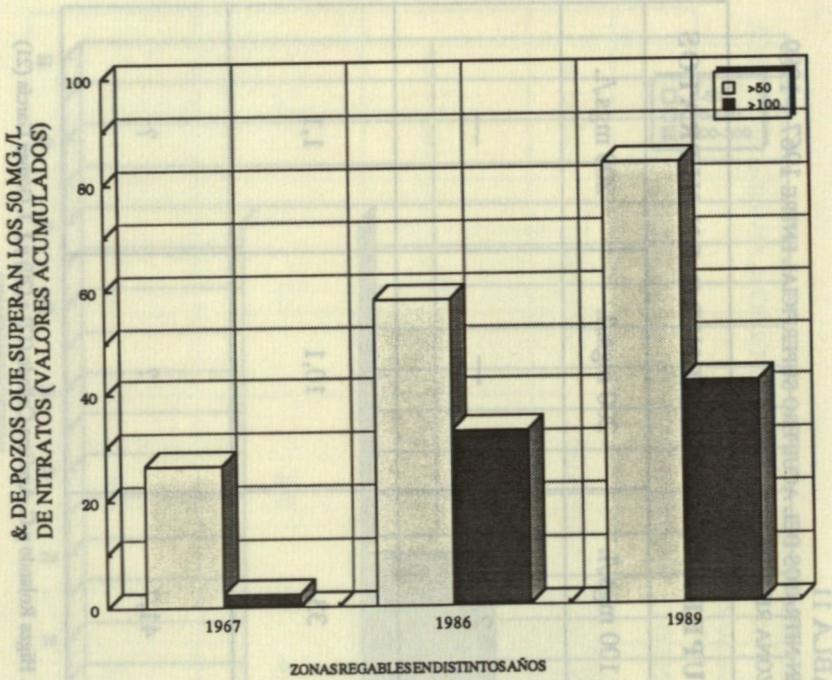


FIGURA 11.-Vegas del Guadiana. Zona de regadío. Evolución del % de pozos impotables en el acuífero superficial entre 1967 y 1989.

TABLA 12.  
 BADAJOZ. SECANOS PROXIMOS A LA ZONA REGABLE. CONTENIDO EN NITRATOS EN 1981 EN POZOS DE MENOS DE 20 MTS.  
 DE PROFUNDIDAD

	CONTENIDO EN NITRATOS mgs/litro				
	0-50	50-100	100-200	200-300	>300
NÚMERO DE MUESTRAS	18	9	1	—	—
% SOBRE EL TOTAL	64,3	32,1	3,6	—	—
% ACUMULADO QUE SOBREPASA EL VALOR INFERIOR	100	35,7	3,6	—	—

NOTA: Tabla elaborada a partir de datos publicados por M. J. Liso, M. J. Gaspar y V. Higes (24)

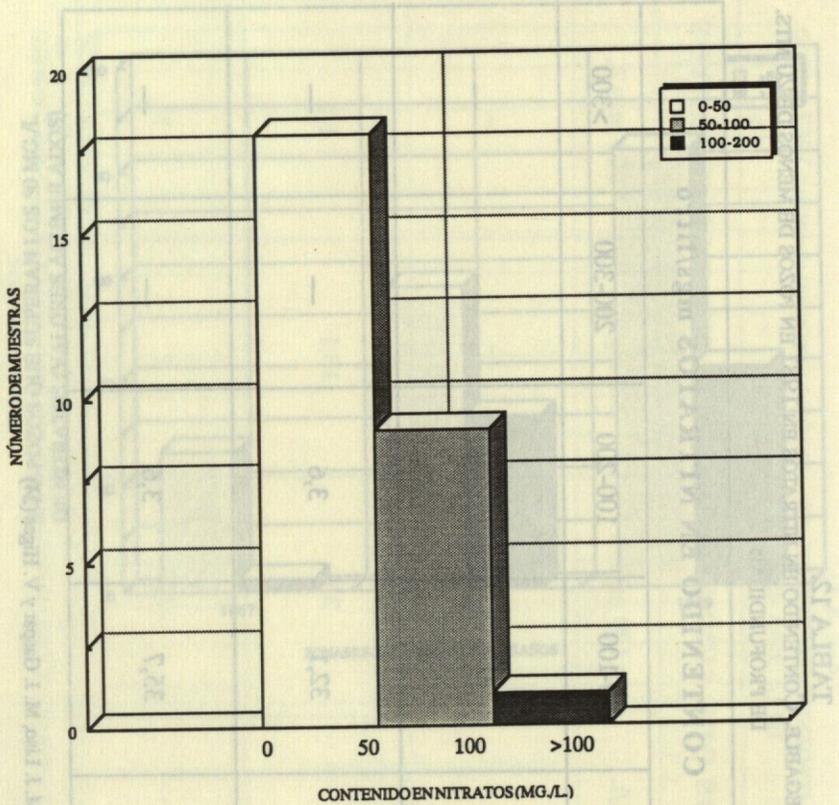


FIGURA 12.-Badajoz. Secanos próximos a la zona regable. Contenido en nitratos en pozos de menos de 20 metros de profundidad empleados para abastecimiento a diseminados. Año 1981.

**TABLA 13.**  
**BADAJOZ. SECANOS. CONTENIDOS EN NITRATO EN 1989 EN POZOS DE MENOS DE 20 MTS. DE PROFUNDIDAD EMPLEADOS**  
**PARA ABASTECIMIENTO PÚBLICO**

	CONTENIDO EN NITRATOS mgs/litro				
	0-20	20-50	50-80	80-100	>100
NÚMERO DE POBLACIONES	3	6	3	5	2
% SOBRE EL TOTAL	15,8	31,6	15,8	26,3	10,5
% ACUMULADO QUE SOBREPASA EL VALOR INFERIOR	100	84,2	52,6	36,8	10,5

NOTA: Tabla elaborada a partir de datos publicados por J. J. Gómez (21)

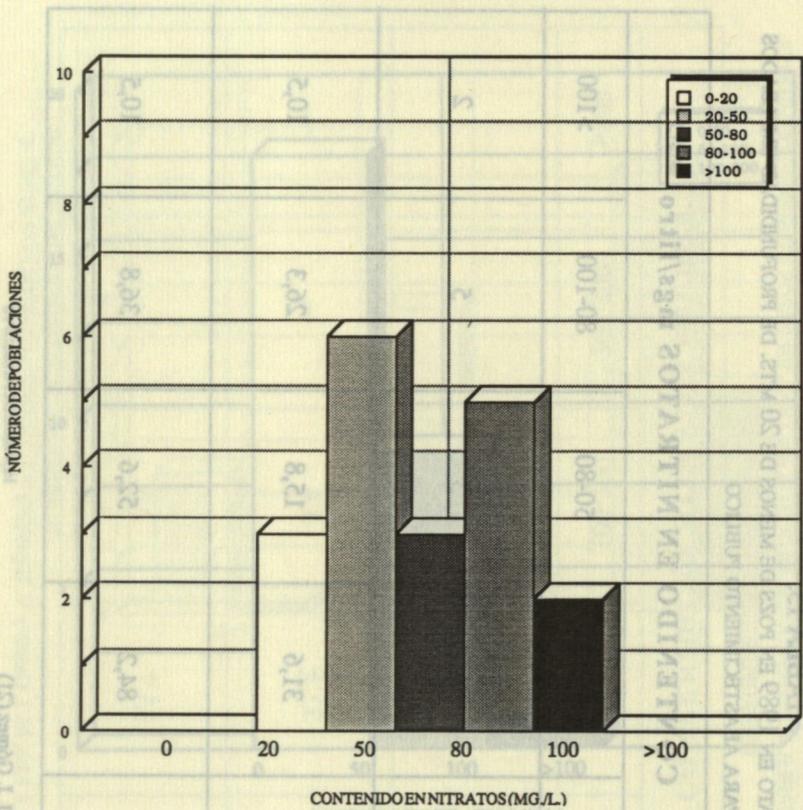


FIGURA 13.-Badajoz. Secano. Contenido en nitratos en pozos de menos de 20 metros de profundidad empleados para abastecimiento público. Año 1989.

TABLA 14.  
 BADAJOZ. EVOLUCION DEL CONTENIDO EN NITRATOS DEL AGUA DE POZOS CON MENOS DE 20 MTS. DE PROFUNDIDAD EN  
 TERRENOS DE SECANO PROXIMOS A LA VEGA DEL GUADIANA

	CONTENIDO EN NITRATOS mgs/litro			
	50 mgs/l.	100 mgs./l.	200 mgs./l.	300 mgs./l.
ZONA REGABLE EN 1967 POCO DESPUÉS DE SU RECONVERSIÓN	26,8	2,4	—	—
SECANO EN 1981	35,7	2,6	—	—
SECANO EN 1989	52,6	10,6	—	—

NOTA: Tabla elaborada a partir de datos de J. R. Peláez Pruneda (23); M. J. Liso, M. J. Gaspar y V. Higes (24) y J. J. Gómez (21)

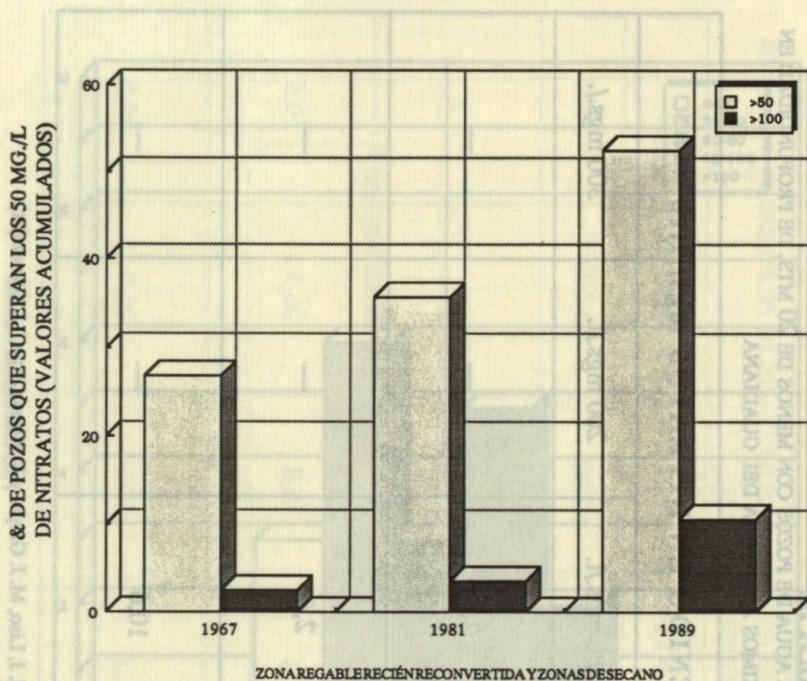


FIGURA 14.-Badajoz. Secano. Evolución del % de pozos impotables de menos de 20 metros de profundidad. Años 1967-1989.

TABLA 15.  
 EVOLUCION COMPARATIVA DEL CONTENIDO EN NITRATOS EN POZOS Y SONDEOS SITUADOS EN ZONAS DE SECANO  
 Y DE REGADÍO. AÑOS 1967 A 1989

	ÁREA DE SECANO		ÁREA DE REGADÍO	
	% ACUMULADO CON MÁS DE		% ACUMULADO CON MÁS DE	
	50 mgs./l.	100 mgs./l.	50 mgs./l.	100 mgs./l.
AÑO 1967	26,8	2,4	26,8	2,4
AÑO 1981	35,7	3,6	—	—
AÑO 1986	—	—	57,7	22
AÑO 1989	52,6	10,6	83,4	41,7

NOTA: Tabla elaborada a partir de datos de J. R. Peláez Pruneda (23), M. J. Liso, M. J. Gaspar y V. Higes (24), V. Higes y C. Aguilera (12) a (20) y J. J. Gómez (21).

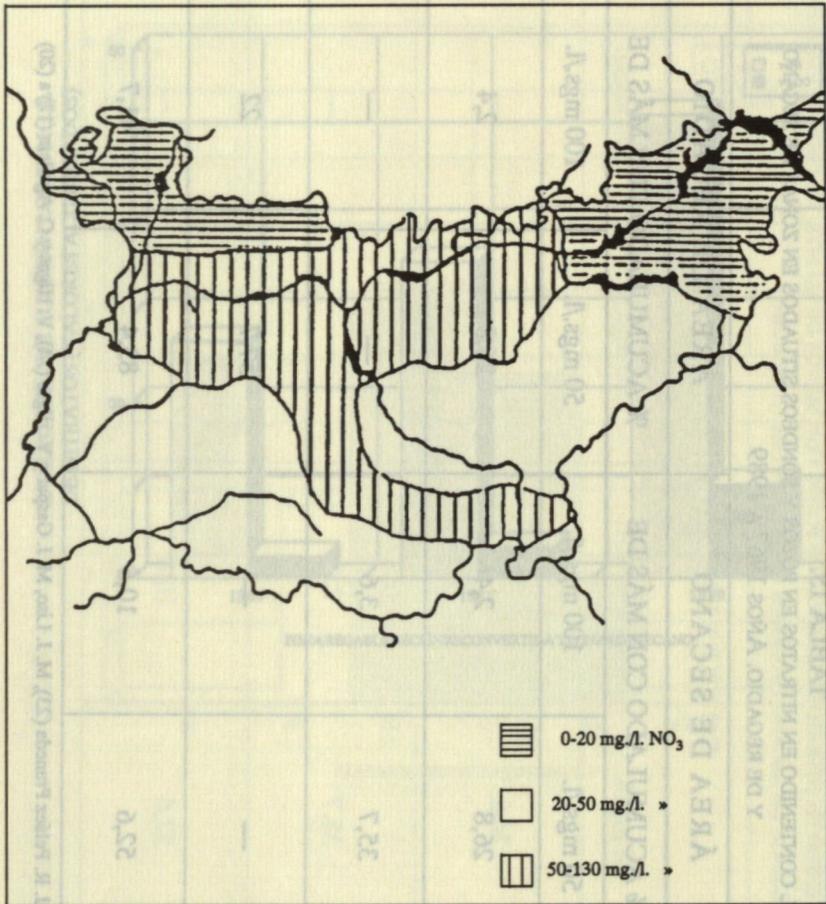


FIGURA 15.-Provincia de Badajoz. Contenido en nitratos de los abastecimientos públicos en el año 1989. Según J. J. Gómez (21)

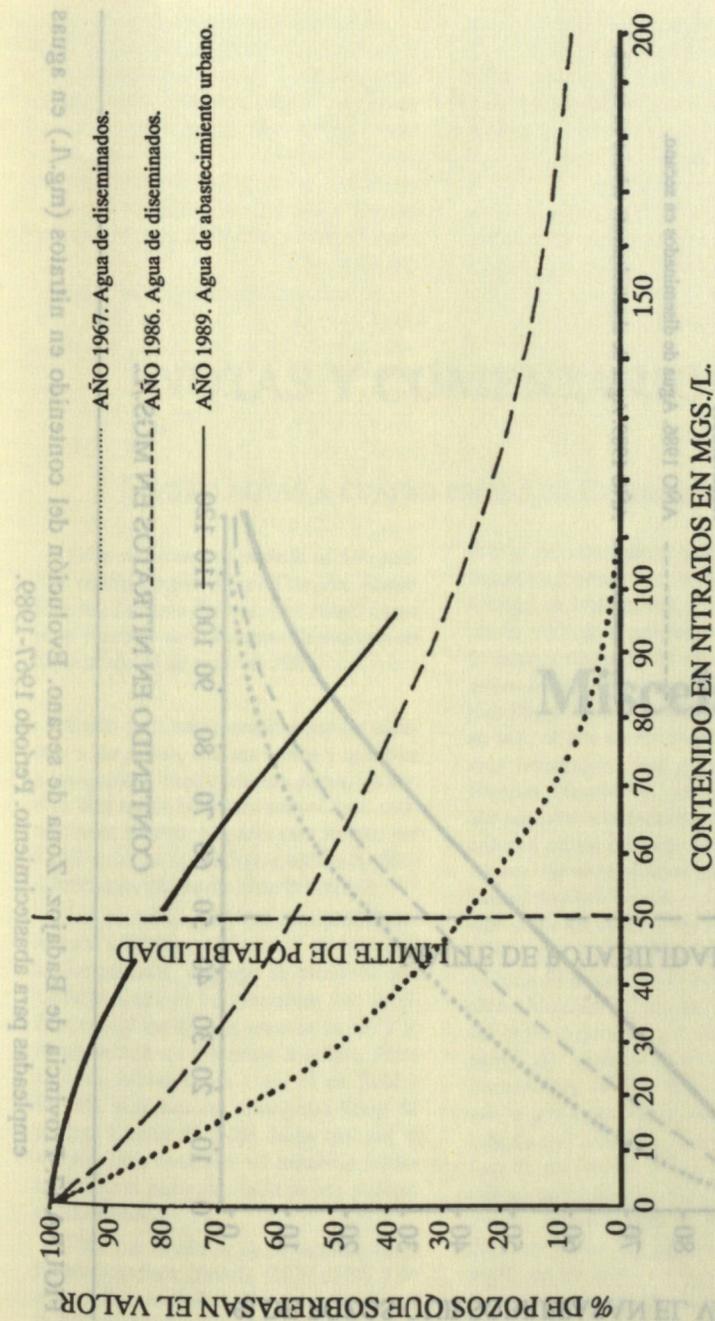


FIGURA 16.-Vegas del Guadiana. Zona de regadío. Contenido en nitratos en pozos del acuífero superficial. Evolución en el período 1967-1989.

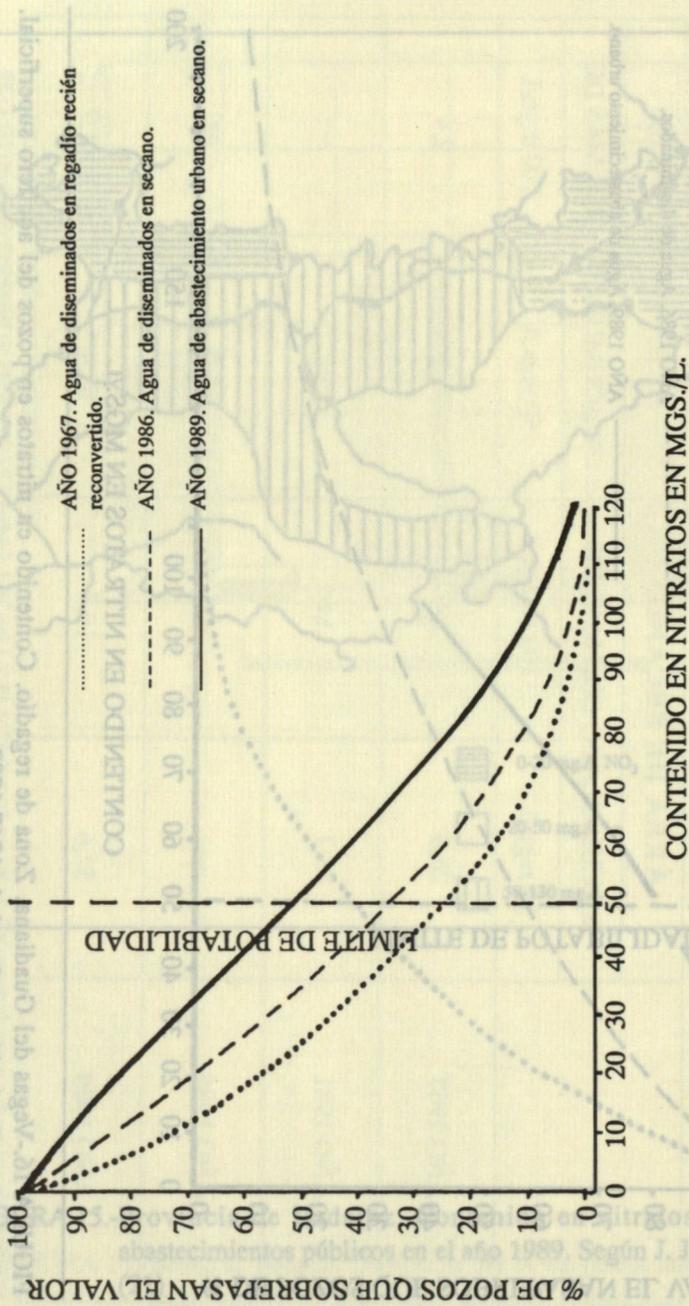


FIGURA 17.-Provincia de Badajoz. Zona de secano. Evolución del contenido en nitratos (mg./l.) en aguas empleadas para abastecimiento. Período 1967-1989.