

## FUNCIONALIDAD DE LAS ZONAS HÚMEDAS DEL CINTURÓN PERI-URBANO DE VITORIA-GASTEIZ: CONSECUENCIAS SOBRE LA DESNITRIFICACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Martínez<sup>1</sup>, M., C. García<sup>1</sup>, I. Antigüedad<sup>1</sup>, J.M. Sánchez-Pérez<sup>2</sup> y A. Aizpurua<sup>3</sup>

- 1- Grupo de Hidrogeología. Universidad del País Vasco. 48940 Leioa (Bizkaia)
- 2- CESAC. Université Paul Savatier. 31055 Toulouse
- 3- NEIKER- Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario. 48160 Derio (Bizkaia)

**RESUMEN.** En el acuífero cuaternario de Vitoria-Gasteiz los cambios de usos del suelo y la intensificación de la agricultura llevó a la desaparición de los humedales. Acciones recientes de restauración de espacios naturales en el área peri-urbana han llevado a su recuperación por cierre de acequias y elevación del nivel piezométrico. Es el caso de la Balsa de Zurbano. La restauración ha permitido evidenciar su funcionalidad biogeoquímica de disminución de nitratos de las aguas. Las concentraciones en  $\text{NO}_3^-$ , superiores a 50 mg/l en las aguas fluyentes hacia la Balsa, son inferiores a 10 mg/l en su salida. Hay condiciones propicias para la desnitrificación: oxígeno disuelto en el agua subterránea menor de 1 mg/l y COD superior a 3 mg/l; abundante materia orgánica y notable presencia de arcillas que originan localmente flujo semiconfinado. La descarga de la Balsa condiciona el contenido en nitratos del río Alegria, disminuyendo de forma notable los contenidos cuando los caudales descargados son importantes.

**ABSTRACT.** Wetlands in the quaternary aquifer of Vitoria-Gasteiz have tended to disappear due to changes in the land uses and agriculture intensification. Recent actions to restore natural spaces in the peri-urban area have led to its restoration closing main ditches and conducting to elevation in the piezometric level. This is the case of the Balsa of Zurbano. Restoration allowed its biogeochemical function recovery, reducing nitrate from waters.  $\text{NO}_3^-$  contents are higher than 50 mg/l in groundwaters entering into the Balsa and get less than 10 mg/l in their way out. Conditions near wetland are conducive to denitrification: dissolved oxygen less than 1 mg/l and COD higher than 3 mg/l in groundwaters, organic matter rich soil and clay presence allowing a local semiconfined flow. Nitrate content of Alegria River is influenced by discharge of the Balsa, conducting to lowering  $\text{NO}_3^-$  when discharge is high.

### 1.- Introducción

El acuífero asociado a los materiales cuaternarios en las proximidades de Vitoria-Gasteiz constituye una de las Unidades Hidrogeológicas reconocidas en el País Vasco. El acuífero está formado por depósitos fluviales y aluviales que ocupan un área aproximada de 90 km<sup>2</sup>. A la vista de la geometría de los afloramientos el acuífero se ha dividido en dos sectores (Arrate, 1994), de funcionamiento diferente:

Sector Oriental (50 km<sup>2</sup>) y Occidental (40 km<sup>2</sup>); ambos conectan en el estrechamiento de Eskalmendi situado justo al norte de Vitoria-Gasteiz. El presente trabajo se centra en una parte del Sector Oriental (Fig. 1). Los depósitos tienen aquí un espesor medio de 5 m, aunque en ciertas áreas, con surcos en el sustrato margoso, llega hasta los 11 m.

Los depósitos cuaternarios del Sector están atravesados, de este a oeste, por el río Alegria, el cual recibe las aguas de varios tributarios por ambos márgenes. Una vez pasado el estrechamiento de Eskalmendi el río Alegria vierte sus aguas al río Zadorra, afluente del Ebro.

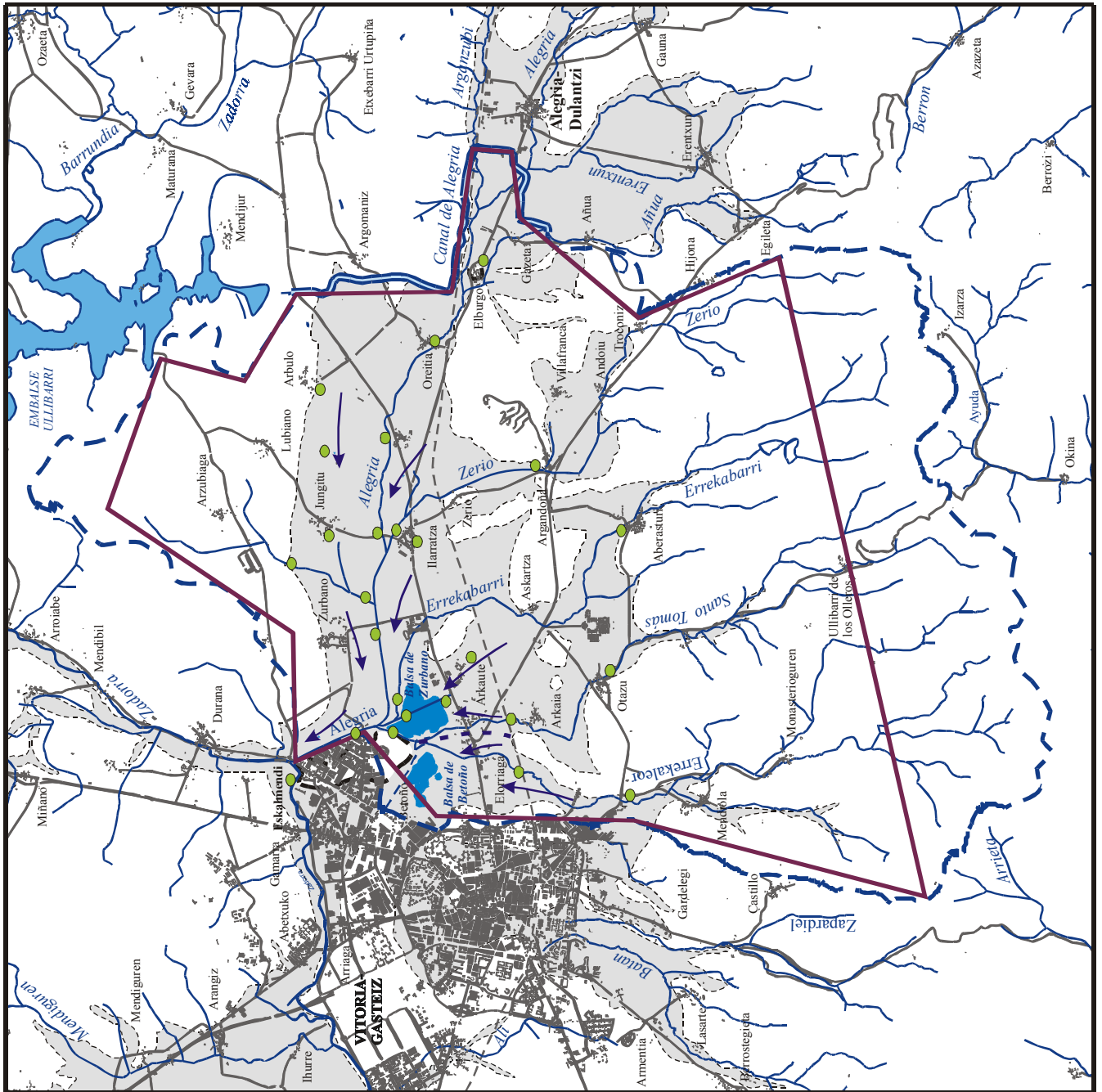
Los depósitos, constituidos por limos, arcillas, arenas y gravas, en diferente proporción y secuencia, forman un acuífero libre aunque localmente es semiconfinado, aspecto de importancia en este estudio. La profundidad del nivel piezométrico oscila entre los 4 y los 0 m. Si bien los ensayos de bombeo son escasos se ha dado un valor referencial de 0.2 para el coeficiente de almacenamiento y de 40-150 m<sup>2</sup>/d para la transmisividad en el acuífero libre (Arrate, 1994).

El acuífero descansa sobre un potente paquete de margas (Campaniense), de muy baja permeabilidad, que se observa tanto en los bordes como en afloramientos aislados dentro de los depósitos cuaternarios (Figs. 1 y 4). La influencia de la geometría de este paquete, surcos y afloramientos, en la dinámica del acuífero cuaternario es notoria (Arrate, 1994).

El acuífero se recarga por infiltración de agua de lluvia y por el comportamiento influente de los arroyos de la zona sur en determinadas épocas del año. La descarga se verifica por evapotranspiración, bombeos estivales y, sobre todo, a favor de la amplia red de acequias y arroyos.

El problema principal del Sector Oriental en los años 90 era la notable presencia de nitratos en las aguas subterráneas, consecuencia de la intensa actividad agrícola de regadío. Arrate *et al.* (1997) evidencian un continuo incremento en la concentración de nitratos desde comienzos de los 80 llegando en 1993 a valores superiores a 150 mg/l en buena parte del Sector, y de 200 mg/l en áreas importantes.

Hace poco el Gobierno Vasco ha desarrollado la Directiva 91/676/CEE de protección de las aguas contra la contaminación por nitratos en la agricultura mediante el Decreto 390/1998 por el que se declara Zona Vulnerable a la contaminación de las aguas por nitratos el Sector Oriental de la Unidad Hidrogeológica Vitoria-Gasteiz (Fig. 1), y se aprueba el Código de Buenas Prácticas Agrícolas.



**Figura 1.** Sector Oriental del Acuífero Cuaternario de Vitoria-Gasteiz y Zona Vulnerable. Aparecen las Balsas de Zurbarano y Betoho. Las líneas de flujo en el área de las Balsas son previas a la situación actual, reflejada en la Fig. 4.

Más recientemente, diciembre 2000, se ha publicado el Plan de Actuación sobre esa Zona estableciéndose medidas en el abonado para disminuir los niveles de nitratos en las aguas. Aunque es pronto para hablar de la bondad de las medidas nuestro Grupo de Hidrogeología lleva a cabo un control de calidad de las aguas en una amplia red de puntos de la Zona Vulnerable (Figs. 1 y 4).

Por otra parte, en los últimos años el Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz ha recuperado áreas de interés naturalístico como parte del Anillo Verde de la ciudad. Una de esas áreas es el Parque de Salburua, en la Zona Vulnerable, que recupera dos zonas húmedas (Balsas de Betoño y Zurbano, Figs. 1 y 4), en relación directa con el acuífero cuaternario, que tiempo atrás habían sido drenadas, por una densa red de acequias, con objeto de ganar tierras para la agricultura.

El control que el Grupo de Hidrogeología efectúa ha evidenciado una notable pérdida de nitratos en las aguas que drenan estos humedales en relación con los contenidos en las aguas subterráneas que los alimentan. Este hecho, no previsto en el plan de recuperación, es objeto de un estudio de detalle cuyo conocimiento actual se presenta ahora. La investigación se centra en la Balsa de Zurbano, la más grande (24 Ha), ya que la de Betoño está fuertemente condicionada por la expansión urbanística de la ciudad.

## 2.- Modificaciones antrópicas en el acuífero

Hasta los años 50 la mayor parte del terreno era agricultura de secano, cereal sobre todo, aunque existían amplias zonas de pradera y bosques de frondosas. El nivel freático se encontraba muy cerca de la superficie (0-1.5 m) lo que originaba frecuentes encharcamientos en algunas zonas, favorecido por el desbordamiento de algunos arroyos en aguas muy altas. De hecho, existen referencias históricas de la construcción de acequias en las zonas más problemáticas, por inundación, ya en el siglo XV. Quizás la acequia más notoria sea la del "Canal de la Balsa" (Figs. 1 y 4), anterior a finales del XIX, cuyo objetivo era desaguar la Balsa de Zurbano, hoy recuperada por el cierre del canal.

El auge del regadío en los años 50, y la reordenación parcelaria, supuso la necesidad de mayor superficie de cultivo y de un notable incremento de la demanda de agua y fertilizantes. Así, para evitar inundación de los terrenos se produce un desmesurado aumento de la red de acequias, adecuándolas a la geometría de las parcelas, que llega a alcanzar una densidad de 8 km/km<sup>2</sup> en este Sector (*Arrate et al.*, 1997). De igual forma, se modifica el trazado de algunos ríos y arroyos, sobre todo del río Alegria que en su parte final pasa a ser un canal (Fig. 4). El descenso generalizado del nivel freático es de 1-2.5 m, lo que supone una importante pérdida de capacidad reguladora del acuífero. En consecuencia los humedales que quedaban desaparecen. En la Figura 4 se observan las acequias más importantes presentes en la Balsa de Zurbano.

El incremento de la demanda de agua se cubre mediante bombeos en el acuífero. Además, el río Alegria es derivado (canal de Alegria, Fig. 1) a principios de los 70 hacia los embalses del Zadorra de manera que el acuífero sufre una

pérdida de recarga. El lavado de fertilizantes conduce a un rápido aumento en el contenido en nitratos en el acuífero que llega a superar frecuentemente los 150-200 mg/l.

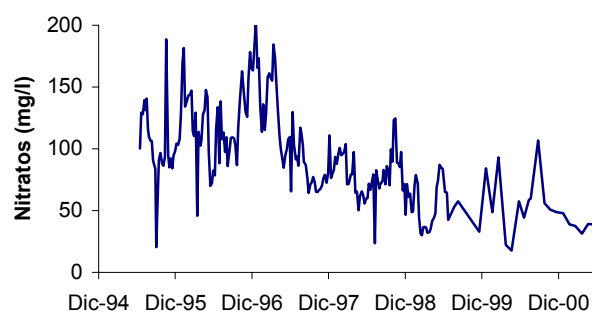


Fig. 2. Evolución de nitratos en las aguas subterráneas (Pozo SC21).

La Figura 2 representa la evolución de la concentración en nitratos en el Pozo Arkaute (SC21), representativo del Sector. Este pozo está en la cuenca vertiente a la Balsa de Zurbano (Fig. 4). Hay una tendencia hacia la baja en los últimos años, debido a una posible racionalización en el uso de abonos (?) y al cambio en el origen de las aguas usadas para el regadío, que ahora proceden de balsas artificiales ubicadas en los bordes que acumulan aguas superficiales.

Las concentraciones en el Pozo Arkaute están ahora en torno a los 50 mg/l; sin embargo, en el cercano Pozo EMA (Fig. 4), también en la cuenca vertiente a la Balsa, y en el manantial de Ilarratza, 2 km al este, que drena sólo aguas del acuífero ( $Q < 0.5$  l/s), las concentraciones son mayores, sobre 80 mg/l, por situarse en zonas más expuestas al impacto de la lixiviación de los abonos nitrogenados. La Figura 3 recoge la evolución más reciente de los nitratos en estos puntos y, a modo de comparación, en la salida de la Balsa de Zurbano (Z-8) y en las aguas de lluvia recogidas en la estación meteorológica de Arkaute. También se refleja la piezometría en el Pozo SC21. Los datos de nivel y parte de los datos químicos están tomados de la red de control del Ente Vasco de la Energía ([www.eve.es/redbas](http://www.eve.es/redbas)), el resto han sido tomados por los autores en sus investigaciones.

Es evidente la disminución de nitratos producida en el humedal. La mayor presencia de nitratos en el acuífero se da en los primeros meses del año y en la época estival, aunque no siempre las evoluciones son paralelas debido a la diversidad de cultivos presentes (cereal, remolacha, patata, sobre todo) y a las diferentes épocas de abonado, fondo y cobertera, para cada uno de ellos, entre octubre y junio. Una evolución similar fue ya evidenciada en este Sector por Sánchez-Pérez *et al.* (1995) con datos de los años 1993-94.

## 3.- La Balsa de Zurbano

### 3.1 Depósitos y origen

En una investigación del Grupo de Hidrogeología (1995) se efectuaron 19 sondeos manuales en la zona de las Balsas de Betoño y Zurbano, que entonces sólo tenían lámina libre

de agua en épocas de fuertes lluvias por ascenso del nivel y, puntualmente, entrada de agua desde los arroyos próximos.

El espesor del depósito en esta zona varía entre 2-4 m, en la parte oriental del Canal de la Balsa de Zurbano, y 8-10 m, a ambos lados del trazado del arroyo Errekaleor (Fig. 4) coincidiendo con la aparición de un surco en el sustrato margoso. Los materiales que aparecen forman, en general, una secuencia homogénea en su orden, no en sus espesores. Además, las roturaciones efectuadas en las tierras cultivadas antes de recuperar los humedales han alterado de forma notable los horizontes más someros.

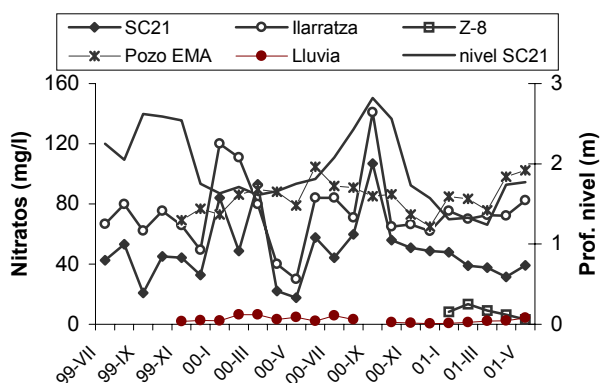


Fig. 3. Evolución reciente de la concentración en nitratos en varios puntos.

En superficie se encuentra un paquete arcilloso, oscuro y con abundante materia orgánica, con manchas de oxidoreducción. Sus menores espesores (<1 m) se dan cerca del Canal de la Balsa, sobre todo en su parte oriental y en su parte final. Los mayores espesores (~3 m), por su parte, se observan en las proximidades de la confluencia de los arroyos Errekaleor y Santo Tomás.

Hacia muro los materiales adquieren un carácter detrítico, limo-arenoso, arenas de grano fino-grueso, que culminan en un paquete nítido de gravas limpias y bien rodadas, de hasta 4-5 cm. Estas gravas están presentes en los sondeos de todo el área y aunque no es fácil fijar su espesor, por los problemas que dan en la perforación, se puede estimar en 2-4 m; normalmente están por debajo del nivel piezométrico.

Los materiales en las zonas próximas a las balsas fueron relacionados (Grupo de Hidrogeología, 1995) con procesos de relleno, de superficies de erosión previas, por ríos de canales entrecruzados a los que habrían seguido procesos, más actuales, de depósito por ríos meandriformes. Estos son los que predominan en la Balsa de Zurbano, y se habrían formado por desbordamiento de los actuales ríos Santo Tomás y Errekabarri. Es probable, que el Errekabarri ("río nuevo" en euskera) discurriese anteriormente hacia la confluencia de los ríos Santo Tomás y Errekaleor (Fig. 4) y que hubiera sido desviado hacia el norte, río Alegria, para facilitar el drenaje de la zona húmeda. La Figura 5 presenta un corte esquemático de la Balsa de Zurbano.

### 3.2 Estudio edafológico

Para conocer las características de los suelos en el entorno

de la Balsa de Zurbano se efectuaron sondeos manuales, hasta 1.5 m de profundidad, en cuatro diferentes lugares (AC16, AC17, P-5, TP2; Fig. 4). Los datos analíticos de las muestras del suelo se recogen, por horizontes, en la Tabla 1.

Tanto en P-5 como en TP-2 el suelo es de tipo Chernozem cálcico (FAO), con alto contenido en arcilla en el horizonte A, que justifica los elevados valores de potasio, sobre todo en P-5, y de capacidad de intercambio catiónico (CIC). El contenido en carbonatos y caliza activa aumenta con el perfil (B), lo que indica lavado. La materia orgánica abunda en el horizonte A y a ella se asocia los mayores contenidos en N mineral; hay que señalar que estos suelos permanecen libres de cultivo desde 1998 y que la vegetación dominante ahora son gramíneas. La baja relación C/N favorece la descomposición de la materia orgánica. Mientras que en P-5 el horizonte B es también arcilloso, arcillo limoso, presentando condiciones óxido-reductoras, en TP-2 es franco arenoso, sin presencia de las bandas de óxido-reducción. De hecho, en el entorno de P-5 se evidencian condiciones de semiconfinamiento del flujo, altos valores en elementos como fósforo y magnesio, este último en relación probable con el sustrato margoso, y procesos de desnitrificación, como luego se abordará.

AC16 es un Luvisol gleico (FAO) con textura arcillosa, o arcillo limosa, en todo el perfil y abundante materia orgánica en los horizontes A y Bt. Este suelo, al igual que los anteriores, está libre de cultivo. AC17, borde de bosque, es un Gleysol eútrico (FAO), con claros caracteres relictos de Vertisol, que está evolucionando hacia suelo hidromorfo. La textura es arcillosa en todo el perfil y la materia orgánica abunda en el horizonte A. Al igual que AC16 los menores valores de N-mineral se dan en el horizonte de oxidoreducción (Bg). En los cuatro suelos el nivel piezométrico llega prácticamente a la superficie en momentos puntuales.

### 3.3 Evolución de los cultivos

Los cultivos tradicionales en el Sector Oriental son los cereales, trigo y cebada, y en menor medida avena, en secano, y remolacha y patata en regadío. Estos cultivos han sufrido cambios en los últimos años, en extensión y en diversidad; se pasa de una agricultura de secano donde lo más cultivado era cebada en 1997 a un aumento en el cultivo de trigo en el 2000. Los de regadío, remolacha y patata, se han mantenido constantes en estos años. Es bastante común el policultivo dentro de una misma parcela de algún tipo de cereal con cultivos de regadío.

La superficie de la Balsa de Zurbano ha dejado de ser cultivada en 1999 para restaurar el humedal. Esta zona sufrió numerosos cambios en los cultivos entre 1993 y 1998. El policultivo de cereales (trigo, avena, cebada) con remolacha ha sido la base de los cultivos en la zona central de la Balsa durante esos años; sin embargo a la salida del Canal de la Balsa, se cultivó alfalfa los tres primeros años, para ser sustituida en 1996 por cultivos hortícola y posteriormente por la siembra de pasto para el ganado. En el centro de la Balsa además del cultivo base (cereal más remolacha) se plantaron todo tipo de especies, tales como, cáñamo, girasol, maíz, algo de guisante, judía y patata.

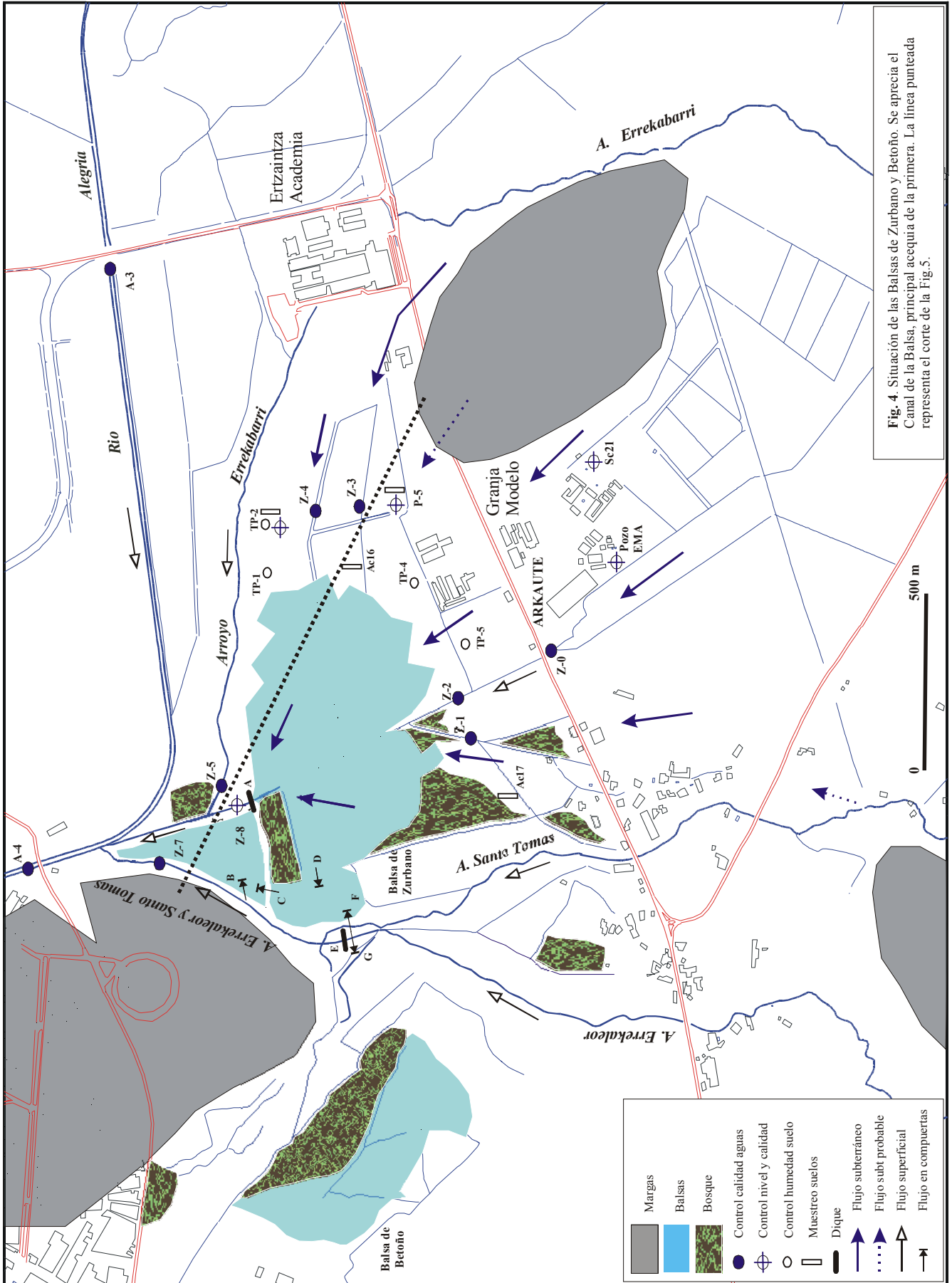


Fig. 4. Situación de las Balsas de Zurbano y Betoño. Se aprecia el Canal de la Balsa, principal acequia de la primera. La línea punteada representa el corte de la Fig. 5.

**Tabla 1.** Analítica de las muestras de suelo.

Determinación	A16-A (0-25)	A16-Bt (25-35)	A16-Bg (35-93)	A17-A (0-20)	A17-Bg1 (20-90)	A17-Bg2 (90-125)	A17-C (125-155)
N-nitríco (mg/kg)	3.26	3.94	1.65	6.09	2.53	3.4	4.33
N-amoniaca mg/kg	1.79	2.41	0.88	5.31	0.83	1.4	0.95
Determinación	P5-Ah (0-30)	P5-B (30-50)	P5-Bckg (50-100)	TP2-A (0-47)	TP2-Bk (47-60)		
N-nitríco (mg/kg)	6.48	1.62	1.6	5.72	18.8		
N-amoniaca mg/kg	1.7	0.48	0.35	4.98	11.82		
Determinación	P5-Ah (0-30)	P5-B (30-50)	P5-Bckg (50-100)	P5-Bg (>100)	TP2-A (0-47)	TP2-Bk (47-60)	
Arena gruesa (%)	3.55	4.1	1.39	0.66	13.57	48.32	
Arena Fina (%)	26.24	28.68	16.65	15.61	32.62	22.51	
Limo (%)	31.54	32.22	53.05	53.31	16.57	17.25	
Arcilla (%)	38.67	35	28.9	30.43	37.24	11.93	
pH (1:2.5) agua	7.7	7.95	8.3	8.45	7.9	8.4	
Cond. Eléc. dS/m (1:5)	0.18	0.16	0.14	0.16	0.16	0.12	
Carbonatos(%)	27.12	30.15	63.71	58.95	11.57	58.03	
Caliza activa (%)	8.78	8.45	20.95	19.45	1.61	7.73	
Materia Orgánica (%)	3.35	1.71	0.63	0.35	3.07	0.72	
Nitrógeno Total (%)	0.27	0.16	0.08	0.07	0.23	0.07	
C/N	7.22	6.19	4.63	2.86	7.74	6	
Fósforo Olsen (ppm)	28.84	9.52	3.41	Inapreciable	11.2	2.93	
Calcio (meq/100g)	30.75	26.63	21.17	20.04	33.21	19.8	
Magnesio (meq/100g)	1.69	1.71	1.35	2.52	0.76	0.3	
Sodio (meq/100g)	0.1	0.14	0.21	0.34	0.13	0.084	
Potasio (ppm)	347	245	84	48	143	40	
C.I.C. (meq/100g)	26.77	19.76	8.68	8.06	28.97	6.53	

Se puede decir que la evolución de los cultivos en la Balsa ha ido desde una gran diversidad (policultivo) en los primeros años, hasta la siembra exclusiva de trigo y avena en 1998. Esto pudo deberse a que el nivel freático en el centro estaba muy cerca de la superficie, impidiendo el desarrollo óptimo de muchos cultivos, por lo que los agricultores después de experimentar con numerosos cultivos optaron por aquellos que mejor se adaptaban.

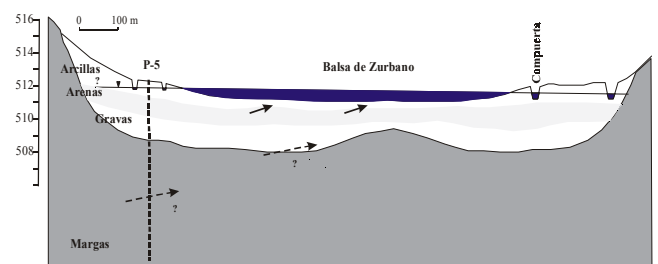
En cuanto a la vegetación actual en la Balsa y sus bordes decir que abundan las especies indicadoras de eutrofización (*Lemna minor*, en la entrada del Canal de la Balsa, y algas filamentosas, *Cladophora sp* y *Spirogyra sp*).

### 3.4 Funcionamiento hidrológico de la Balsa

Como se ha dicho, la Balsa de Zurbano está en una zona deprimida entre los ríos Santo Tomas y Errekabarri (Fig. 4) y su origen se relaciona con depósitos de desbordamiento de esos ríos. La misma figura refleja la disposición de las principales acequias excavadas para desecar el humedal.

La reciente recuperación de la Balsa ha sido posible mediante el cierre de la salida de su principal arteria de drenaje: el Canal de la Balsa. El cierre se sitúa en el dique A, junto al punto de control Z-8. La obra consiste en un dique con compuerta que sirve para la regulación manual del nivel de la balsa, de manera que en periodos de fuerte recarga la compuerta se abre evitando así que un aumento notable del nivel en la balsa, y en el propio acuífero, afecte a las zonas cultivadas próximas (área de Arkaute).

Hasta la recuperación del humedal (finales de 1998) las acequias drenaban el agua rápidamente hacia el Canal de la Balsa, y finalmente al río Alegria, de manera que sólo en época de fuertes lluvias llegaba a observarse una lámina libre de agua, algo más duradera en el lado izquierdo del Canal, con menos acequias. El aporte de agua era sobre todo de origen subterráneo, al que había que añadir la acumulación directa del agua de lluvia; ninguno de los ríos limitantes de la balsa (Santo Tomas y Errekabarri) aportaban agua, al menos de forma apreciable.



**Fig. 5.** Corte esquemático de la Balsa de Zurbano con la secuencia de depósito sobre el sustrato margoso, las antiguas acequias para el drenaje y la compuerta que regula la Balsa. También se observa el piezómetro P-5.

La reciente recuperación de la Balsa de Zurbano ha venido acompañada de otras actuaciones sobre el medio. Así, los ríos Santo Tomas y Errekabarri que hasta ese momento transcurrían hacia el oeste, junto a la Balsa de

Betoño (Fig. 4), para integrarse en la red de colectores de aguas residuales de Vitoria-Gasteiz, con sus problemas asociados, han sido derivados, a partir de su confluencia, hacia el noreste, para confluir en el río Alegria justo en el mismo lugar en el que lo hacen las aguas procedentes del Canal de la Balsa y del río Errekabarri.

Por otra parte, se han construido una serie de compuertas para controlar el nivel de la Balsa de Zurbano. Aparecen ubicadas en la Figura 4. Las compuertas C y D regulan el nivel interno en distintas partes de la Balsa. Las compuertas F y B permiten la entrada de agua del río y han sido pensadas como medida de prevención en momentos de fuerte crecida en el río; en la práctica F nunca se ha abierto, y B en muy pocas ocasiones, fluyendo su agua a una pequeña balsa que no está en conexión hidráulica con la de Zurbano. Por último, A es la descarga principal de la Balsa. No hay descarga, apreciable al menos, hacia el Errekabarri.

En consecuencia, la única entrada de agua a la Balsa procede de algunas acequias que drenan terrenos de cultivo, en el sur, controladas en los puntos Z-0, Z-1 y Z-2 (Fig. 4) y del propio acuífero, controlado en los pozos SC21 y EMA (Arkaute), en los piezómetros P-5 y TP-2 y en las acequias, prácticamente inactivas, Z-3 y Z-4. En la figura se esquematizan las líneas de flujo subterráneo vertientes a la Balsa, que proceden sobre todo del sur, área de Arkaute, y, en menor medida, del este, Academia de la Ertzaintza. De hecho, es probable que la canalización del río Errekabarri por debajo de la Academia, junto con la construcción allí mismo de una circunvalación para Vitoria-Gasteiz, hayan supuesto un cierto efecto barrera al flujo.

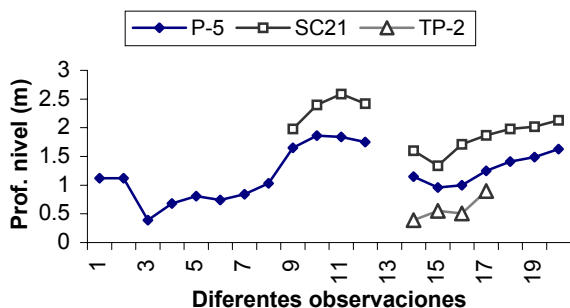


Fig.6. Evolución de niveles (profundidad) en el piezómetro P-5, pozo Arkaute (SC21) y piezómetro TP-2.

Si bien normalmente se han considerado las margas del sustrato como impermeables la perforación del piezómetro P-5 (Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, 2000), junto a la Balsa (Figs 4 y 5), refleja la presencia de zonas fracturadas que aportan agua, sin especificar caudal, al sondeo. De hecho, este sondeo atravesó 4 m de depósito cuaternario y continuó hasta los 12 m en margas. Los muestreos efectuados a diferentes profundidades (el pozo tiene tubería de PVC ranurada en el intervalo 1.5 – 12 m) evidencian una total homogenización de la columna de agua. Ante la falta de más datos queda en duda la importancia de los aportes procedentes de las margas, cuyos afloramientos cercanos también son objeto de cultivo.

El cierre de la salida del Canal de la Balsa ha supuesto un aumento de nivel en ese punto de 1.5 m, aproximadamente. En consecuencia, el gradiente hidráulico ha disminuido en toda el área vertiente, sobre todo en las áreas más próximas, y, por supuesto, también la velocidad de flujo. De hecho, es difícil observar flujo apreciable en las acequias del borde oriental de la Balsa. En la zona inundada las acequias han perdido su función transmisiva.

La Figura 6 relaciona la profundidad de los niveles observados, en los mismos momentos, en los piezómetros P-5 y TP-2, lado oriental de la Balsa, y en el Pozo Arkaute (SC21), en su cuenca vertiente. Se aprecia notable similitud en la evolución, buena relación entre las partes del acuífero vertientes a la Balsa, habiendo una diferencia de unos 0.5 m entre SC21 y P-5, con mayor cota piezométrica en aquél. Teniendo en cuenta las cotas piezométricas, con una cierta aproximación, resulta un gradiente del orden de  $2.5 \cdot 10^{-3}$  entre el pozo SC21 y la salida de la Balsa (Z-8) y menor, de  $5-7 \cdot 10^{-4}$ , entre el piezómetro P-5 y Z-8. En el trabajo previo a la recuperación del humedal (Grupo de Hidrogeología, 1995) los gradientes observados eran de  $2-3 \cdot 10^{-3}$  en la zona de la Balsa y mayores,  $6 \cdot 10^{-3}$ , en la zona de Arkaute. Es evidente la disminución ahora producida en los gradientes.

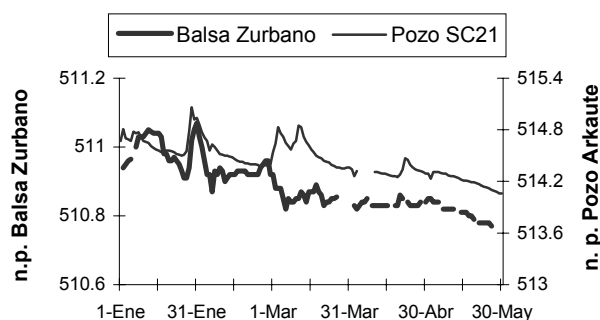


Fig.7. Evolución de niveles (cota) en el Pozo Arkaute SC21 y en la Balsa de Zurbano.

En la Figura 7, por su parte, se representa la evolución, a partir del 1 enero 2001, de los niveles registrados en el Pozo Arkaute (SC21) y en la Balsa de Zurbano medidos en la compuerta de salida (Z-8). La evolución no es idéntica debido a la regulación artificial del nivel de la Balsa para evitar la subida excesiva del nivel piezométrico en terrenos de cultivo próximos. Así, en momentos de bajada de nivel en el acuífero, posterior a unas lluvias, el nivel continúa subiendo en la Balsa por estar cerrada la compuerta (primeros de enero). Lo contrario ocurre a principios de marzo. En momentos de lluvias muy fuertes (finales de enero) la evolución es similar, si bien con una decrecida más rápida en la Balsa por estar abierta la compuerta. Al comienzo del estiaje, mes de mayo, la evolución es similar aunque los descensos en la Balsa son muy pequeños, unos 7 cm en el mes (33 cm en el SC21), por filtraciones cerca del punto de salida (compuerta cerrada) y evaporación.

La Balsa de Zurbano ha sido de forma natural una zona de descarga del acuífero cuaternario, hecho favorecido por su situación hidrológica (Figs. 1 y 4), próxima a la antigua

divisoria entre los arroyos Santo Tomas-Errekaleor (fluyentes hacia el este) y Errekabarri (fluyente hacia el norte), y por su situación geológica debido a la presencia de un umbral en el sustrato margoso (Fig. 5) correspondiente a la unión entre los afloramientos margosos observables al sureste y noroeste de la Balsa.

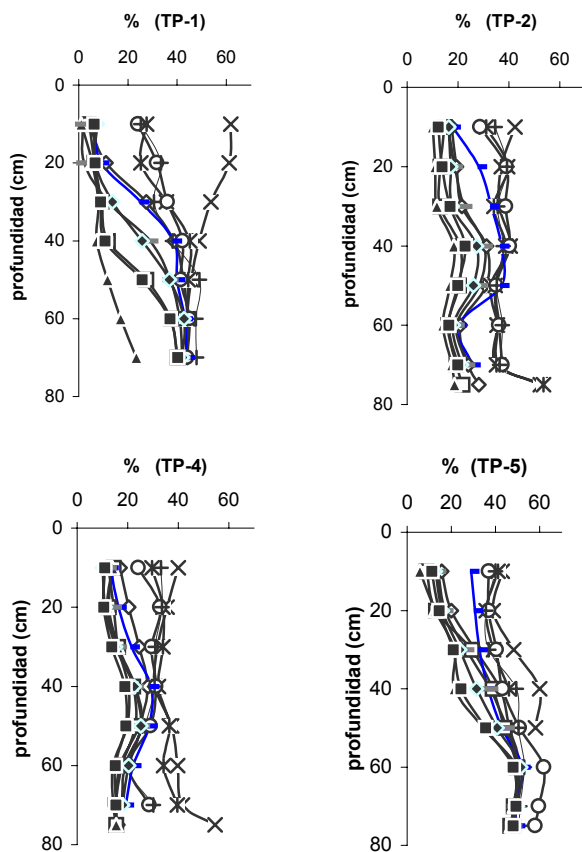


Fig.8. Perfiles de humedad volumétrica en 4 puntos (Balsa de Zurbano).

Esta situación de descarga subterránea se ha visto, además, favorecida por ser ésta la zona, sobre todo el área oriental del Canal de la Balsa, en la que, como se ha descrito con anterioridad, el espesor de los depósitos cuaternarios es menor, siendo también menor el espesor de la capa de arcillas superficial. Ello confiere al acuífero en esta zona un carácter semiconfinado, como se ha podido observar en las perforaciones manuales efectuadas, por ejemplo cerca de P-5 (Fig. 4), donde el nivel piezométrico es observable muchas horas después de realizar la perforación. En otros puntos, TP-2, es prácticamente libre. La textura de estos suelos se puede observar en la Tabla 1.

En la Figura 8 se recogen los perfiles de humedad en cuatro puntos muy próximos a la Balsa de Zurbano. Su ubicación es observable en la Figura 4. Los registros se han llevado a cabo mediante sonda Tube Probe (TDR) en diferentes situaciones entre junio 2000 y junio 2001. Los perfiles en TP-2 y TP-4 son bastante uniformes y similares, con humedades de 30-40 % en la época invernal y 15-20 % en la estival. Estos suelos presentan una textura franco

arenosa clara (TP2 en Tabla 1) por debajo de una capa arcillosa de unos 35 cm de espesor.

En TP-1 y TP-5, sin embargo, las variaciones de humedad son mayores, sobre todo en el primero, debido a la notable presencia de arcillas en superficie, dando valores de humedad entre 60 %, suelos encharcados, y menores a 5 %; en profundidad, sin embargo, con una notable componente limo arcillosa, la humedad es bastante constante en el tiempo, con valores en torno a 40-50 %. Teniendo en cuenta los gradientes dados y la fluctuación de nivel ( $\approx 1.5$  m) en el piezómetro P-5 (Fig. 4) el nivel en estos puntos alcanzaría prácticamente la superficie del terreno en ocasiones de aguas altas.

#### 4.- Funcionalidad biogeoquímica de la Balsa

En la salida de la Balsa (Z-8) las aguas han sido objeto de seguimiento químico, al igual que el resto de puntos, en torno a la Balsa, que se observan en la Figura 4. En realidad el control es mayor, ya que abarca a todo el Sector Oriental del acuífero cuaternario (Fig. 1), si bien en lo que ahora interesa se centra la discusión en la función de la Balsa.

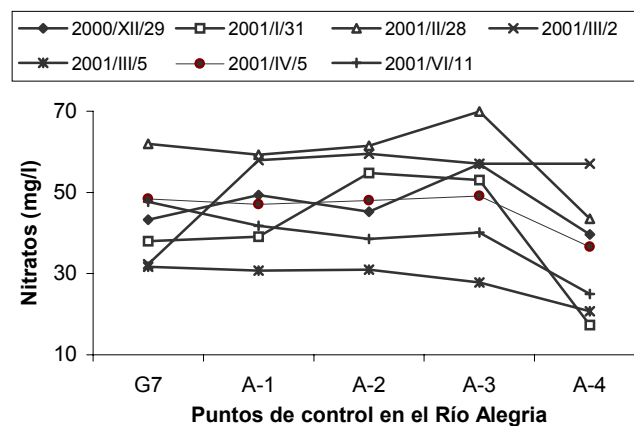


Fig. 9. Evolución de nitratos a lo largo del río Alegria.

La Figura 9 representa la evolución en nitratos (mg/l) a lo largo del río Alegria, desde Oreitia (G7) (Fig. 1) hasta A-4 (Fig. 4) inmediatamente después de la confluencia de ese río con la descarga de la Balsa y de los ríos Errekabarri y Santo Tomas-Errekaleor.

A la vista de esa figura se aprecia que, por un lado, la concentración en nitratos se mantiene, para cada campaña, bastante estable a lo largo del río Alegria, a pesar de que éste recibe aportes importantes de varios afluentes (Fig. 1), mientras que, por otro, la concentración suele disminuir entre A-3 y A-4. Es precisamente el tramo en el que vierten sus aguas el río Santo Tomas-Errekaleor, el río Errekabarri y la propia descarga de la Balsa de Zurbano (Fig. 4).

Con objeto de detallar las características químicas de las aguas fluyentes al Alegria en ese tramo se ha efectuado un análisis en componente principales (ACP) a partir de los datos analíticos de muestreos (73 análisis en total) llevados a cabo entre enero y junio de 2001 en los siguientes puntos



(Fig. 4): salida del río Santo Tomas-Errekaleor (Z-7), salida del Errekabarri (Z-5), desagüe del Canal de la Balsa (Z-8), acequias activas de entrada a la Balsa (Z-0, Z-1, Z-2), acequias casi no funcionales de entrada a la Balsa (Z-3, Z-4) y piezómetros P-5 y TP-2. Se incluyen dos muestras de aguas subterráneas tomadas en catas (AC16 y AC17).

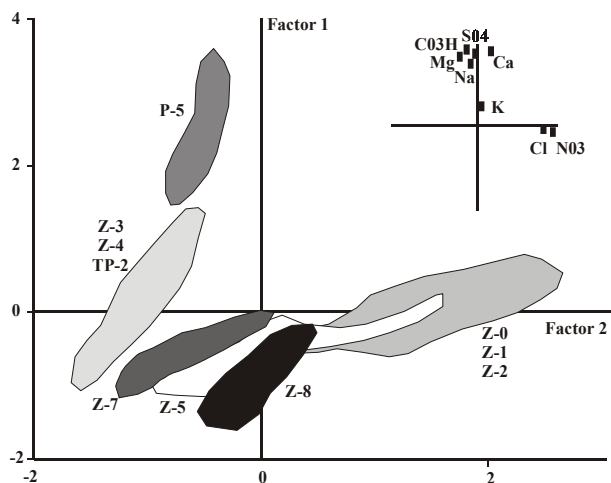


Fig. 10. Plano factorial I-II de muestras de agua en la Balsa de Zurbano.

La información más importante se recoge en el plano factorial I-II (Fig. 10), con el factor I (50.5 % de varianza) caracterizado por bicarbonatos, sulfatos, calcio, magnesio y sodio, y el II (20.1 %) por nitratos y cloruros. En lo que a nitratos se refiere es evidente la distribución: los valores más altos están en las aguas de las acequias, Z-0, Z-1, Z-2, de entrada a la Balsa (ya en la Figura 3 se ha mostrado la notable concentración en nitratos presente en las aguas subterráneas vertientes a la Balsa); en este grupo se incluye también el agua de AC17. Los valores más bajos se dan en las aguas subterráneas del lado oriental de la Balsa, Z-3, Z-4, TP-2 y P-5 (incluye AC16), estando en P-5 las aguas más mineralizadas. Las aguas del río Santo Tomas-Errekaleor, Z-7, y del Errekabarri, Z-5, presentan valores intermedios, al igual que las de descarga de la Balsa, Z-8.

## 5.- Resultados y discusión

Habida cuenta de que no hay entrada de agua de los ríos a la Balsa es evidente que en la Balsa y su entorno se produce pérdida de nitratos. Una información cuantitativa de los contenidos (meq/l) en algunos elementos y para las 10 campañas consideradas en el ACP aparece en la Figura 11. En la Figura 12 se recoge la evolución de elementos en Z-8 en relación al nivel del pozo SC21 y a la cota de la Balsa.

En esta figura se aprecia el papel regulador de la Balsa, ya que su salida (Z-8) presenta una menor variabilidad en los contenidos que el resto de los puntos considerados. La disminución más importante en los contenidos de casi todos los elementos en todos los puntos de muestreo ocurre en las campañas 3 (31 enero), 5 (2 marzo) y 6 (5 marzo), que

coinciden con periodos de fuertes lluvias y niveles altos. En la Figura 12 se aprecia que la dilución en Z-8 está más condicionada por la subida del nivel piezométrico en el acuífero que por la regulación del nivel en la Balsa.

A partir de las concentraciones medias en las aguas de entrada a la Balsa, acequias y aportes subterráneos, del sur y del este, y en las aguas de descarga de la misma, y utilizando el cloruro como elemento *a priori* conservativo resulta que del orden del 85% de las salidas proceden del sur (Arkaute, Fig. 4) viniendo el resto del área oriental de la Balsa, más apartada, y con menor gradiente, del flujo principal en el acuífero. Ese aporte es de casi 100% con niveles muy altos. Esto confirma la procedencia principal del flujo hacia la Balsa, desde la zona de Arkaute.

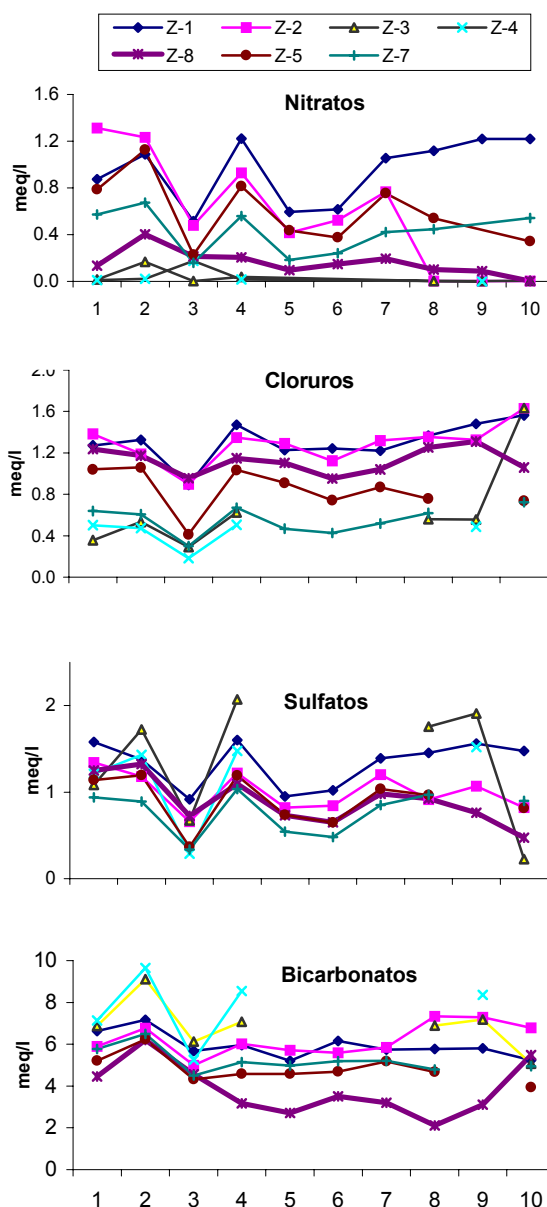


Fig. 11. Evolución de los aniones en diferentes campañas desde enero (muestreo 1) a junio 2001 (muestreo 10) en los puntos de control.

Acorde con esos porcentajes referenciales resulta que en la Balsa y entorno se da una pérdida en nitratos (entre 0.4 y 1 meq/l), sulfatos (0.2-1.6 meq/l), calcio y bicarbonatos (1-3.5 meq/l) y magnesio (0.05-0.09 meq/l), dándose la mayor pérdida con niveles bajos, y una cierta ganancia en potasio (0.03 meq/l). Desgraciadamente no se cuenta con el registro de caudales descargados desde la Balsa, lo que impide, por ahora, un tratamiento más ajustado de los balances.

Los puntos de la red de control más próximos a la Balsa son los que se ubican en su área oriental: P-5, TP-2, Z-3 y Z-4 (Fig. 4), donde el flujo es más lento. Aquí se puede intentar identificar los procesos de pérdida de nitratos, si bien no se cuenta todavía con todos los datos necesarios a tal fin.

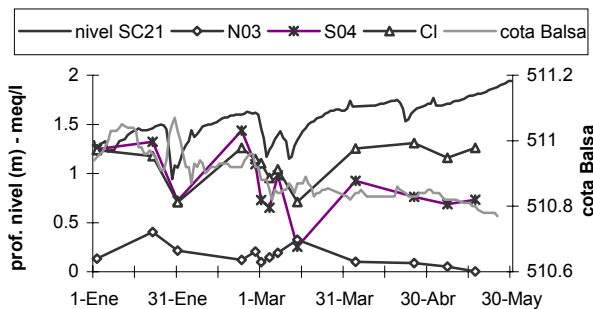


Fig. 12. Evolución de la profundidad del nivel en el pozo SC21, de la cota de la Balsa y de parámetros (meq/l) a su salida (Z-8) en el 2001.

En estos puntos la concentración de las aguas en nitratos es inferior a 3 mg/l (nitritos y amonio por debajo del límite de detección) y el oxígeno disuelto inferior a 0.5 mg/l, estando altos, sobre todo en P-5, los bicarbonatos (420-600 mg/l), sulfatos (hasta 300 mg/l) y el COD (> 3 mg/l). Los escasos datos disponibles previos (Grupo de Hidrogeología, 1995; Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, 2000) confirman estas observaciones.

Esto unido a la existencia de un régimen de flujo semiconfinado condicionado por el paquete arcilloso en superficie (Tabla 1, Fig. 5), al menos en el entorno de P-5, la permanente humedad del suelo (Fig. 8), al ser zona de descarga y de fluctuación somera del nivel piezométrico, y la presencia de abundante materia orgánica (Tabla 1) hacen que esta área sea propicia para la desnitrificación, si bien la notable presencia de sulfatos en las aguas hace pensar que se está en las primeras fases de la secuencia de reacciones biogeoquímicas (McMahon, 2001).

En cualquier caso, en el detalle la importancia de los procesos de disminución de nitratos debe ser distinta según las zonas, como lo indica el diferente quimismo de las aguas reflejado en el plano factorial de la Figura 10. El régimen de flujo existente, sea libre (TP-2, Z-3, Z-4) o sea semiconfinado (P-5), debe influir de forma notable en esos procesos. Un mayor registro de datos de perfil del suelo, y de la calidad de las aguas subterráneas asociadas, en más puntos del entorno de la Balsa permitirá ir aclarando los aspectos dudosos.

## 6.- Conclusiones.

La reciente recuperación de la zona húmeda conocida como Balsa de Zurbano, en íntima relación con el acuífero cuaternario de Vitoria-Gasteiz, ha permitido evidenciar su funcionalidad biogeoquímica. Las aguas descargadas desde la Balsa muestran una notable pérdida de nitratos en comparación con los contenidos observados en las aguas de entrada, procedentes, sobre todo, del propio acuífero. Este hecho, ayuda en momentos puntuales a la mejora de la calidad de las aguas del río Alegria, al cual vierte la Balsa.

Aunque con los datos disponibles no es posible detallar las reacciones en juego, es evidente que hay condiciones propicias para la pérdida de nitratos (¿volatilización?): muy bajos gradientes hidráulicos, por el cierre de la principal acequia de drenaje y consiguiente elevación del nivel en el acuífero; humedad permanente en los suelos, por ser una zona de descarga y con fluctuación somera del nivel; presencia local de flujo semiconfinado; abundancia de materia orgánica (fueron suelos cultivados hasta el 1999). Un seguimiento más exhaustivo del quimismo de las aguas en las cercanías de la Balsa servirá para disipar las dudas actualmente existentes sobre el destino del nitrógeno.

De todas formas, la importante variación espacial, en distancias cortas, de estos condicionantes hace que los procesos de pérdida de nitratos puedan ser intensamente variables de un punto a otro. Así, en los lugares más favorables, como el entorno de P-5, se registran valores muy bajos del oxígeno disuelto y relativamente altos de COD. A pesar de esta variación, el resultado final es una mejora de la calidad del agua a la salida de la Balsa, cumpliendo ésta una importante función de depuración natural en un acuífero con contenidos elevados en nitratos.

*Agradecimientos.* Esta investigación forma parte del Proyecto HID99-0333 (CICYT) relativo a la vulnerabilidad de diferentes medios acuíferos. Los autores agradecen a Iñaki Arrate (Ente Vasco de la Energía), al Centro IKT de la Granja Modelo de Arkaute, al Centro de Estudios Ambientales del Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz y a Andrés Alonso (Medio Ambiente de este Ayuntamiento) la información suministrada.

## 7.- Referencias.

- Arrate, I., 1994. Estudio hidrogeológico del acuífero cuaternario de Vitoria-Gasteiz (Araba, País Vasco). *Tesis Doctoral*. Univ. País Vasco.
- Arrate, I., J.M. Sánchez-Pérez, I. Antigüedad, M.A. Vallecillo, V. Iribar y M. Ruiz, 1994. Groundwater pollution in quaternary aquifer of Vitoria-Gasteiz (Basque Country, Spain). *Envir. Geology*, 30: 257-265.
- Auntamiento de Vitoria-Gasteiz, 2000. Diseño y explotación de una red de vigilancia y control de las aguas subterráneas en el municipio de Vitoria-Gasteiz. Inguru Consultores, S. A.
- Grupo de Hidrogeología, 1995. Estudio hidrogeológico del Sector de Salburua (Vitoria-Gasteiz). Univ. País Vasco. Informe para el Ayto de Vitoria-Gasteiz. 100 pp.
- McMahon, P.B., 2001. Acuífero/aquitard interfaces: mixing zones that enhance biogeochemical reactions. *Hydrog. Journal*, 9: 34-43.
- Sánchez-Pérez, J.M., I. Antigüedad, I. Arrate, M. Ruiz e I. Morell, 1995. Influencia del lavado de nitratos del suelo sobre la contaminación de las aguas subterráneas del acuífero cuaternario de Vitoria-Gasteiz (País Vasco). En: J.M. Gonzalo e I. Antigüedad (eds.). *Avances en la Investigación en Zona No Saturada*. pp. 71-85. Gobierno Vasco.