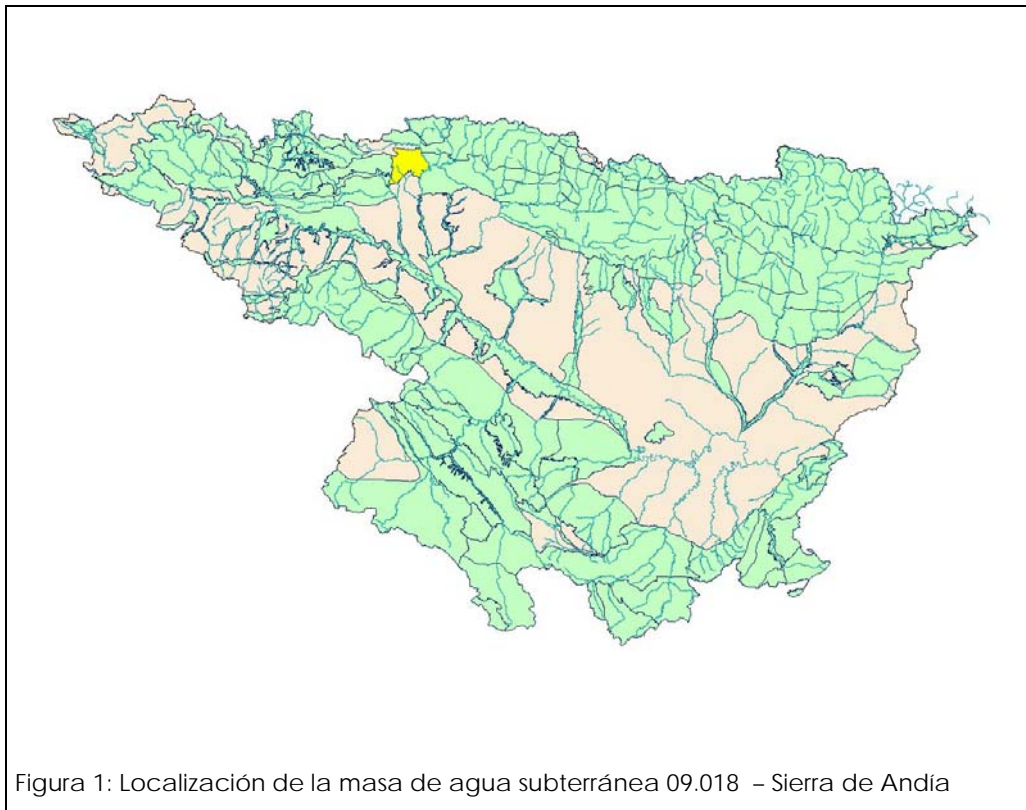

Sierra de Andía
(018)

ÍNDICE

1.- LOCALIZACIÓN Y LÍMITES	1
2.- CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS	1
3.- ACUÍFEROS	3
4.- PARÁMETROS HIDRODINÁMICOS	4
5.- PIEZOMETRÍA Y DIRECCIONES DE FLUJO	6
6.- ÁREAS DE RECARGA Y DESCARGA	7
7.- HIDROQUÍMICA	7
8.- DIAGNOSIS DEL ESTADO	8

1. - LOCALIZACIÓN Y LÍMITES

La masa de agua subterránea comprende la Sierra de Andía y sus estribaciones. Con una extensión de 300 km² se localiza íntegramente dentro de la Comunidad Autónoma de Navarra. Se encuentra limitada por la Sierra de Urbasa al oeste y el cauce de los ríos Araquil y Arga al oeste.



Los límites estructurales de la masa de agua vienen marcados por la base de la serie calcárea del Maastrichtiense al norte, los ríos Araquil y Arga hasta alcanzar las facies arcillosas del terciario continental al este, la falla de Lizárraga al oeste, que separa esta masa de la sierra de Urbasa y finalmente al sur, se encuentra limitado por el contacto terciario marino con el terciario continental, incluyendo las facies conglomeráticas continentales de borde.

2. - CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

La masa de agua de la Sierra de Andía está constituida por una potente serie carbonatada del Paleoceno-Eoceno medio de espesor variable compuesta por calizas y calcarenitas.

Su estructura es relativamente sencilla, se caracteriza por la existencia de suaves pliegues, abiertos, paralelos, de dirección E-O, afectados por dos familias de fallas una de desgarre, con dirección NNE-SSO que forma el cortejo de fallas de Lizárraga y otra de fallas normales,

con una orientación NE-SO que corta a la anterior y hace descender de forma escalonada la Sierra de Andía hasta la depresión estellesa donde queda recubierta por los depósitos detríticos del terciario continental. Estas fallas llevan asociadas varias familias de diaclasas que juegan un papel primordial en la evolución de las calizas.

Otro rasgo estructural importante son los diapiros de las Salinas de Oro, Arteta y Anotz, que se localizan en los límites occidentales de la Sierra de Andía y se encuentran alineados según la dirección NE-SO. Coinciden con un cambio notorio de las características tectónicas y estratigráficas de la zona y sugieren la presencia de un accidente tectónico profundo a escala regional, la denominada falla de Estella. Este diapirismo lleva consigo la presencia de varios sistemas de fallas concéntricas y radiales que cortan los sedimentos terciarios, eocenos y paleocenos que atraviesan. Su núcleo está constituido por materiales plásticos de Keuper, margarcillas y evaporitas que incluyen cuerpos dolomíticos y rocas intrusivas (ofitas), rodeados por la cobertera terciaria que aparece muy verticalizada como consecuencia de la intrusión salina.

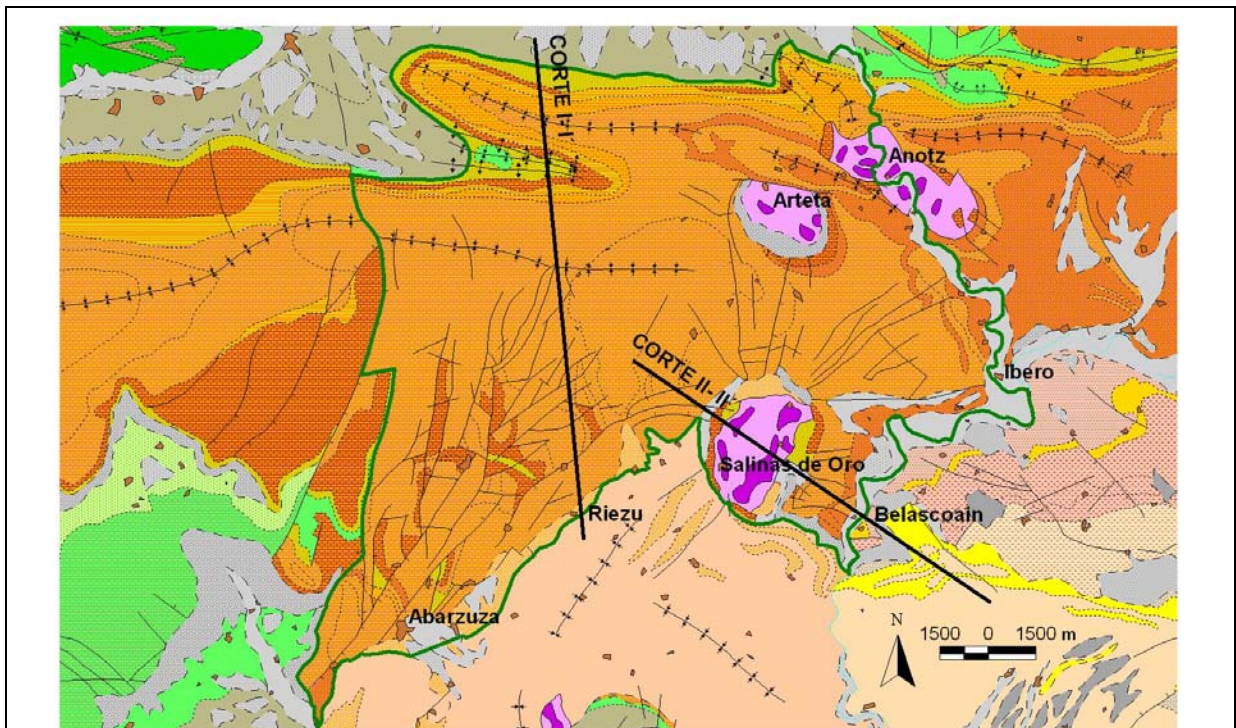


Figura 2: Mapa geológico de la masa de agua subterránea de la Sierra de Andía

Morfológicamente la Sierra de Andía forma una meseta aplanada cuyo borde septentrional presenta unos desniveles de 700 m hacia el valle del río Araquil. Los bordes sur y este descienden progresivamente hacia los llanos de Estella y la cuenca de Pamplona.

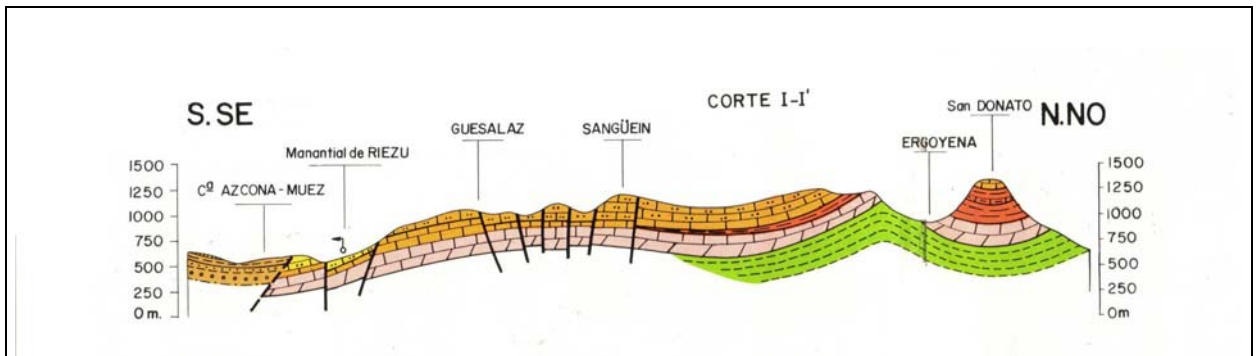


Figura 3: Corte geológico I-I', masa de agua subterránea de la Sierra de Andía (Las Aguas Subterráneas de Navarra, 1982).

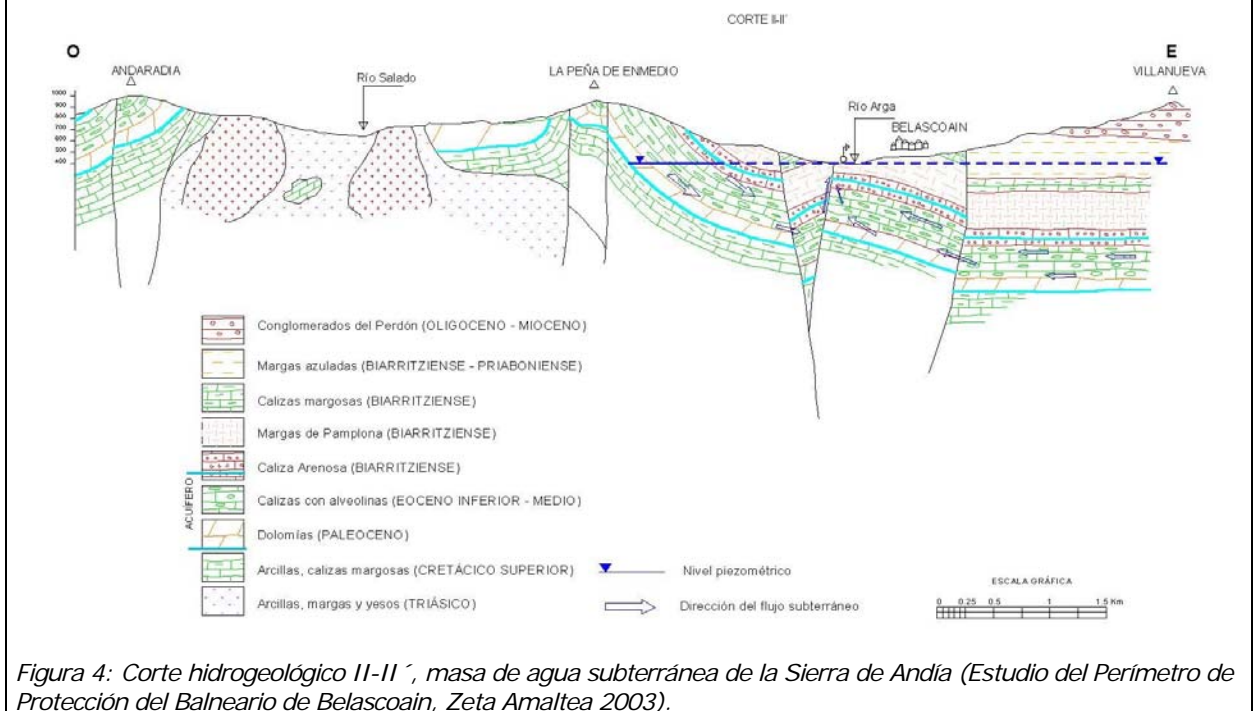


Figura 4: Corte hidrogeológico II-II', masa de agua subterránea de la Sierra de Andía (Estudio del Perímetro de Protección del Bañeario de Belascoain, Zeta Amaltea 2003).

3. - ACUÍFEROS

El acuífero principal de carácter carbonatado, está constituido por calizas y dolomías del Paleoceno, calizas, margocalizas y margas del Eoceno inferior y calizas, margas y calcarenitas del Eoceno medio con espesores muy variables de entre 300 y 800 m cuyo límite inferior viene definido por las margas del Cretácico superior de baja permeabilidad. Hacia el sur y suroeste, en la masa de agua contigua, el acuífero carbonatado se confina a gran profundidad bajo materiales del Eoceno terminal de baja permeabilidad.

Por lo general las calizas y calcarenitas del Eoceno medio son localmente permeables y se acuñan hasta desaparecer al sur de Arteta. Son niveles muy compactos salvo ciertas zonas intensamente fracturadas. Por otro lado, las calizas y dolomías del Paleoceno inferior corresponden a los niveles más permeables, aparecen muy fracturadas con oquedades, que se incrementan por debajo del nivel freático medio.

La complejidad tectónica de pliegues y fallas, ha condicionado la formación de tres importantes acuíferos, con funcionamiento hidrológico independiente y con ello varios acuíferos aislados de menor entidad. Los acuíferos principales son el de Arteta de carácter libre y los de Riezu e Ibero-Echauri con niveles de carácter libre y otros de carácter confinado.

Otros acuíferos de menor entidad son el de Abárzuza situado en las estribaciones de la Sierra de Andía, consistente en dos acuíferos, uno superficial libre y otro inferior confinado, el de Anoz de carácter libre, y finalmente los acuíferos de San Donato, Irazzu y Osquía.

Nivel	Litología
Paleoceno-Eoceno	Dolomías, calizas, calcarenitas
Terciario continental	Conglomerados
Muschelkalk	Dolomías
Cuaternario aluvial	Aluviales, terrazas y abanicos aluviales
Cuaternario coluvial	Coluviones

Otros niveles permeables incluyen los materiales del Muschelkalk que aparecen como pequeños retazos dispersos en los diapiros, sin entidad hidrográfica significativa.

4. - PARÁMETROS HIDRODINÁMICOS

Los distintos sondeos llevados a cabo por el Gobierno de Navarra muestran una fuerte anisotropía como consecuencia de los procesos de carstificación del acuífero que dificulta la determinación de unos parámetros hidrodinámicos representativos.

Acuífero	Transmisividad (m ² /d)	Coefficiente de almacenamiento
Arteta	5-2000	$9,48 \times 10^{-3}$
Riezu (libre)	2000-3000	5×10^{-3}
Riezu (confinado)	-	$10^{-5} - 10^{-6}$
Ibero-Echauri	150	-
Arbazusa	20	-
Anoz	5	-

En el acuífero de Arteta, cuya permeabilidad responde al grado de fracturación y carstificación de los materiales carbonatados, se observa como la permeabilidad aumenta desde la zona de cabecera hacia la zona de descarga. En el manantial de Arteta los valores máximos se alcanzan en las inmediaciones del diapiro, correspondientes a las áreas de mayor

inflexión de las capas. A su vez, los materiales que quedan por debajo de la cota de emergencia del manantial presentan un alto grado de carstificación.

Así los ensayos de bombeo realizados en la parte del Barranco de Arteta próxima el manantial, arrojan unos valores de transmisividad muy altos, de 7.000 m²/día. Esta transmisividad se hace mayor a medida que se aumenta el caudal de bombeo.

El acuífero de Riezu, al igual que el de Arteta, presenta una marcada anisotropía. La permeabilidad del acuífero es debida a la fracturación y a los procesos de carstificación. En los ensayos de bombeo realizados por Gobierno de Navarra en el sector del acuífero libre se han obtenido transmisividades comprendidas entre 2000 y 3000 m²/día y coeficientes de almacenamiento del orden de 5 x 10⁻³. En las áreas que presentan un carácter de acuífero confinado, se han obtenido unos valores de coeficiente de almacenamiento menores que oscilan entre 10⁻⁵ y 10⁻⁶.

El acuífero libre muestra una clara reducción de la permeabilidad con la profundidad, con transmisividades más bajas en tiempos de bombeo largos y donde la magnitud de almacenamiento disminuye drásticamente por debajo de la cota de drenaje. La cota del manantial de Riezu marca las directrices del drenaje mediante conductos a escala milimétrica que confieren al sistema una gran capacidad en aguas altas. Esta zona es asimilable a un acuífero de doble porosidad en la zona de convergencia del flujo en las proximidades al manantial, aumentando su carácter cárstico hacia las zonas más distales. El acuífero confinado, a diferencia del acuífero libre, no presenta conductos cársticos de gran magnitud, al igual que no varía la permeabilidad con la profundidad.

Microrégimen	Porosidad eficaz	
	Arteta	Riezu
1º	0,12	2,4
2º	1	0,72
3º	1,6	4,6
4º	4,5	1,7

El acuífero de Ibero-Echauri, presenta un terreno en el que dominan los tramos compactos salvo en las zonas de falla que se encuentra relativamente carstificado. Los ensayos de bombeo realizados muestran valores de transmisividad de entre 143 y 155 m²/día. La porosidad eficaz, evaluada a partir de las curvas de agotamiento de los manantiales y su relación con el volumen de roca vaciado, oscila entre 4,6 % y 0,72% en función del régimen de descarga que depende a su vez, del nivel de llenado del acuífero.

5. - PIEZOMETRÍA Y DIRECCIONES DE FLUJO

En líneas generales las direcciones de flujo responden a los procesos de carstificación y fracturación, con flujos preferentes de circulación relacionados con los grandes manantiales que dan origen a la red de drenaje superficial. Así el sector oriental drena hacia el manantial de Arteta y hacia el río Arga mediante los manantiales de Ibero-Echauri-Belascoain y el sector occidental hacia el manantial de Riezu.

En el acuífero de Arteta, en los periodos de aguas altas, las mayores cotas se sitúan por encima de los 550 m poniéndose en funcionamiento las surgencias situadas por encima de la cota del manantial. Las direcciones de flujo subterráneo preferentes se pueden considerar subhorizontales, convergentes hacia el punto de descarga, con variaciones considerables según esté el acuífero en aguas altas o aguas bajas. En aguas altas la circulación es bastante homogénea, con un gradiente uniforme hacia el manantial y una dirección de flujo preferencial SO. En aguas bajas aparece una distorsión en los niveles piezométricos con una disminución del gradiente hidráulico, donde la disposición estructural de las directrices geológicas de la zona condicionan la circulación. Los gradientes varían como consecuencia de la heterogeneidad del acuífero, aumentando en el entorno del manantial y disminuyendo hacia las zonas más alejadas del mismo.

El funcionamiento del acuífero es asimilable a un acuífero de doble porosidad en el que se solapan dos sistemas de permeabilidad distinta, unos bloques de reducida permeabilidad por microfisuración que se drenan mediante conductos preferenciales de alta permeabilidad y otro donde su funcionamiento responde a un carácter estrictamente cárstico con un sistema de drenaje rápido por vías preferenciales.

El acuífero de Riezu presenta oscilaciones piezométricas muy variables de las áreas de confinamiento a las áreas de carácter libre. Así el acuífero confinado presenta oscilaciones del orden de 2,5 m mientras que la zona de acuífero libre, puede llegar a superar los 9,5 m. También se diferencia el tipo de agotamiento, en el acuífero libre son el reflejo del nivel de descarga regional representado por el nacedero, mientras que el acuífero confinado presentan un punto de inflexión en la cota de drenaje a partir del cual se acelera el agotamiento como consecuencia del descenso de la permeabilidad. Los gradientes observados son del orden de 2×10^{-3} para las épocas de estiaje mientras que en las épocas de aguas altas este valor aumenta considerablemente (hasta 7 u 8 veces los valores de aguas baja).

Las direcciones principales de flujo, en las zonas próximas al manantial de Riezu, son convergentes hacia el mismo. En las áreas más alejadas, de carácter más cárstico, la circulación está condicionada por las directrices estructurales, especialmente durante el periodo de estiaje. Los reconocimientos geofísicos realizados por la zona próxima al manantial de Riezu determinaron que el flujo subterráneo se ve afectado por el labio sur de la falla principal (Iturgoyen) que actúa como una barrera de baja permeabilidad.

Por otro lado, el acuífero de Ibero-Echauri drena en las inmediaciones del Arga a cotas entre 385 y 387 m.s.n.m., sus gradientes en estiaje son del orden de 0,35 %, aumentando en épocas de aguas altas hacia las zonas de descarga (manantial de Uberba).

Las cotas de desagüe y los gradientes son los siguientes:

Manantial	Cota (m.s.n.m.)	Gradiente de estiaje
Arteta	530	0,25 %
Riezu	510	0,40 %
Ibero	385	0,35 %
Echauri	387	0,35 %
Arbazusa		0,8 %

6. - ÁREAS DE RECARGA Y DESCARGA

La recarga se realiza básicamente por infiltración de agua de lluvia sobre los afloramientos permeables y las descargas se realizan hacia los manantiales de Arteta, Riezu, Ibero y Echauri y por flujo subterráneo hacia el río Araquil y el Arga.

El manantial de Arteta, originado en el contacto entre las calizas y las margas de Cretácico superior, presenta variaciones importantes en el régimen de caudales de carácter estacional, llegando a superar los 30 m³/s en periodos invernales y caudales de 0,4 m³/s en periodos de estiaje. El caudal medio anual es de 3,25 m³/año. En aguas altas se ponen en funcionamiento pequeños manantiales por encima de la cota del manantial que pueden llegar a dar caudales con cierta envergadura (2 m³/s en conjunto). Se estima un coeficiente de infiltración medio anual del 75 %, con variaciones estacionales de 50 % para los meses de agosto y de 90% para los meses de febrero a abril.

El manantial de Riezu presenta un caudal medio de 2,25 m³/s con unos picos de 30 m³/s y caudales mínimos inferiores a 0,1 m³/s. Aguas abajo del manantial, se produce un flujo ascendente a través de una falla de dirección ENE-OSO, que genera importantes descargas de tipo difuso sobre el cauce del río Ubagua y suponen en las épocas de estiaje el aporte principal al caudal base del río (2250 l/s).

Los manantiales de Ibero y Echauri presentan ambos un caudal medio de 250 l/s, nacen a través de la falla de Echauri, junto al diapiro de Salinas de Oro y constituyen el drenaje regional del acuífero confinado de Ibero-Echauri.

7. - HIDROQUIMICA

Se reconocen dentro de la masa de agua tres tipos diferentes de facies químicas. Las primeras corresponden a aguas bicarbonatadas cálcicas de dureza media y mineralización ligera que varían poco en el tiempo y están presentes en los acuíferos de Arteta y Riezu. El segundo grupo corresponde a las aguas termominerales del acuífero confinado de Ibero-

Echauri que han estado en contacto con los diapiros o se han mezclado con aguas más salinizadas. Son aguas bicarbonatadas-cloruradas sódico-cálcicas duras o extremadamente duras y de mineralización de fuerte a muy fuerte. Finalmente, el tercer grupo corresponde a las aguas procedentes de los manantiales de los propios diapiros. Son aguas cloruradas sódicas extremadamente duras y muy mineralizadas.

Las aguas del nacedero de Arteta muestran una composición muy regular de tipo bicarbonatado cálcico con mineralización ligera y dureza media. Los valores de conductividad eléctrica varían entre 220 y 440 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con registros algo mayores en las campañas de aguas bajas (efecto de dilución por aporte de agua de las lluvias).

Los únicos parámetro que alcanza valores anómalos son la turbidez y las concentraciones de nitratos que alcanzan sus valores máximos con los aumentos bruscos de caudal. Los análisis bacteriológicos también muestran contenidos en coliformes y estreptococos procedentes de la contaminación fecal debida a la intensa carga ganadera de la Sierra de Andía. La distribución temporal es muy irregular, no obstante, alcanza sus máximos coincidiendo con las puntas de caudal y son atribuidos al arrastre y lavado de agentes contaminantes por efectos de las lluvias intensas en los acuíferos cársticos de circulación rápida cuando la escorrentía superficial lo hace mucho más susceptible a este tipo de contaminación.

Las aguas del manantial de Riezu también muestran una composición muy regular de tipo bicarbonatada cálcica con mineralización ligera y dureza media. Los valores de conductividad eléctrica varían entre 300 y 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con registros algo menores en aguas bajas. Únicamente se registra de forma puntual trazas de amoníaco con un valor máximo de 0,45 mg/l.

Al igual que las aguas del acuífero de Arteta, también presentan contaminación por coliformes y estreptococos de origen fecal. Estas concentraciones aparecen prácticamente en todas las surgencias importantes de la zona. Los análisis realizados en las aguas superficiales, más vulnerables, presentan elevados contenidos en fenoles, hidrocarburos disueltos y puntualmente amonio. Este tipo de contaminación también se encuentra estrechamente relacionada con los periodos de aguas altas.

8. - DIAGNOSIS DEL ESTADO

La masa de agua subterránea se ubica sobre una superficie poco poblada, limitada a los valles de los ríos Araquil, Inaroz y Iranzu y donde las principales actividades que pueden constituir una fuente de contaminación corresponden al sector agropecuario, fundamentalmente la ganadería de tipo extensiva, que ha dado lugar en algunos manantiales a contaminación de tipo biológico. Las áreas de cultivo representan el 22 % del total de la superficie y el sector industrial a penas tiene representatividad en la zona.

Por otra parte, se tiene constancia de que merced a la multitud de sumideros y dolinas de la parte alta de la sierra, se han realizado vertidos no controlados de basuras.

A tenor de las bajas afecciones de la Sierra de Andía, esta masa de agua subterránea no se encuentra en riesgo de no alcanzar los objetivos establecidos por la Directiva.