

Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

**"ESTUDIO DE LAS POSIBILIDADES DE  
UTILIZACION DE FORMACIONES GEOLOGICAS  
PROFUNDAS PARA LA ELIMINACION DE  
RESIDUOS INDUSTRIALES Y URBANOS. 2ª  
FASE. AREAS COSTERAS DE ASTURIAS Y  
ZONAS INDUSTRIALES DE ZARAGOZA Y  
TARRAGONA. 1990-1991".**

---

**PROVINCIA DE ASTURIAS**



MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

36149

## I N D I C E

	<u>Pág.</u>
1.- INTRODUCCION.....	1
2.- SINTESIS GEOLOGICA REGIONAL.....	5
2.1.- Estratigrafía.....	8
2.2.- Tectónica.....	19
2.3.- Hidrogeología.....	22
3.- DEFINICION DE AREAS DE APLICABILIDAD.....	25
4.- BANDA LITORAL DE LA CUENCA MESOTERCIARIA.....	29
4.1.- Síntesis hidrogeológica.....	30
4.2.- Niveles potencialmente utilizables.....	33
4.3.- Tectónica.....	40
4.4.- Modelo de inyección.....	43
5.- ACUIFEROS COSTEROS DE LA ZONA ORIENTAL.....	45
5.1.- Síntesis hidrogeológica.....	46
5.2.- Niveles potencialmente utilizables.....	49
5.3.- Tectónica local.....	50
6.- GESTION DE LAS AGUAS RESIDUALES EN ASTURIAS.....	53
6.1.- Los vertidos en la actualidad.....	56
6.2.- Plan de Saneamiento del Principado de Asturias.....	62
7.- SOLUCIONES APORTADAS POR LA INYECCION PROFUNDA.....	64
7.1.- Eliminación de las aguas residuales del entorno de la Ría de Villaviciosa.....	66
7.2.- Eliminación de las aguas residuales del núcleo Colunga-La Isla-Caravia.....	74

	<u>Pág.</u>
7.3.- Eliminación de aguas residuales en Ribadesella.....	77
7.4.- La ISP como alternativa a los emisarios submarinos.....	81
8.- RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	85

**1.- INTRODUCCION**

Este estudio de evaluación de posibilidades de inyección mediante sondeos profundos en la provincia de Asturias, forma parte del programa desarrollado por el Instituto Tecnológico GeoMinero de España, de caracterización de zonas potencialmente utilizables para la eliminación de residuos líquidos mediante inyección en formaciones permeables, dentro del territorio peninsular español.

El Principado de Asturias cuenta con importantes núcleos de desarrollo urbano e industrial a lo largo de toda la franja costera cantábrica, especialmente en la área central y en la mitad oriental. En ellas existen zonas de gran sensibilidad ecológica y centros que tienen en el turismo estival un importante recurso económico, con frecuencia amenazado por la degradación de la calidad del agua marina en las zonas de playa. En la actualidad ya está en marcha el Plan de Saneamiento elaborado por el Principado de Asturias, para la gestión de los vertidos y la adaptación progresiva a los requerimientos medioambientales de la Comunidad Europea.

Se ha pensado que la inyección en formaciones permeables mediante sondeos profundos podría ofrecer una alternativa para la eliminación segura de importantes cantidades de aguas residuales en la zona. Los objetivos podrían incluir gran diversidad de efluentes de carácter industrial, pero ha de enfatizarse la importancia que este método puede tener en la eliminación de aguas residuales de origen urbano y de efluentes unificados con origen doméstico, industrial y de tormenta.

A menudo, en el Principado de Asturias, pequeños municipios costeros se convierten en centros de acogida de turismo veraniego masivo que desborda su infraestructura. La descarga directa al mar en zonas próximas al núcleo de población, suele ser la forma habitual de eliminación de aguas negras. Los caudales vertidos se multiplican durante los meses de verano debido al súbito aumento de población. Con frecuencia se supera la capacidad local de dispersión del mar, comprometiéndose las condiciones sanitarias mínimas para el baño. Como solución a este problema, las directrices del Plan de Saneamiento actual contemplan la construcción de emisarios submarinos para la eliminación de aguas previamente tratadas; opción claramente desfavorable en los aspectos económico y medioambiental frente a la inyección profunda, en aquellas zonas que cuentan con un subsuelo propicio.

La inyección mediante sondeos profundos (ISP) es una metodología ampliamente experimentada, que ha sido adoptada por estados altamente sensibilizados con mantener la más rigurosa protección medioambiental y una oferta turística de alta calidad (caso de Florida).

La geología del Principado, formada principalmente por materiales antiguos modelados por una compleja tectónica, no ofrece niveles que permitan el planteamiento de modelos de inyección aplicables en toda la región. La cuenca Meso-Terciaria, con una tectónica más tranquila, aporta un entorno geológico con continuidad lateral importante en la franja costera Gijón-Ribadesella. Fuera de este área, se propone la investigación de emplazamientos bien definidos en zonas previamente seleccionadas del litoral oriental. Bajo este punto de vista, la inyección mediante sondeos profundos no ofrece en Asturias una alternativa regional, pero sí podría proporcionar una solución idónea en determinados casos particulares.

En este informe se revisa detalladamente la geología de las zonas a priori favorables y se plantean soluciones alternativas a los emisarios en tres puntos concretos (Ría de Villaviciosa, Ribadesella y núcleo Colunga-La Isla-Caravia), dentro del marco del Plan de Saneamiento del Principado de Asturias.

El presente estudio ha sido realizado por la empresa Tecnología y Recursos de la Tierra, bajo la supervisión del Instituto Tecnológico GeoMinero de España, participando en él los siguientes técnicos:

Gerardo Ramos González. Ingeniero de Minas. Director de Proyecto. ITGE.

José Sánchez Guzmán. Ingeniero de Minas. Responsable de Ejecución. TRT.

Rafael Martínez Alvarez-Amandi. Ingeniero de Minas. TRT.

Fernando Pendás Fernández. Ingeniero de Minas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Oviedo.

M<sup>a</sup>. Concepción Casado Sulé. E.T.S.I.M.O.

M<sup>a</sup>. José Getán Isabela. E.T.S.I.M.O.

**2.- SINTESIS GEOLOGICA REGIONAL**

La Península Ibérica tiene por núcleo el segmento occidental de la Cordillera Hercínica europea, al que se han incorporado los materiales precámbricos. El bloque hercínico aflora ampliamente en la parte occidental peninsular formando el Macizo Ibérico. En la parte oriental queda prácticamente oculto por la cobertera mesozoico-terciaria, cuyo espesor, composición y deformación son variables.

El Macizo Ibérico se divide en cinco zonas correspondientes a unidades paleogeográficas dispuestas paralelamente a la dirección de las estructuras hercínicas: Cantábrica, Asturoccidental-Leonesa, Ibérica Central, Ossa Morena y Sur-Portuguesa (Lotze, 1945; Julivert et al., 1972). El Principado de Asturias, situado en la vertiente norte del sector occidental de la Cordillera Cantábrica, comprende parte de la zona Asturoccidental-Leonesa y de la Zona Cantábrica.

La zona Asturoccidental-Leonesa, está limitada por dos pliegues antiformes (anticlinales) en cuyo núcleo aflora el Precámbrico; al este el Antiforme del Narcea y al oeste el de Ollo de Sapo. Se producen también afloramientos precámbricos en el núcleo del pliegue tumbado de Mondoñedo. El Paleozoico Inferior (Cámbrico a Silúrico) está por lo general bien representado, mientras que el Paleozoico Superior (Devónico a Pérmico) aparece incompleto y en afloramientos aislados. Los procesos metamórficos y plutónicos, que juegan un importante papel, aumentan su intensidad de este a oeste.

La zona Cantábrica, unidad externa de la Cordillera

Hercínica, está constituida por una serie de unidades estructurales menores adosadas que forman el Arco Astúrico. El límite occidental lo constituye el Anticlinorio del Narcea, a lo largo del cual aparece el Precámbrico. El Paleozoico Inferior es incompleto y de menor potencia que en la zona adyacente; el Devónico está bien representado; el Carbonífero, muy bien desarrollado, alcanza espesores de varios miles de metros, mientras que el Pérmico, generalmente mal caracterizado, aflora en la zona centrooriental. Hacia el N y hacia el E, el Paleozoico queda prácticamente cubierto por la cobertera mesozoico-terciaria, y al S por el Terciario de la Cuenca del Duero.

El esquema geológico-estructural de la Zona Cantábrica, es el resultado de la sobreimposición de distintas estructuras, en las que destacan escamas y mantos que vergen hacia la parte cóncava del Arco Astúrico. Las estructuras principales de cabalgamientos, sirvieron de base para diferenciar varias subzonas de Oeste a Este (Julivert, 1971). Son: Región de Pliegues y Mantos, que incluye las unidades de cabalgamiento de Somiedo-Correcilla y Sobia-Bodón; Cuenca Carbonífera Central, sinclinorio constituido por materiales carboníferos, excepto en su parte oriental; Región de Mantos, que incluye el Manto del Ponga y adyacentes; Región de Picos de Europa, formada casi exclusivamente por sedimentos carbonatados de Carbonífero, y Región de Pisuerga-Carrión, con predominio de materiales devónicos y carboníferos en facies diferentes a las del resto de la Zona Cantábrica. De las cinco unidades citadas, la última apenas está representada dentro de los límites administrativos del Principado de Asturias.

Sobre el basamento paleozoico se distribuyen de forma dispersa los sedimentos mesozoico-terciarios constituyendo las unidades del Surco Oviedo-Cangas de Onís, Franja Móvil Intermedia y Cuenca de Gijón-Villaviciosa.

## 2.1.- ESTRATIGRAFIA

### Precámbrico:

Aflora a lo largo del anticlinorio del Narcea. En Cudillero está formado por pizarras, areniscas y porfiroides intercalados. En la Espina, donde la penillanura arrasa materiales desde el Precámbrico al Ordovícico, aparece una sucesión monótona de pizarras y areniscas pizarrosas de tonos verdes: Pizarras del Narcea (Lotza, 1956). La edad precámbrica de estos materiales, se justifica por estar discordantes bajo los materiales areniscos de la Formación Herrería, que contiene faunas del Cámbrico inferior. En el flanco oriental del anticlinorio del Narcea la discordancia es clara, mientras que en el occidental no es visible.

### Cámbrico:

En Asturias, el Cámbrico aparece bien representado en ambos dominios Asturoccidental-Leonés y Cantábrico. Las variaciones de facies han originado denominaciones distintas para las formaciones de una y otra zona, (figura 1a).

La formación basal, Arenisca de Herrería o Arenisca de Candana, presenta facies similares en ambas zonas. Está constituida por areniscas, cuarcitas y pizarras con niveles conglomeráticos e intercalaciones dolomíticas locales. La datación del Cámbrico Inferior ha sido establecida en base a trilobites encontrados en la parte alta de la formación. El límite Cámbrico-Precámbrico se fija convencionalmente en la discordancia basal.

Sobre la unidad anterior aparece una serie carbonatada

Edad (millones años)		Z. Cantábrica	Z. Asturoccid.-Leonesa
ORDOVICICO 505 m.a.	Inf.	Cuarcita Barrios	«Serie de los Cabos»
	Sup.	Pizarras Oville	
CAMBRICO 590 m.a.	Med.	Caliza Láncara	Caliza de Vegadeo
	Inf.	Arenisca Herrería	Arenisca de Candana
PRECAMBRICO	Sup.	Pizarras del Narcea	

FIGURA 1a.- Serie tipo Precámbrico a Ordovícico de Asturias.

DEVONICO 408 m.a.	Inf.	Gediniense	Unidades
SILURICO 438 m.a.		Ludlow	«Areniscas de Furada»
		Wenlock	«Pizarras de Formigoso»
		Llandovery	
ORDOVICICO 505 m.a.	Sup.	Ashgillense	«Serie Vulcano-detritica»
		Caradoc	
	Med.	Llandeilo	«Pizarras de Luarca»
		Llanvirn	
		Arenig	
Inf.	Tremadoc	«Cuarcita de Barrios»	

FIGURA 1b.- Ordovícico y Silúrico de la región del Cabo de Peñas.

CARBONIFERO 360 m.a.	INF.	Viseense	Fm. Genicera (cal. Griotte)
		Tourniensiense	Cal. Candamo/Piz. Vegam.
DEVONICO 374 m.a.	SUPERIOR	Fameniense	«Areniscas del Devónico superior»
		Frasniense	«Caliza de Candás»
	MEDIO	Givetense	«Areniscas del Naranco»
		Eifeliense	«Caliza de Moniello»
	INTERIOR	Emsiense	«Complejo de Itateces» Caliza de Arnzo Caliza Ferroñes Dolom. Bañugues Caliza de Nieva
		Siegeniense	
Gediniense			
408 m.a. SILURICO	SUP.	Ludlow	«Areniscas de Furada»

FIGURA 1c.- Serie tipo del Devónico de Asturias.

denominada Caliza de Vegadeo en la Zona Asturoccidental-Leonesa, y Caliza de Láncara en la Zona Cantábrica. Ambas formaciones pertenecen a episodios tardíos del Cámbrico Inferior y Medio.

En la Zona Cantábrica, sobre la caliza nodulosa roja (Griotte) del techo de la formación Láncara, se desarrolla en tránsito gradual, una unidad terrígena conocida como las Pizarras de Oville, de edad Cámbrico Medio y Superior. En la Zona Asturoccidental-Leonesa, sobre la Caliza de Vegadeo descansa una potente formación detrítica, la Serie de los Cabos, que equivale a las Formaciones Oville y Barrios.

### Ordovícico:

En casi toda la Zona Cantábrica, el Ordovícico se reduce a una potente sucesión de cuarcitas blancas con intercalaciones pizarrosas y microconglomeráticas denominadas Cuarcitas de Barrios. (C. Aramburu, 1984)

Excepcionalmente, existe una serie ordovícica completa en los cabos de Peñas y Vidrias (figura 1b). Sobre la Cuarcita de Barrios aparece una sucesión pizarrosa con intercalaciones cuarcíticas, niveles volcánicos, oolitos ferruginosos y carbonatos, que recibe el nombre de Pizarras de Luarca. Su edad Llanvirniense-Llandeiloniense permite correlacionarla con las Pizarras del Suevo. Sobre ella se desarrolla el denominado Complejo Vulcano-Detrítico, que comprende el Ordovícico Superior y la base del Silúrico.

En la zona Asturoccidental-Leonesa, el Ordovícico es más completo. La serie recuerda a la del Cabo de Peñas y está constituida por tres unidades: Serie de los Cabos, Pizarras de Luarca y Formación Agüeira, sobre la que aparecen pizarras del Silúrico.

La serie más completa y representativa de Ordovícico en Asturias aflora en el Cabo de Peñas. En la zona oriental, los afloramientos de La Franca, Mirador de la Reina y Los Beyos, muestran la influencia de la cuarcita ordovícica en el relieve. En la zona occidental, son puntos representativos La Espina, Luarca y Agüeira. En el Ordovícico aparecen los principales yacimientos de caolín, asociados a cuarcitas.

### **Silúrico:**

El Silúrico está representado en Asturias por una unidad litoestratigráfica inferior, constituida por las pizarras negras de Formigoso y otra superior, con predominio de areniscas ferruginosas, Areniscas de Furada.

Por debajo de las Pizarras de Formigoso, se define una laguna estratigráfica de intensidad variable que comprende la base del Silúrico y, en la mayor parte de Asturias, todo el Ordovícico hasta la Cuarcita de Barrios. El techo de la Arenisca de Furada es ya de edad Givetiense, lo que implica la existencia del límite Silúrico-Devónico en la parte superior de esta unidad.

El Silúrico aparece relacionado con el Ordovícico y Devónico Inferior y aflora en la parte occidental de Asturias. Es de destacar la sección del Cabo de Peñas (figura 1b), donde aparece en continuidad entre el Ordovícico y el Devónico y presenta un nivel con mineral de hierro, explotado en Llumeres. En la Espina, antes de subir a la penillanura, se corta el Silúrico en las cercanías de Salas.

### **Devónico:**

Por extensión de afloramientos, variedad de facies y

abundante contenido paleontológico, el Devónico asturiano es el sistema mejor representado de la Zona Cantábrica (figura 1c).

Sobre la Arenisca de Furada, a cuyo techo está la base del Devónico, aparece el Complejo de Rañeces. Está constituido por calcoesquistos y calizas (Calizas de Nieva), lutitas y dolomías (Dolomías de Bañugues), calizas y pizarras (Ferroñes) y calizas y margas rojas (Calizas de Arnao). Le sigue la unidad Caliza de Moniello, integrada por calizas arrecifales y margas. Sobre ella aparecen materiales fundamentalmente detríticos que constituyen la unidad Areniscas del Naranco (areniscas, limolitas y pizarras), que representan el resto del Devónico medio. La serie se completa con un banco de calizas arrecifales (Caliza de Candás) y con depósitos de materiales detríticos (areniscas, cuarcitas y pizarras) denominados Areniscas del Devónico Superior.

### Carbonífero:

Es el sistema más representativo de Asturias, no sólo por la gran extensión de afloramientos, potencia y variedad de facies, sino también por las implicaciones económicas y sociales que ha tenido el carbón en el desarrollo regional. Dada la variedad de dominios sedimentarios (facies), es muy difícil establecer una única sucesión válida para toda la Zona Cantábrica. Las unidades litoestratigráficas carboníferas presentes en la Zona Cantábrica, son las siguientes:

El tránsito Devónico-Carbonífero y el Carbonífero Inferior, vienen caracterizados por depósitos carbonatados y terrígenos condensados en pequeños espesores. Por encima de las Areniscas del Devónico Superior, aflorantes en la mitad occidental, aparecen calizas blancas bioclásticas de Candamo o Formación Baleas (Pello, 1968). Sobre ella, en parte como

equivalente lateral, afloran, en la mitad oriental de la Zona Cantábrica, unas pizarras negras con nódulos de fosfato, chert y manganeso, denominadas Pizarras de Vegamián. Sobre cualquiera de las dos unidades anteriores, existe un nivel constante y característico de calizas nodulosas rojas conocidas como Calizas Griotte o Fm. Genicera, muy apreciada como material ornamental y de construcción.

El Namuriense está representado fundamentalmente por facies carbonatadas de plataforma marina, Caliza de Montaña, en la que se pueden distinguir dos unidades: (1) una inferior, Fm. Barcaliente, de calizas oscuras y fétidas y (2) la Fm. Valdeteja, con calizas claras y abundantes restos fósiles. Localmente y en los bordes de la Zona Cantábrica, la Caliza de Montaña es sustituida parcial o totalmente por facies terrígenas de carácter lutítico restringido (Fm. Ricacabiello), o de carácter turbidítico (Olleros, San Pedro de Antromero). La Caliza de Montaña proporciona el abrupto modelado topográfico característico asturiano, como el de la Sierra del Aramo, Picos de Europa y numerosos desfiladeros.

Sobre la Caliza de Montaña descansa una potente sucesión de materiales diversos: pizarras, areniscas, conglomerados, calizas y capas de carbón, de edad Westfaliense. En la Cuenca Carbonífera Central afloran con el máximo espesor. En ella se han considerado clásicamente dos unidades: la inferior o Grupo Lena, con abundantes calizas y pocas capas de carbón explotables, y otra superior, Grupo Sama, con abundancia de capas de carbón explotables. A nivel local la Cuenca Carbonífera Central se divide en sectores (Aller-Nalón, Riosa-Olloniego...), dentro de los cuales se separa la serie estratigráfica en paquetes o tramos mineros que incluyen determinadas capas de carbón explotable.

En la región de Picos de Europa, durante todo el

Westfaliense, continúa la sedimentación carbonatada hasta el Estefaniense. El resto del Carbonífero, Westfaliense terminal y Estefaniense, es posterior a la etapa principal del plegamiento Hercínico (fase Astúrica). Sus afloramientos se disponen discordantes sobre los materiales anteriores, tanto en la Zona Asturoccidental-leonesa como sobre el anticlinorio del Narcea y Zona Cantábrica. En la zona Asturoccidental-Leonesa aparecen conglomerados, areniscas y pizarras con carbón, discordantes sobre el Paleozoico inferior (Dominio del Navia y Alto Sil). En el anticlinorio del Narcea, los materiales estefanienses están discordantes sobre el Precámbrico (Tineo, Cangas de Narcea, Rengos). En la Zona Cantábrica, aparecen pequeñas cuencas estefanienses discordantes sobre el Devónico en Ferroñes y Arnao, y algunos retazos de afloramientos entre Olloniego y Sama de Langreo.

#### Permotriás:

La convergencia de facies y la escasez de restos faunísticos característicos hace difícil la separación entre el Pérmico y Triásico en Asturias. Los mejores afloramientos se localizan en la zona de Viñón-Villaviciosa, donde discordantes sobre el Carbonífero aparecen conglomerados, areniscas, limolitas y lutitas con niveles de calizas y tobas volcánicas intercalados. El máximo desarrollo se encuentra hacia la región oriental (Beleño y Picos de Europa), donde es posible la diferenciación. Arnao y Xivares son los dos puntos de afloramiento más occidentales del Permotriás. Con frecuencia, el Permotriás está asociado a importantes yacimientos de fluorita.

#### Jurásico:

Aflora en la región centro y septentrional de Asturias,

diferenciándose los siguientes dominios: Cuenca Gijón-Villaviciosa y Franja Móvil Intermedia. Los materiales jurásicos de la zona Gijón-Villaviciosa, tienen su límite occidental a la altura de Cabo Torres y se extienden hasta Ribadesella. Por el sur llegan hasta Sariego y se prolongan en forma de banda estrecha hasta la costa, limitados por los relieves del Suevo y Fito. Los afloramientos de la Franja Móvil Intermedia se sitúan en una delgada franja de dirección NO-SE, con mayor anchura en la zona de Avilés.

### Cretácico:

Los afloramientos de edad cretácica aparecen en zonas bien diferenciadas geológicamente. En el área costera, desde el Cabo Peñas hasta Cantabria, en afloramientos dispersos. En la zona central asturiana, con mayor extensión y continuidad de afloramientos, en forma de banda alargada ocupando la Depresión Mesozoico-Terciaria que se extiende entre Oviedo y Cangas de Onís. Ambas están separadas por una franja de gran complejidad tectónica, muy fracturada, sobre todo en la intersección con la Falla de Ventaniella, que atraviesa Asturias desde el Cabo Peñas hacia el SE.

La distinta evolución geológica de las dos zonas desde el Permotrias, se refleja en la edad de las sucesiones sedimentarias cretácicas. Los afloramientos de la costa (San Pedro de Antromero) presentan sucesiones de edad pre-Cenomanense, concretamente Barremiense-Aptiense, constituidas por arenas y fangos en la base y, calizas y margas con abundantes fósiles hacia el techo. En la Depresión Central son de edad post-Albense, con conglomerados, arcillas, areniscas, margas y calizas.

El límite inferior del Cretácico es neto. Consiste en una discordancia angular en su contacto con el Paleozoico, o en

una discordancia erosiva cuando se sitúa sobre el Permotriás o Jurásico. Sólo en algún punto del borde occidental de la cuenca cretácica (Llanera-Serín), el límite se hace difuso al aparecer sobre materiales jurásicos de facies similares. El techo de la serie cretácica está cortado por una disconformidad erosiva, más o menos suave, o una discordancia angular, bajo los sedimentos terciarios del Surco o Depresión Central de Oviedo.

### **Terciario:**

Los principales afloramientos se sitúan en la Depresión Mesozoico-Terciaria y corresponden a depósitos continentales, constituidos por conglomerados, areniscas, arcillas verdes y ocre y calizas blancas, amarillas y grises. Los fósiles, muy escasos, corresponden a restos de vertebrados, gasterópodos, ostrácodos y otras especies minoritarias de edad Eoceno-Oligoceno.

Cabe citar algunas paqueñas cuencas terciarias en disposición discordante sobre el Precámbrico del Antiforme del Narcea (entre Salas y Cangas del Narcea). En la zona oriental, existe una depresión sinclinal con eje E-O y núcleo en Colombres, en la que la base del Terciario se encuentra aparentemente concordante sobre materiales cretácicos.

### **Cuaternario:**

Existe una amplia representación de depósitos cuaternarios originados a partir de la diversidad geológica y posterior evolución, bajo la acción de muy diversos tipos de modelados. Los depósitos más característicos, aunque de importancia y desarrollo muy desigual, son los ligados a la dinámica fluvial, los de origen glacial y periglacial, los de

EDADES		UNIDADES	LITOLOGIA	FACIES	
CUATERNARIO		a	Arcillas y arenas sueltas de tonos claros.	Continental	
TERCIARIO		Terciario indiferenciado Cgl. Pasada	T: Alternancia de arcillas rojo-amarillentas y arenas compactas. Algunos niveles de caliza margosa. En la base con desarrollo local: conglomerado calcáreo.	Continental y Marina	
CRETACICO	SUPERIOR	Cc Ccm	Cc: Calizas margosas, arenas y areniscas.	Marina litoral	
	ALBENSE	Cap Ccp	Cap: Alternancia de arenas blanco-amarillentas y arcillas rojizas, localmente conglomeradas silíceas poco compactas.	Continental (Utrillas)	
	APTENSE		Ccp: Calizas con orbitolinas, arcillas y areniscas. Conglomerado bien compactado silíceo, areniscas y arcillas.	Marina	
	INFERIOR	Cgl Crl Lastres	Crl: Arenas amarillentas. C <sup>a</sup> : Cretácico indiferenciado / superior / inferior.	Continental (Weald)	
JURASICO	MALM	Jsc Sta Cecilia Jt Tazonas	Jsc: Areniscas y arcillas con caliza de algas. Jt: Calizas margosas y margas negras muy fosilíferas. Jf: Conglomerado cuarzos compactado con cambio lateral a arenas y areniscas.	Continental a Transicional (Purbeck)	
	LIAS	Las típico La	La: Arcillas compactas pardo-amarillentas con fauna (Ammonites)	Marina litoral	
		Lias margosa Lm	Lm: Calizas margosas y margas gris-oscuro con fauna.	Marina nerítica	
	Lias caliza Lc	Lc: Calizas grises con tramos dolomíticos y niveles arcillosos en el techo. En la base carníolas y calizas muy dolomíticas.	Marina litoral		
TRIAS	KEUPER BUNTSANOSTERN	rk Keuper Musch? Trías Indiferenciado Buntsand. rb	rk: Arcillas y areniscas rojas con niveles yesíferos. rm: Conglomerado de canto calcáreo compacto y rojizo. rb: Areniscas y arcillas rojas alternando con niveles de conglomerados cuarzosos.	Evaporítica a Continental	
CARBONIFERO PERMICO		P Pérmico	P: Arcillas y areniscas rojas. Rocas de origen volcánico. Nivel calcáreo: caliza gris fina sin fauna. Conglomerado calcáreo en la base.	Continental a Transicional	
CARBONIFERO	WESTFALIENSE	Productivo pizarroso H3 Entrecalzas Improductivo	H3: Alternancia de areniscas y pizarras arcillosas con intercalación de niveles carbonosos en el productivo. Importantes niveles calcáreos en el tramo Entrecalzas.	Marina a Continental (parfida)	
	NAMURIENSE	H2 Caliza de montaña	H2: Caliza gris compacta masiva.		
	VISEENSE	H1 dz. griotte	H1: Caliza rojiza y pizarras rojas con marcada estratificación.		
DEVONICO		D Devónico	Alternancia de calizas grises, areniscas y cuarcitas rojas, pizarras gris oscuro con fauna.		
SILURICO		S Silúrico	Cuarcita gris-blanquecina, compacta.		
		HISPANOIL PLANIFICACION	País ESPAÑA Zona CUENCA ASTURIANA Cuenca	Revisado E. G. S. Dibujado J. ALCORTA Comprobado	Fecha MAYO 1976 Escala --- Año ---

FIGURA 2.- Síntesis litológica de la Cuenca Asturiana. (HISPANOIL, 1974).

rías, playas y rasas marinas, y los de origen eólico y kárstico.

Los materiales aluviales de lechos y terrazas fluviales son gravas con proporciones menores de arena y fango. Su importancia depende de la superficie de la red de drenaje, forma y densidad de canales, pendiente, distancia a cabecera, etc. Los depósitos fluviales más característicos se sitúan en las cuencas de los ríos principales (Nalón, Narcea, Sella, Canero, Cares y Caudal).

Los depósitos glaciares están formados por materiales de tamaños muy variados y aparecen por encima de una determinada altura. Los más destacados y estudiados se sitúan en la zona de Picos de Europa. Especialmente significativos son las morrenas de Camarmeña, las próximas a los lagos de Enol y Ercina, las de Sames de Amieva, etc.

Los depósitos sobre rasas están constituídos por gravas de cantos rodados y arenas, en su mayor parte de origen marino. Se sitúan sobre toda la franja costera asturiana cubriendo superficies planas a diferentes niveles, correspondiendo las más elevadas probablemente a edad terciaria.

Al pie de los acantilados, se disponen acumulaciones de grandes bloques y cantos de composición afín con la de las rocas que forman los relieves costeros. Los depósitos de playa están constituídos fundamentalmente por arenas y gravas finas de composición muy desigual, dependiente del material sobre el que se desarrollan. Los depósitos eólicos se localizan en la zona supramareal de playas abiertas, especialmente en aquellas sometidas a la acción de los fuertes vientos del NO. Caben destacar los complejos de dunas eólicas de Verdicio, Xagó y Salinas.

Los sedimentos característicos de rías y estuarios son

mezcla de fangos oscuros ricos en materia orgánica y arenas, predominando los primeros aguas arriba y las arenas en la desembocadura. Los estuarios más importantes son los de Ribadesella, Villaviciosa y Eo.

Las acumulaciones de origen kárstico son frecuentes en la zona central y oriental de Asturias, donde predominan los macizos carbonatados. Llanes, Ribadesella, Cabrales, Peñamellera y zona de Picos de Europa, proporcionan buenos ejemplos de cavidades kársticas con rellenos.

### Rocas ígneas

Los afloramientos de rocas ígneas son escasos y se localizan preferentemente en la zona occidental. En los alrededores de Pola de Allande afloran ortoneises derivados de rocas básicas o intermedias. En Linares existe un stock granítico, granitos calcoalcalinos y granodioritas, y en las inmediaciones de Salas hay tres pequeños stocks de rocas intrusivas (Corretgé, 1969). Los afloramientos más importantes son los de Boal (granitos calcoalcalinos y porfídicos) y Salave, constituido por granodioritas (Farber y Jaritz, 1964). El emplazamiento de estos plutones se produjo a finales del Carbonífero, en las etapas terminales de la orogenia hercínica.

## **2.2.- TECTONICA**

El conjunto de sedimentos acumulados en la Cuenca Cantábrica, desde el Precámbrico al Carbonífero, se deformó, plegó y convirtió la cordillera durante la orogenia hercínica. El resultado fue la formación de un complejo sistema de pliegues, cabalgamientos y mantos con vergencia hacia el interior de Arco

Astúrico, combinados con pliegues, desgarros radiales e importantes fracturas. Esta superposición de estructuras determinó la fragmentación de la zona Cantábrica en varias unidades (figura 3).

La etapa de deformación tectónica principal tuvo lugar durante el Carbonífero Superior, alcanzando su mayor intensidad (fase Astúrica) en el límite Westfaliense-Estefaniense, hace unos 290 m.a. Durante el Westfaliense Medio y Superior se produjo el emplazamiento de los mantos de corrimiento, al que siguió una etapa de deformación generadora de pliegues longitudinales y transversales. El Arco Astúrico quedó entonces prácticamente configurado.

La etapa postorogénica (Estefaniense y Pérmico) se caracteriza por la erosión parcial de los relieves creados anteriormente, de la que derivan importantes aportes terrígenos (conglomerados, areniscas, arcillas) que se acumulan en cuencas intramontañosas aisladas, ligadas a sistemas de fracturas tardihercínicas. Estas fracturas, algunas de gran importancia como las fallas de León y Villablino, funcionaron en sentido vertical durante la sedimentación estefaniense y en sentido lateral, con desgarres, posteriormente.

Otra fase de fracturación posterior (finales del Estefaniense y Pérmico) tiene gran importancia en el ámbito asturiano, durante la que se formaron fallas de desgarre distensivas. La de mayor entidad es la Falla Cantábrica o Falla de Ventaniella, que se extiende en dirección NO-SE desde Palencia hasta la ría de Avilés, y continúa bajo el mar hasta el borde de la plataforma cantábrica. Esta red de fracturas fisiorogénicas (fallas de Ventaniella, Candás, Arriondas, etc.), constituyen los últimos componentes estructurales de la tectónica hercínica y tienen gran importancia por su reactivación durante los procesos orogénicos posteriores (ciclo alpino).

MAR CANTABRICO

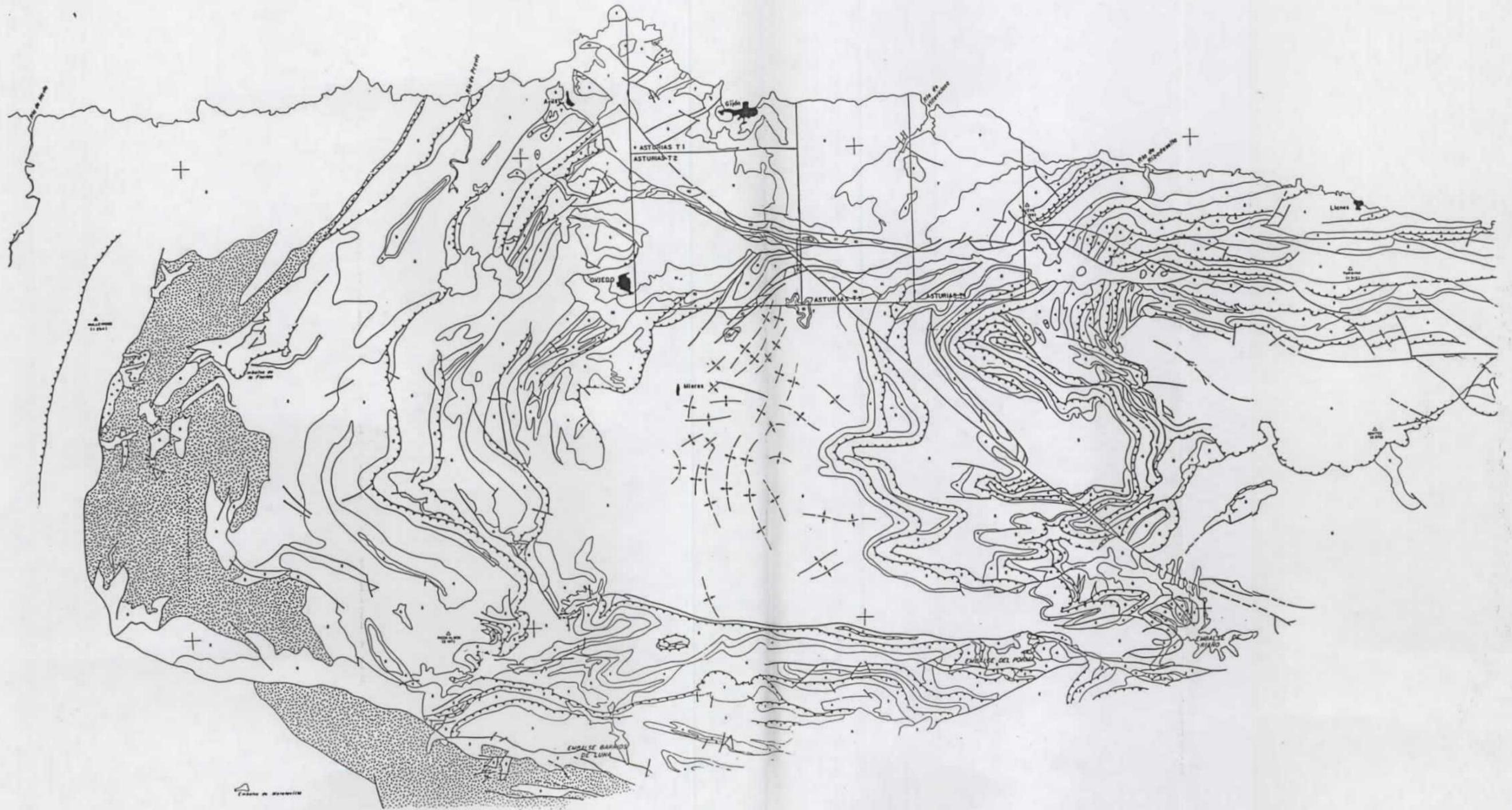


FIGURA 3.- Síntesis estructural de la zona centro-oriental asturiana y norte de la provincia de León.

A finales del Paleozoico, hace 230 m.a., la Zona Cantábrica formaba parte de la cordillera hercínica europea recientemente levantada y en vías de erosión. Asturias constituía una región deprimida (sobre todo en sus zonas central y oriental), invadida parcialmente por el mar y en la que se depositaron los sedimentos mesozoicos.

Durante los 165 m.a. correspondientes al Mesozoico, la actividad tectónica se caracteriza por una larga etapa de carácter distensivo. Es frecuente la formación de sistemas de fracturas, algunas de las cuales son reactivación de otras anteriores finihercínicas. A finales del Cretácico Inferior, aproximadamente hace 100 m.a., tiene lugar a nivel global la apertura del Océano Atlántico, y a nivel regional la del Mar Cantábrico. Como consecuencia, la Península Ibérica queda prácticamente desgajada de Europa y la Zona Cantábrica hercínica limitada al N por una línea de costa y definitivamente aislada de la cordillera hercínica europea (Bretaña, Ardenas, etc.).

Una de las etapas de mayor actividad tectónica de la orogenia alpina (fase pirenaica) se sitúa en el Oligoceno, hace 32 m.a. En ella, la Cordillera Cantábrica se levantó como un gran bloque, limitado al N por la línea de costa actual y al S por la cuenca terciaria del Duero. La estructura y morfología actuales corresponden a la removilización del zócalo hercínico y a la respuesta de la cobertera mesozoico-terciaria.

### **2.3.- HIDROGEOLOGIA**

Con carácter general, en Asturias se han definido cinco sistemas acuíferos ligados a unidades geológicas de características estratigráficas y estructurales distintas. Brevemente, son los siguientes (figura 4):

**Unidad Mesozoica Gijón-Villaviciosa o Sistema Acuífero núm. 1**

Constituido por materiales jurásicos comprendidos entre la Franja Móvil Intermedia y el Mar Cantábrico, y entre la Falla de Ventaniella y Ribadesella. Consta de dos acuíferos: (1) Jurásico detrítico (Kimmeridgense), de poca importancia, formado por conglomerados, margas y areniscas, y (2) Jurásico calcáreo (Hettangiense-Sinemuriense), formado por una serie calcáreo-dolomítica.

Se extiende en zonas con importantes núcleos urbanos e industriales, proporcionando unos recursos estimados de aguas subterráneas de 72 hm<sup>3</sup>/año y unas reservas de 870 hm<sup>3</sup>.

**Unidad Mesoterciaria de Oviedo-Cangas de Onís  
o Sistema Acuífero núm. 2**

Está integrada por sedimentos cretácicos y terciarios aflorantes en la Depresión Central de Asturias. Consta de dos acuíferos conectados entre sí: (1) acuíferos detríticos de niveles arenosos con intercalaciones de arcillas y limos, y (2) acuíferos calcáreos con alternancias arenosas.

En su zona occidental existen importantes núcleos de población y numerosas pequeñas industrias. Los recursos estimados son del orden de los 53 hm<sup>3</sup>/año (subsistema 2A sólo) y las reservas totales se calculan en unos 2050 hm<sup>3</sup>.

**Caliza de Montaña Cántabro-Astur o Sistema Acuífero núm. 3**

Bajo la denominación de Caliza de Montaña se agrupan dos grandes unidades genéticas carbonatadas de edad Carbonífero Superior, que constituyen un extraordinario almacén acuífero

tanto por su extensión como por su potencia. Frecuentemente está estructurado en pliegues agudos con flancos verticalizados y núcleos fallados que evolucionan a escamas. Se han estimado unos recursos de aguas subterráneas de 1150 - 1300 hm<sup>3</sup>/año y unas reservas de 1050 a 1150 hm<sup>3</sup>.

**Acuíferos calcáreos y dolomíticos precarboníferos**  
**o Sistema Acuífero AA**

Son los materiales calcáreo-dolomíticos del Cámbrico-Devónico aflorantes en la zona centro-occidental de Asturias, entre el Anticlinorio del Narcea y la Cuenca Carbonífera Central. El sistema comprende cuatro acuíferos: (1) Calizas y dolomías de Láncara, (2) Complejo Rañeces, (3) Caliza de Moniello y (4) Caliza de Candás. En total, los recursos de agua subterránea estimados son de 36 - 77 hm<sup>3</sup>/año, contándose con unas reservas de 335 - 1147 hm<sup>3</sup>.

**Franja Móvil Intermedia o Sistema Acuífero AB.**

Formado por superposición de escamas de materiales cretácicos, jurásicos y triásicos, en una zona de fallas y cabalgamientos que separa los Sistemas 1 y 2. Así mismo, dentro de él se han diferenciado los acuíferos denominados Jurásico detrítico, Jurásico calcáreo y Cretácico calcáreo-detrítico. Su compleja morfología hace que permanezca prácticamente inexplorado, con unos recursos estimados de 14 hm<sup>3</sup>/año.

**3.- DEFINICION DE AREAS DE APLICABILIDAD**

Las características geológicas del Principado de Asturias no permiten establecer áreas de viabilidad de carácter regional. Tan sólo la Cuenca Meso-Terciaria ofrece niveles estratigráficos con continuidad notable, no interrumpidos por frecuentes accidentes tectónicos. Fuera de este área, el planteamiento de una posible operación de inyección debe hacerse con carácter marcadamente local. Aunque existen sistemas hidrogeológicos de extensión regional, la compleja tectónica de la mayoría de las zonas provoca un fraccionamiento a escala local que compromete los requerimientos de la inyección a nivel general.

Los criterios aplicados para la delimitación de áreas favorables emanan de los requerimientos geológicos de una operación de inyección satisfactoria. Sintéticamente, pueden enunciarse del siguiente modo:

- Presencia de un nivel receptor con características hidráulicas (transmisividad, potencia y continuidad lateral) suficientes para alojar de forma segura los volúmenes de efluente inyectados.
- Presencia de niveles de confinamiento de potencia y continuidad suficientes para garantizar el aislamiento indefinido de los efluentes inyectados.
- Existencia de un grado de calidad de agua en el nivel receptor, suficientemente bajo para no comprometer ningún recurso de aguas subterráneas. Un criterio habitual para la inyección profunda es el límite de los 10000 mg/l de TDS.

El primero de ellos limita el estudio a aquellos niveles conocidos de alta transmisividad con continuidad regional; es decir, a los sistemas hidrogeológicos principales, indicados en la figura 4. Su distribución geográfica impone una primera limitación al área centro-oriental de la provincia, y más concretamente, por motivos de interés básico, a la franja septentrional limitada por la costa cantábrica y el eje Oviedo-Cangas de Onís.

Los datos de calidad del agua indican la existencia de agua dulce en todo el dominio continental. Por lo general la calidad es buena, cumpliéndose los estándares de potabilidad en la mayoría de las zonas. Los efectos de la intrusión marina no son significativos a lo largo de todo el litoral, por lo que se espera una interfase muy ajustada a la línea de costa. Este hecho se presenta como el principal factor limitativo de la aplicabilidad de la inyección profunda, restringiendo la viabilidad a las zonas estrictamente costeras.

De acuerdo con los condicionantes geológicos expuestos, se han seleccionado dos zonas a priori capaces de aportar un marco geológico adecuado para la eliminación de efluentes mediante sondeos profundos:

- Banda litoral de la Cuenca Mesoterciaria
- Acuíferos costeros de la zona oriental

La información geológica disponible de cada una de ellas ha sido revisada con el fin de delimitar zonas potencialmente utilizables. La superposición de estas zonas con la distribución de vertidos de aguas residuales actualmente en operación y los planes futuros recogidos en el PRIHA del Principado de Asturias, ha llevado a la selección de tres emplazamientos sobre los que se ha desarrollado un diseño conceptual de sistema de inyección.

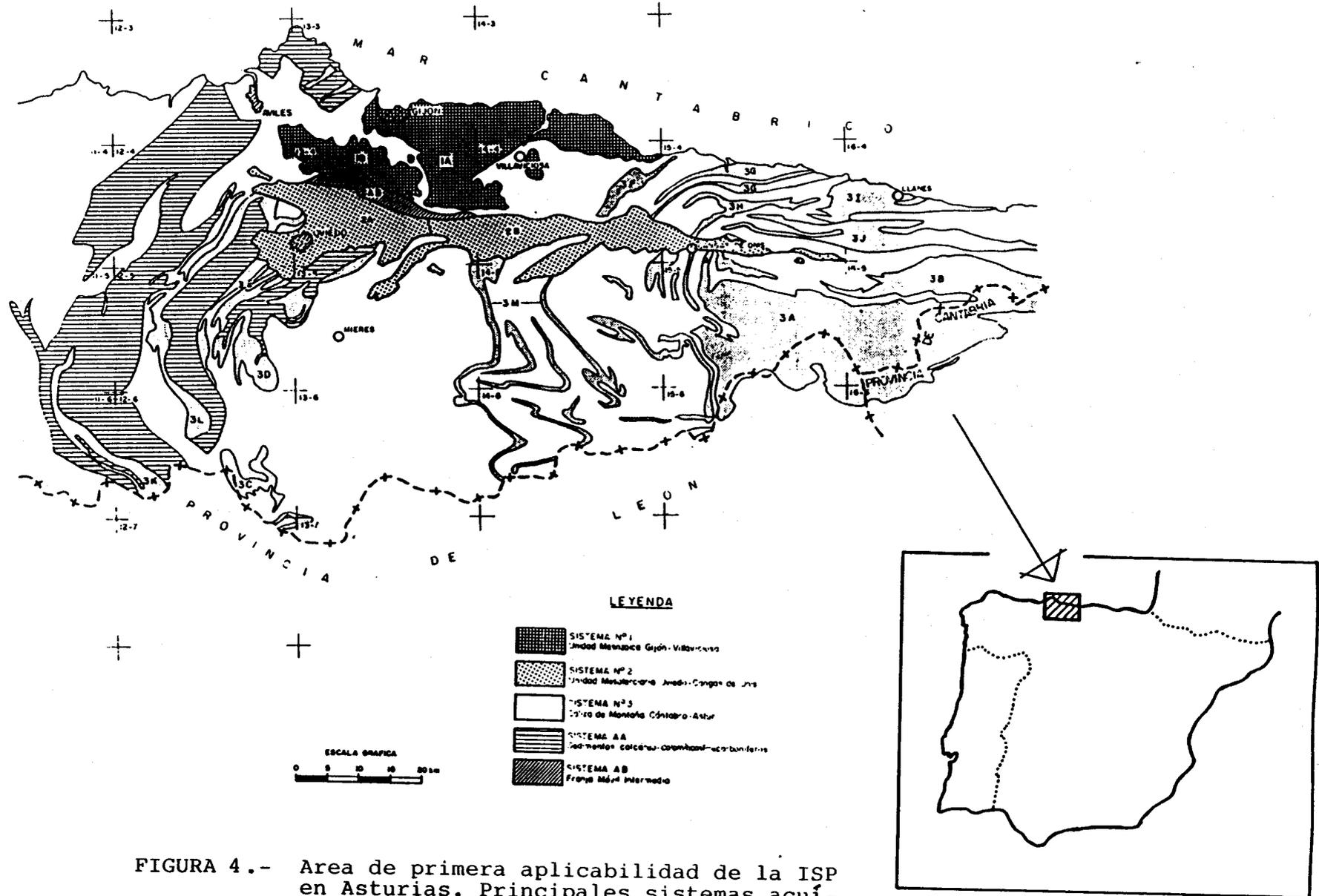


FIGURA 4.- Área de primera aplicabilidad de la ISP en Asturias. Principales sistemas acuíferos. (ITGE, 1984).

**4.- BANDA LITORAL DE LA CUENCA MESOTERCIARIA**

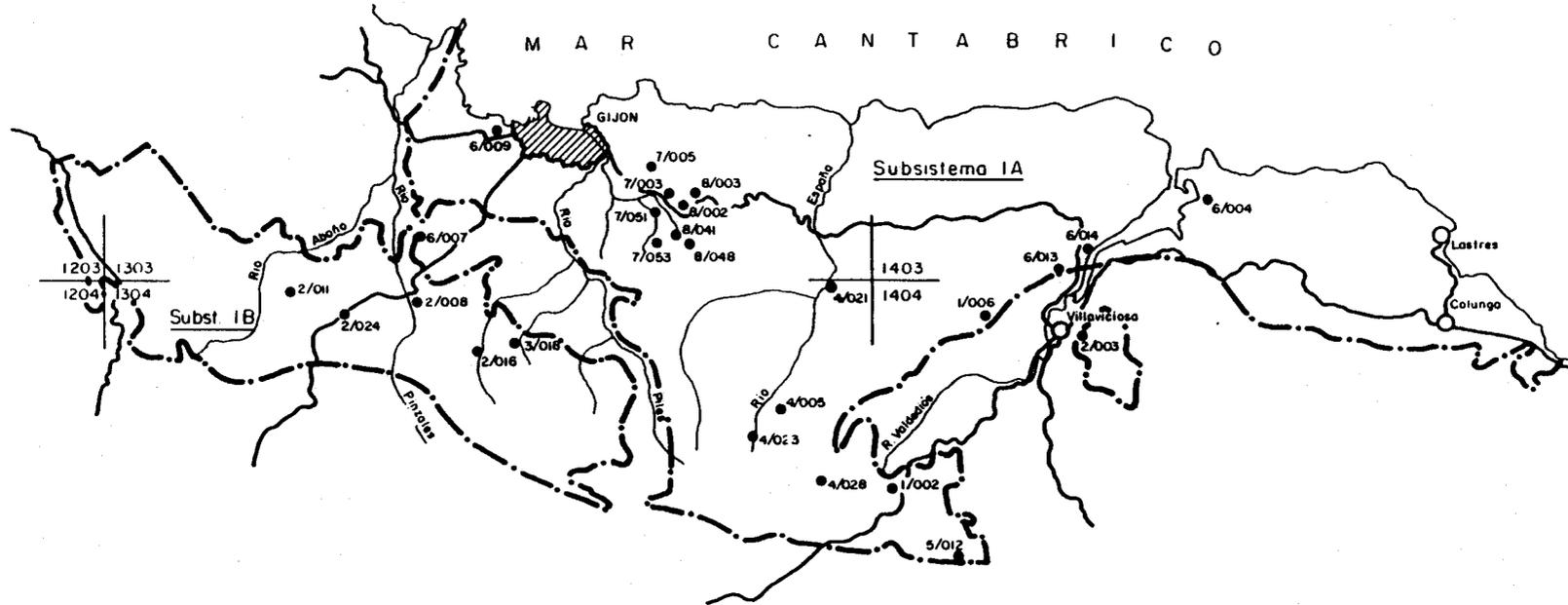
La cuenca Mesozoica-Terciaria presenta, en sus niveles del Jurásico, una zona a priori utilizable para la inyección de residuos. En concreto, el sector Gijón-Villaviciosa es el que tiene una mayor continuidad lateral, apenas distorsionada por una suave tectónica. Los acuíferos de esta zona contienen agua dulce, en general apta para consumo humano y aprovechamiento agrícola e industrial. Este factor limita la aplicabilidad de la inyección mediante sondeos profundos a emplazamientos situados sobre la línea de costa, desde los que sean alcanzables los dominios saturados de agua salada. A pesar de este condicionante, muy restrictivo desde el punto de vista geográfico, la inyección profunda no pierde interés como alternativa dentro del marco general de la gestión de aguas residuales, debido a que en esta zona se asientan núcleos urbanos e industriales de gran importancia en la región.

#### **4.1.- SINTESIS HIDROGEOLOGICA**

En el área de estudio los niveles transmisivos de interés son los correspondientes al Sistema Acuífero nº1, o Unidad Mesozoica Gijón-Villaviciosa. La costa cantábrica, Franja Móvil Intermedia y los afloramientos del Triás impermeable limitan geográficamente la extensión del sistema al área representado en la figura 5. Un surco central de materiales triásicos independiza hidráulicamente el tercio suroccidental del resto del sistema, definiendo los subsistemas de Villaviciosa (1A) y Llantones (1B).

# SISTEMA ACUIFERO N°1, UNIDAD MESOZOICA GIJON - VILLAVICIOSA

FIGURA 5



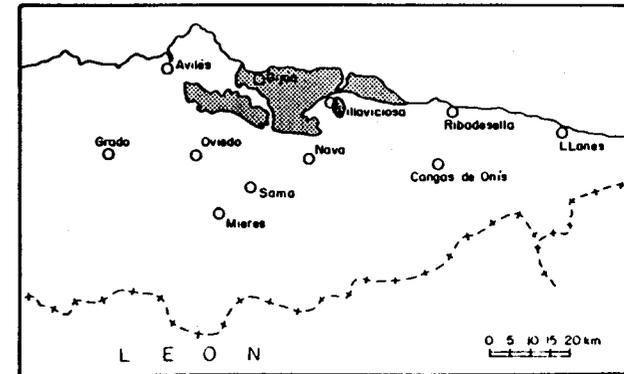
## LEYENDA

- Límite de subsistema
- Punto de agua controlado
- 8/048 Octante/nº de punto
- Subsistema IA Subsistema de Villaviciosa
- Subsistema IB Subsistema de LLantones

## ESCALA GRAFICA



## ESQUEMA REGIONAL



Por extensión, cuantía de recursos e importancia de los asentamientos urbanos e industriales, el subsistema de Villaviciosa es el principal del conjunto. En él se diferencian dos niveles acuíferos: el acuífero jurásico detrítico y el acuífero jurásico calcáreo. Ambos aparecen independizados por la serie impermeable de la Ritmita margo-caliza de Rodiles y Santa Mera, muy característica en la zona.

Desde el punto de vista de la inyección profunda, el acuífero detrítico carece de interés. Está constituido por depósitos kimmeridgenses, de los que únicamente los niveles de areniscas presentan permeabilidad. Generalmente forma pequeños acuíferos independientes (multicapa) de pobres características hidráulicas. Por contra, el acuífero jurásico calcáreo parece a priori muy favorable para la inyección. Se trata de una serie calcárea y dolomítica con buena continuidad, potencia y características hidráulicas. Se estima que su transmisividad puede variar localmente en función de los grados de fracturación, karstificación y arcillosidad, pero manteniendo siempre valores altos.

La calidad del agua es buena en todo el sistema, con valores habituales de total de sólidos disueltos inferiores a 500 mg/l. Los resultados de los análisis de muestras tomadas en puntos de la red de vigilancia, indican una facies bicarbonatada-cálcica o bicarbonatada-sulfatada cálcico-magnésica. En la tabla 1 se recogen los contenidos límite observados regionalmente para los principales indicadores de calidad del agua. Se detectaron contenidos en nitrato, nitrito y amoníaco derivados de actividades agrícolas y ganaderas variables estacionalmente. En general, las concentraciones medidas se mantienen dentro de los límites de potabilidad y no existen signos de contaminación por actividades urbanas e industriales. En zonas costeras y márgenes de las rías el desplazamiento de la interfase agua dulce/salada puede dar lugar a condiciones locales con agua salobre.

TABLA 1.- Parámetros de calidad del agua del Sistema Acuífero nº 1, Unidad Mesozoica Gijón-Villaviciosa

PARAMETROS	VALOR HABITUAL
Conductividad	< 700 $\mu$ hos/cm
Sólidos disueltos (TDS)	< 500 mg/l
Cloruros ( $\text{Cl}^-$ )	< 50 mg/l
Sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	< 200 mg/l
Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^{2-}$ )	< 400 mg/l
Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ )	< 100 mg/l
Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ )	< 125 mg/l
Dureza	< 40 $\text{eF}$

Datos 1982-83

Fuente: ITGE. Calidad de las aguas subterráneas en la Cuenca Norte (Asturias), PNGCA 1984.

#### 4.2.- NIVELES POTENCIALMENTE UTILIZABLES

Dentro de la serie mesozoica, el nivel objetivo es la secuencia carbonatada del Lías. Los datos hidrogeológicos y estratigráficos existentes indican que este acuífero presenta transmisividad, potencia y extensión lateral suficientes para admitir volúmenes importantes de fluido. Por otra parte, la existencia de dos niveles adyacentes de baja permeabilidad (Trías y ritmitas), aporta el confinamiento vertical necesario para la protección de los dominios superficiales.

Los niveles inferiores del Jurásico (Fm Gijón y Fm Rodiles) constituyen la base geológica del sistema de inyección, aportando almacén y confinamiento, respectivamente. Su continuidad y uniformidad de potencia son factores clave para garantizar la viabilidad de la inyección. Estudios estratigráficos de gran detalle (M. Valenzuela, "Estratigrafía, Sedimentología y Paleogeografía del Jurásico de Asturias". Tesis

Doctoral, Universidad de Oviedo (Dpto. de Geología), 1988) confirman la continuidad y uniformidad sedimentaria de estos niveles en toda la cuenca, como se ilustra en la figura 7. Los datos derivados de la investigación petrolífera en el Mar Cantábrico confirman también su continuidad en el dominio marino.

A continuación se describen los niveles de interés de la serie mesozoica, indicando sus características con vistas a ser integrados en un sistema de inyección profunda.

### **Triásico:**

Es un nivel impermeable de buena continuidad en toda la cuenca. En la zona cantábrica suele asociarse al Pérmico por similitud de facies. Litológicamente está formado por arcillas y areniscas rojas con alternancias de conglomerados cuarzosos y niveles yesíferos. Se presentan también niveles de conglomerados compactos rojizos de canto calcáreo con permeabilidad. Aunque su capacidad receptora no se ha estimado, este nivel podría ser utilizado para eliminar pequeños caudales de efluentes industriales. La información derivada de la investigación petrolífera indica potencias superiores a los 100 metros en todo el área continental de la cuenca. En la banda más próxima al litoral, que es la zona de mayor interés para la inyección profunda, los espesores varían entre los 200 y 900 metros (figura 6). El conjunto muestra a priori muy buenas características confinantes.

### **Jurásico Marino:**

Está formado por los depósitos del Lías, que es el tramo más importante desde el punto de vista de la inyección profunda. Se distinguen dos secuencias principales denominadas

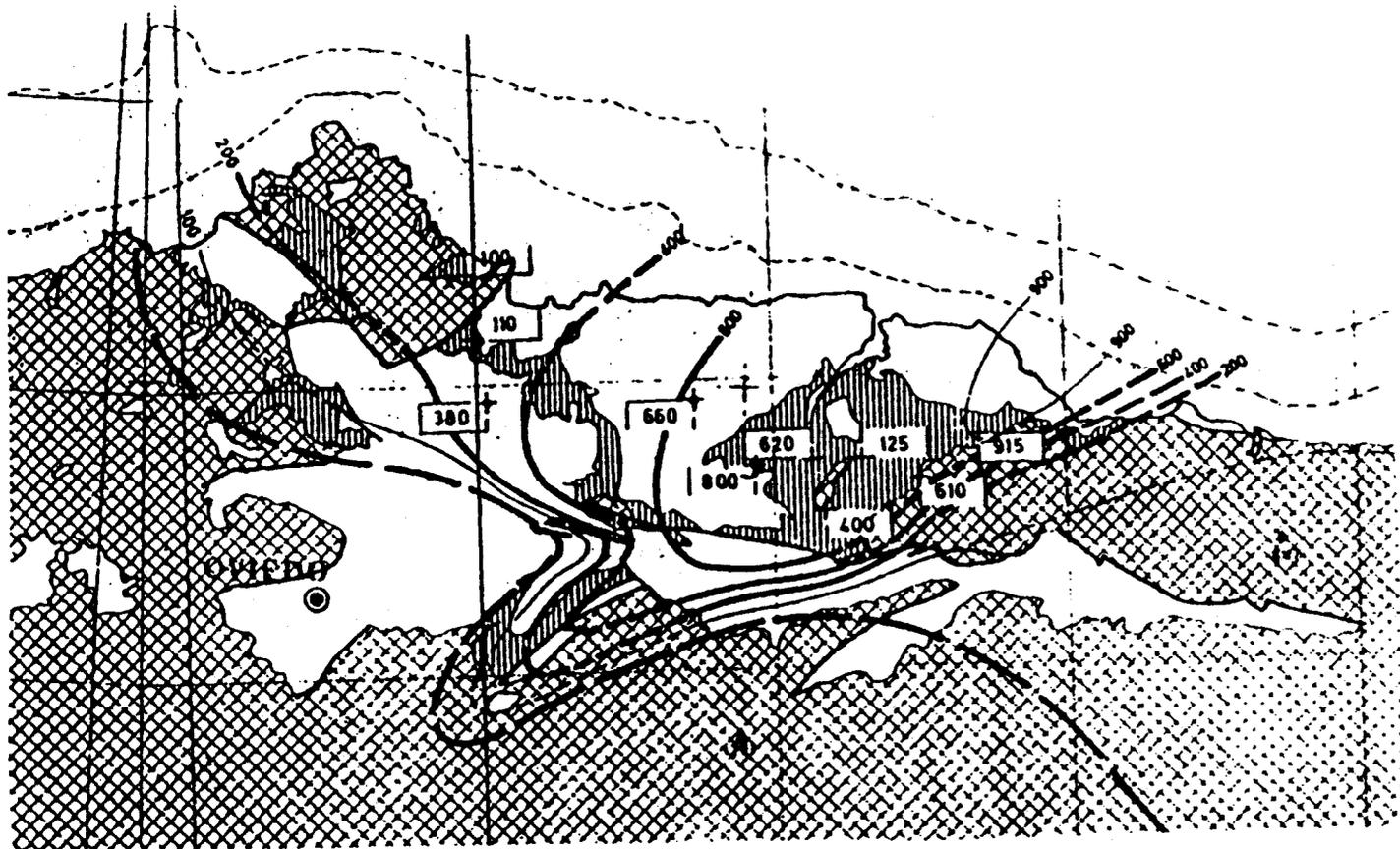


FIGURA 6.- Mapa de isopacas del Trías Inferior detrítico (Fuente: Hispanoil, 1974).

LEYENDA

- |       |  |  |   |
|-------|--|--|---|
| ↑ 100 | valor de la potencia en un perfil estratigráfico                       |  | Zonas de erosión                                      |
| ◆ 115 | valor de la potencia en sondos   |  | Cero paleogeográfico real e supuesto                  |
| □ 125 | Potencia incompleta en el techo (faltó alteraciones por erosión, etc.) |  | isopaca real, supuesto o deducida                     |
| □ 110 | idem en el muro  |  | Alteraciones Paleozoicas                              |
| □ 115 | Potencia incompleta en techo por erosión y discordancia posterior      |  | Alteraciones de Trías diferenciadas (excepto después) |
| □ 915 | idem en el muro  |  |   |
| □ 115 | Potencia dudosa  |  |   |

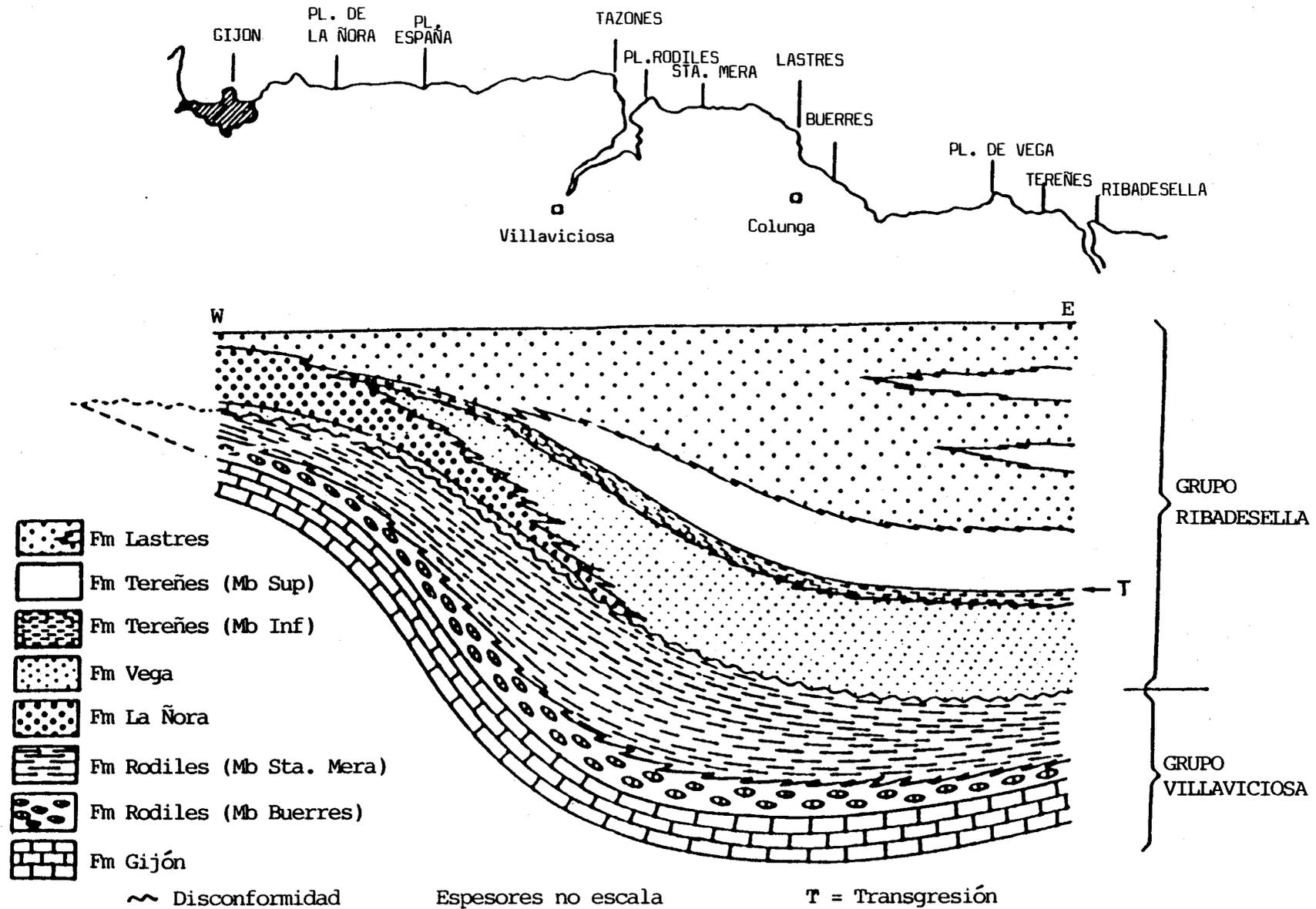


FIGURA 7.- Evolución lateral de facies del Jurásico de Asturias (Fuente: M. Valenzuela. Tesis).

Lías calcáreo (Fm Gijón) y Lías margoso (Fm Rodiles), que coinciden con los tramos que en los estudios hidrogeológicos se conocen tradicionalmente como acuífero calcáreo y ritmita, respectivamente. Ambos niveles se han fijado como objetivos principales para la búsqueda de una formación almacén y un nivel confinante superior, en base a los datos hidrogeológicos disponibles.

El Lías calcáreo es el acuífero más importante del Sistema Hidrogeológico nº 1. A muro se encuentra una facies de transición formada por alternancia de margas dolomíticas y arcillas de tonos negros y rojos finamente estratificadas. Este tramo de edad Retiense-Hettangiense Inferior (Infralías) supone un tránsito continuo de difícil distinción entre el Triás y el Lías. Sobre él ocurre un tramo dolomítico de potencia variable (20 a 30 m de promedio) de edad Hettangiense. Son dolomicritas beige claro, tableadas, con abundantes laminaciones paralelas y sin fauna. Presentan fracturación irregular y niveles de carniolas que favorecen sus propiedades hidráulicas, a veces disminuidas por intercalaciones arcillosas de potencia y continuidad irregulares. Hacia el techo disminuye el contenido dolomítico, pasándose a un tramo de unos 200 metros de calizas magnesianas. Inicialmente son calizas dolomíticas que pasan progresivamente a calizas. En la zona de Gijón son de color oscuro, grisáceas a negruzcas, con algunos bandeados rosáceos. Directamente sobre ellas aparecen unos 40 metros de calizas nodulosas grises (Sinemuriense) con abundantes intercalaciones margosas, cuya potencia tiende a aumentar hacia el norte. Este nivel varía lateralmente a calizas oolíticas compactas, frecuentemente karstificadas y con buenas características hidráulicas.

El conjunto constituye un buen acuífero, que puede ser empleado como formación receptora en aquellos dominios en que contenga agua de pobre calidad. Gran número de sondeos de

abastecimiento del área de Gijón han confirmado las buenas características hidráulicas del almacén. Se han medido transmisividades que oscilan entre  $62 \text{ m}^2/\text{día}$  (sondeo nº3 EMA) y  $118.5 \text{ m}^2/\text{día}$  (sondeo nº6 EMA). En trabajos de modelización hidrogeológica realizados con anterioridad, se ha estimado una transmisividad media para toda el área confinada del acuífero de  $100 \text{ m}^2/\text{día}$ . Los caudales específicos medidos en sondeos oscilan entre  $0.68$  y  $3 \text{ l/s}\cdot\text{m}$ , considerándose un promedio para el acuífero de  $1.5 \text{ l/s}\cdot\text{m}$ .

Se estima que la capacidad receptora del nivel almacén será buena en cualquier zona de la banda litoral Gijón-Ribadesella, como indican los datos hidráulicos, su potencia y continuidad lateral. La presencia de fracturación intensa y/o karstificación bien desarrollada en determinados emplazamientos, podría mejorar aún más la capacidad del almacén.

En las proximidades de Gijón, a donde corresponde la descripción anterior, la potencia total es de unos 300 metros. Para el tramo útil de la formación almacén, la potencia esperada es de 100 a 170 metros, a lo largo de la costa.

El **Lías margoso** está formado por una sucesión rítmica de calizas, calizas margosas y margas de edad Sinemuriense Superior -Bajociense Inferior. Hidráulicamente se comporta como confinante, aislando los acuíferos jurásicos calcáreo (Lías) y detrítico (Purbeck). Su potencia es variable en toda la región (20 a 150 m), pero sus afloramientos (figura 8) confirman su continuidad en la cuenca. La disposición de los afloramientos coincide sustancialmente con la morfología del mapa de isopacas del Lías, lo que es buen indicativo de su continuidad también en los dominios profundos extracontinentales. Se estima que puede ser un nivel confinante idóneo con vistas a la inyección en los niveles calcáreos del Lías.

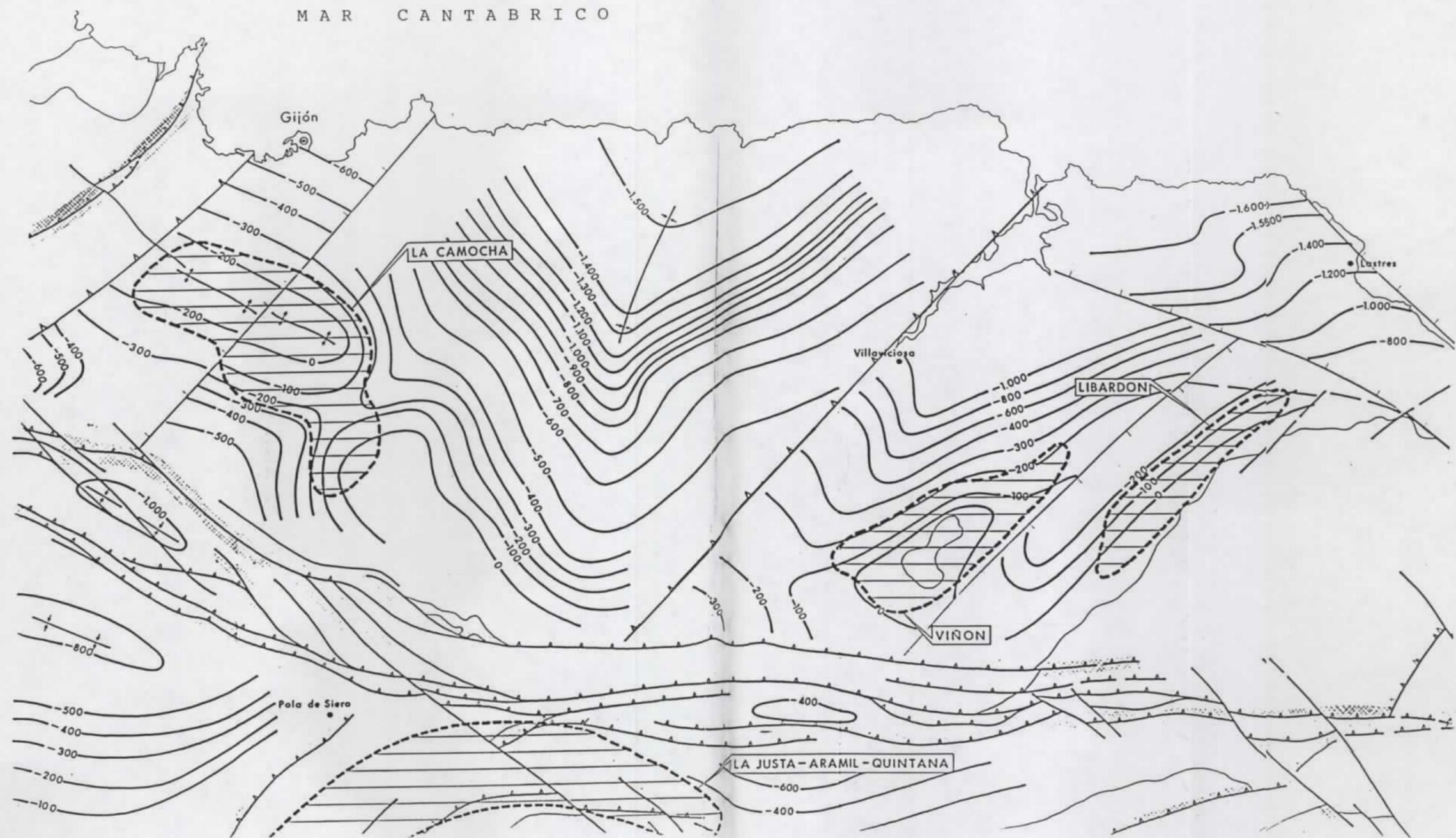


FIGURA 8.- Mapa de isobatas de la cobertera Mesozoico-Terciaria (ITGE, 1988. Informe sobre las Cuenclas Carboníferas ocultas por la cobertera mesozoicaa-terciaria en Astu rias).

**Purbeck:**

Engloba los sedimentos de facies continental o transicional contenidos entre el Jurásico Marino y los conglomerados y arenas del Wealdense. Inicialmente consta de un tramo de conglomerados de edad Kimmeridgense denominado regionalmente como Fabuda (o primer conglomerado). Son conglomerados de espesor variable (20 a 100 metros) que incluyen cantos rodados de cuarcita, matriz areniscosa y cemento silíceo. Pueden estar más o menos cementados y presentan frecuentes lentejones de areniscas y arcillas limolíticas. Son así mismo frecuentes, estratificaciones cruzadas, restos vegetales y niveles ferruginosos y limoníticos. Por encima de la Fabuda, el Purbeck está formado por areniscas amarillentas de cemento calcáreo en alternancia con margas grises. Hacia el sur de la cuenca aparecen calizas micríticas de algas y areniscas de grano grueso.

El conjunto constituye un acuífero colgado multicapa de limitada transmisividad, que está eficazmente aislado del acuífero jurásico calcáreo por la serie impermeable de ritmitas. Aunque no tiene interés desde el punto de vista de la inyección profunda, es importante su desconexión hidráulica de los niveles inferiores para garantizar la protección de los dominios superficiales.

**4.3.- TECTONICA**

Estructuralmente la zona se incluye dentro del Monoclinal Ondulado de Gijón-Villaviciosa. Esta es una de las tres grandes unidades estructurales en las que se divide el conjunto del recubrimiento mesozoico y terciario de Asturias. Hacia el sur aparecen la Franja Tectonizada Intermedia y el

Sinclinorio de Oviedo-Infiesto. La delimitación de las tres macroestructuras es neta, debido a la presencia de una franja larga y estrecha de violenta tectónica, que contrasta con la suavidad de las unidades septentrional y meridional (figura 3).

El Monoclinal ondulado de Gijón-Villaviciosa es la unidad mesozoica más septentrional. Se caracteriza por una fácil tectónica de morfología ondulada-tabular. Salvo accidentes muy locales, las pendientes de los estratos son suaves en todo el conjunto. La directriz tectónica, a pesar de su general indecisión, deja apreciar la influencia de un plegamiento alpino que ha dado lugar a una serie de alineaciones largas y estrechas con ejes en dirección predominante NO-SE.

Las alineaciones no son continuas, sino que forman una sucesión de pequeñas estructuras alineadas entre si. Las más representativas son las de San Justo-Miravalles y Peón-Viñón. Se estima que los empujes de la fase alpina han sido débiles en esta zona debido al escaso recubrimiento mesozoico. Además, la presencia de materiales plásticos del Triásico pudo proporcionar un nivel eficaz de despegue respecto a los sedimento más rígidos del Bunt, Pérmico y Paleozoico, que propició la formación de una estructuración epidérmica sin plegamiento importante.

Son frecuentes las fracturas y fallas normales de pequeño salto en direcciones principales NO-SE y NE-SO (figura 9). A pesar de no mostrar desplazamientos importantes, en ocasiones originan contactos anormales, trastornos e inversiones bruscas en la disposición de los estratos.

En la figura 9 se hace una síntesis de los principales accidentes estructurales y la disposición de los afloramientos. Las secciones geológicas muestran la tranquilidad tectónica general del área. Es especialmente destacable la escasez de fallas y la suavidad del plegamiento en la franja más próxima a

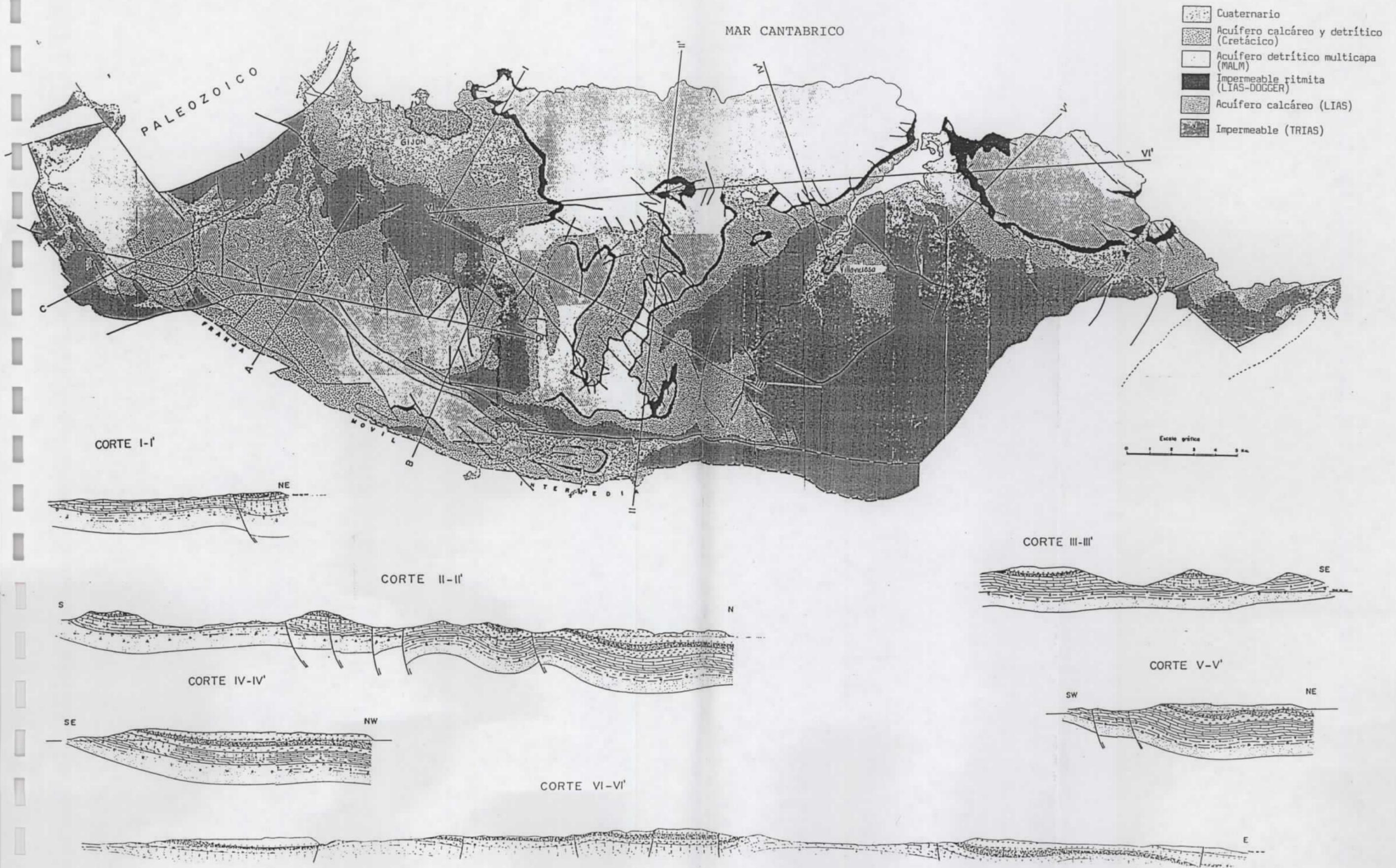


FIGURA 9.- Esquema tectónico de la Unidad Gijón-Villaviciosa de la Cuenca Meso-Terciaria Asturiana.

la costa, como reflejan los cortes I-I', II-II', IV-IV' y V-V'. Así mismo, se observa la continuidad regional de los niveles considerados como receptor y confinante.

#### 4.4.- MODELO DE INYECCION

Los datos geológicos disponibles indican la existencia de un nivel permeable (almacén) con características hidráulicas, potencia y extensión lateral, a priori favorables para aceptar la inyección de caudales importantes de fluido, en los niveles jurásicos marinos de la Cuenca Meso-Terciaria de Asturias. Se ha confirmado también la existencia de un nivel impermeable de la misma serie con potencia, continuidad y características confinantes adecuadas para aislar indefinidamente los fluidos inyectados, evitando su migración vertical.

En el dominio continental, el acuífero receptor contiene agua de buena calidad, por lo que el planteamiento de la inyección se restringe a puntos próximos a la línea de costa, en donde el agua subterránea se hace salobre. En la banda costera Gijón-Ribadesella serían factibles sistemas de inyección que utilizaran como nivel receptor la serie calco-dolomítica del Lías Calcáreo (Fm Gijón), almacén que permanecería confinado verticalmente por la serie impermeable de margas y calizas del Lías Margoso (Fm Rodiles).

La distribución habitual de niveles piezométricos en acuíferos en contacto con el dominio marino, con niveles progresivamente descendentes hacia la costa, forzaría a los efluentes inyectados a migrar en dirección al mar, alejándolos de los recursos de agua dulce y aportando una barrera de protección contra la intrusión.

Durante las fases de diseño, ensayo y construcción de un sistema concebido de este modo deberán contemplarse las siguientes cuestiones:

- Los efluentes se inyectan en un nivel que en otras zonas del dominio continental contiene agua dulce de buena calidad, por lo que es importante la localización precisa de la interfase de contacto agua dulce/salada.
- La ausencia de acuíferos suprayacentes junto con la existencia de un confinamiento vertical con buenas garantías de estanquidad, hace recomendable el planteamiento del sistema de vigilancia sobre el propio nivel almacén. La instalación de sondeos de vigilancia en la parte interna, dejando el sondeo de inyección entre ellos y la costa, permitiría la detección de cualquier cambio de posición de la interfase antes de que pudiera ser afectado ningún recurso de agua dulce.
- En caso de presencia de agua dulce hasta los límites de la costa, puede plantearse la alternativa de perforar sondeos de inyección direccionales con desviaciones notables respecto a la vertical. Los sondeos direccionales permitirían alcanzar los dominios de agua salada sin presentar especiales dificultades técnicas en lo referente a la perforación. Sin embargo, habrán de tener consideración especial el diseño del programa de ensayos sobre el sondeo piloto y las especificaciones del acabado del sondeo.

**5.- ACUIFEROS COSTEROS DE LA ZONA ORIENTAL**

La existencia de niveles carbonatados de alta transmisividad en alternancia con formaciones relativamente impermeables en la zona costera oriental de Asturias, indica que puede haber zonas potencialmente utilizables para la eliminación de aguas residuales mediante inyección profunda. Por tratarse de un área altamente tectonizada, no puede establecerse un modelo de inyección regional; más bien, se persigue la identificación de emplazamientos de carácter marcadamente local, que pudieran ser aprovechados individualmente con este fin.

#### **5.1.- SINTESIS HIDROGEOLOGICA**

Hidrogeológicamente el área de estudio está comprendida dentro del Sistema Acuífero núm. 3, o Caliza de Montaña Cántabro-Astur. Bajo este nombre se agrupan dos unidades genéticas carbonatadas del Carbonífero Superior que constituyen un acuífero de gran extensión y potencia, generalmente afectado por una tectónica de pliegues agudos y núcleos fallados que dan lugar a escamas. Dentro de él, son de particular interés como objetivos de la inyección profunda, los acuíferos costeros de Ribadesella y Llanes (figura 10), que forman los subsistemas 3G y 3I.

La unidad de Ribadesella consta de dos acuíferos de similares características hidrogeológicas, separados por una serie impermeable. El acuífero norte está formado por la Caliza de Escalada y el acuífero sur por la Caliza de Montaña. Se trata de masas calcáreas heterogéneas desde el punto de vista

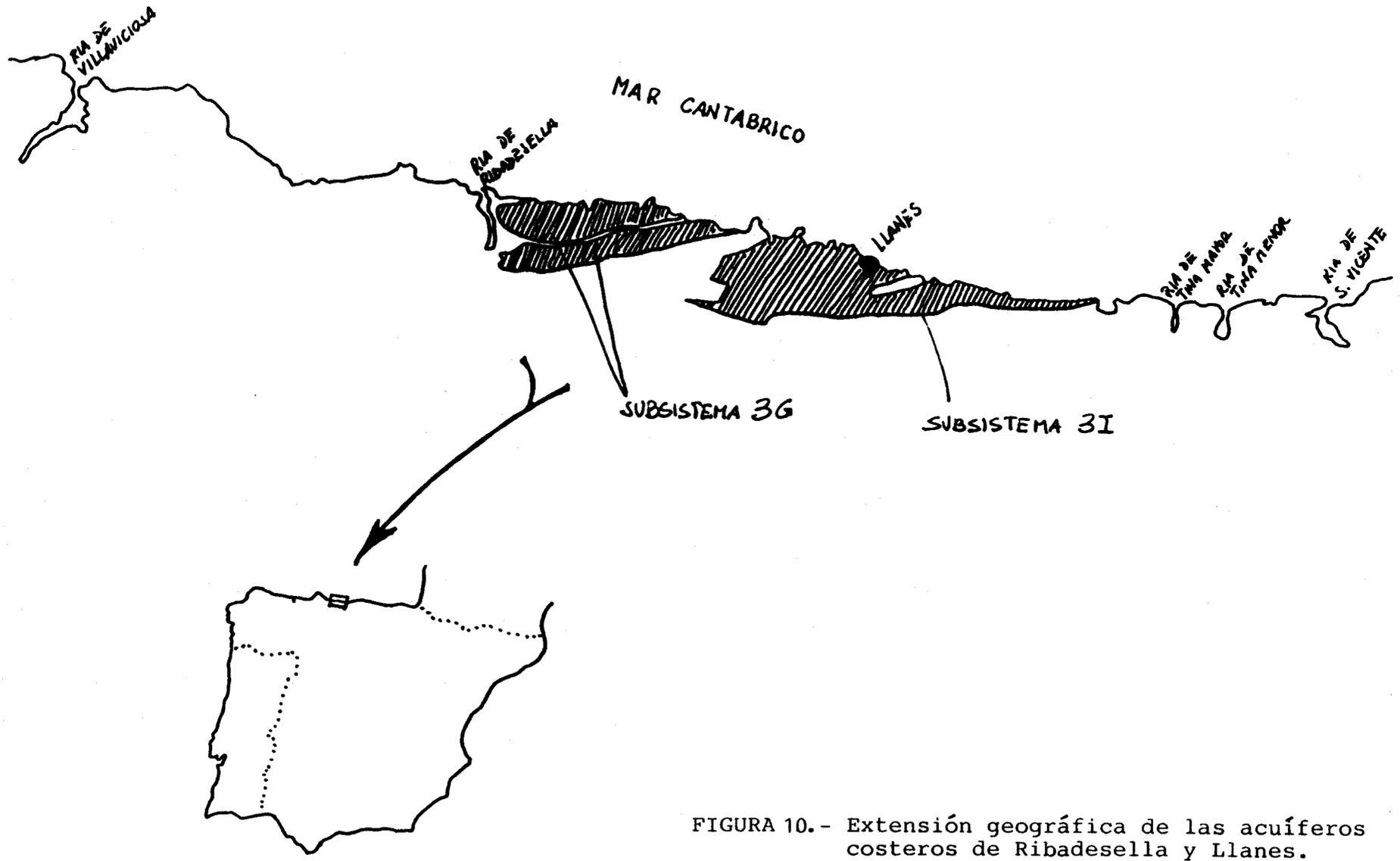


FIGURA 10.- Extensión geográfica de las acuíferos costeros de Ribadesella y Llanes.

hidráulico, con transmisividad y coeficiente de almacenamiento muy variables. Sus condiciones hidrodinámicas suelen ser muy buenas, debido a la frecuente fracturación y karstificación bien desarrolladas. Constituyen mantos acuíferos libres con alimentación exclusivamente a partir del agua de lluvia.

Los acuíferos costeros de Llanes están formados por la Caliza de Montaña (facies Barcaliente y Valdeteja) y la Formación Picos (calizas masivas grisáceas o blancas), con estructura en escamas. Se drenan a través del río Bedón y por descarga al mar.

En ninguno de ellos existe intrusión marina. La calidad del agua es buena en todas las zonas. Como norma general, el contenido en sólidos disueltos es inferior a 500 mg/l y el agua es apta para consumo humano. La facies es bicarbonatada-cálcica. En la tabla 2 se recogen los parámetros de calidad de agua más significativos. Se han detectado pequeñas contaminaciones de compuestos nitrogenados. Nitrato y amoníaco aparecen siempre en

TABLA 2.- Parámetros de calidad del agua del subsistema 3G, Acuíferos Costeros de Ribadesella

PARAMETROS	VALOR HABITUAL
Conductividad	< 600 $\mu$ hos/cm
Sólidos disueltos (TDS)	< 500 mg/l
Cloruros ( $\text{Cl}^-$ )	< 40 mg/l
Sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	< 30 mg/l
Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^{2-}$ )	< 300 mg/l
Sodio ( $\text{Na}^+$ )	< 20 mg/l
Potasio ( $\text{K}^+$ )	< 2 mg/l
Calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ )	< 100 mg/l
Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ )	< 40 mg/l
Dureza	< 30 $\text{eF}$

Datos 1982-83

Fuente: ITGE. Calidad de las aguas subterráneas en la Cuenca Norte (Asturias), PNGCA 1984.

concentraciones inferiores a los estándares de potabilidad, mientras que en puntos aislados se han medido concentraciones de nitrito superiores a 0.1 mg/l (máximo admitido). El origen de estos compuestos está relacionado con actividades agropecuarias.

#### **5.2.- NIVELES POTENCIALMENTE UTILIZABLES**

Los niveles de alta transmisividad se dan en las series carbonatadas de la Caliza de Montaña y la Caliza de Escalada. Ambas formaciones están frecuentemente fracturadas y/o karstificadas, tienen potencias importantes y presentan buena continuidad lateral, rasgos que generalmente indican una buena capacidad receptora de fluido. En el área de Ribadesella-Llanes suelen estar en contacto con formaciones de carácter impermeable que podrían aportar el confinamiento necesario para el planteamiento de un sistema de inyección.

Las cuarcitas ordovícicas constituyen un nivel impermeable con buena presencia en la zona. En Ribadesella limitan los niveles acuíferos por el Sur y el Este, aislándolos hidráulicamente. Litológicamente son muy homogéneas, presentando solamente intercalaciones pizarrosas de poca potencia que no comprometen sus características confinantes.

La Caliza de Montaña agrupa dos grandes unidades genéticas carbonatadas con intercalaciones de niveles pizarrosos. En el área de estudio son posibles objetivos las formaciones Barcaliente, Valdeteja y Picos. La Formación Barcaliente es el nivel basal, formado por calizas de algas de gran potencia, con abundante materia orgánica y sin prácticamente porosidad primaria. Sin embargo, suele estar fracturada y altamente karstificada, lo que le confiere muy buenas características hidráulicas y gran potencialidad como nivel receptor. Por encima

de ella aparecen las formaciones Valdeteja y Picos, formadas por calizas de alta energía, packstone o grainstone, recristalizadas. Aunque no tienen porosidad intergranular, sí suelen estar fracturadas y karstificadas, por lo que constituyen otro nivel receptor potencial.

En la zona afloran otros niveles que podrían aportar confinamiento. Dentro de la serie carbonífera existen niveles de areniscas, limolitas y lutitas de baja permeabilidad. En el Devónico aparecen también conjuntos de areniscas, conglomerados y arcillas que pueden tener buenas características confinantes. En cualquier caso, la complejidad tectónica de la zona obliga a la búsqueda de emplazamientos muy locales, en los que se pueden encontrar diferentes combinaciones de conjuntos almacén-confinante.

### **5.3.- TECTONICA LOCAL**

La zona de Ribadesella-Llanes se caracteriza por una superposición de efectos tectónicos resultantes de las orogénias hercínica y alpina, que dieron lugar a una compleja configuración estructural dominada por amplios pliegues, frecuentemente afectados por despegues y mantos de corrimiento. En el área de Llanes se registró también actividad tectónica durante el Eoceno terminal.

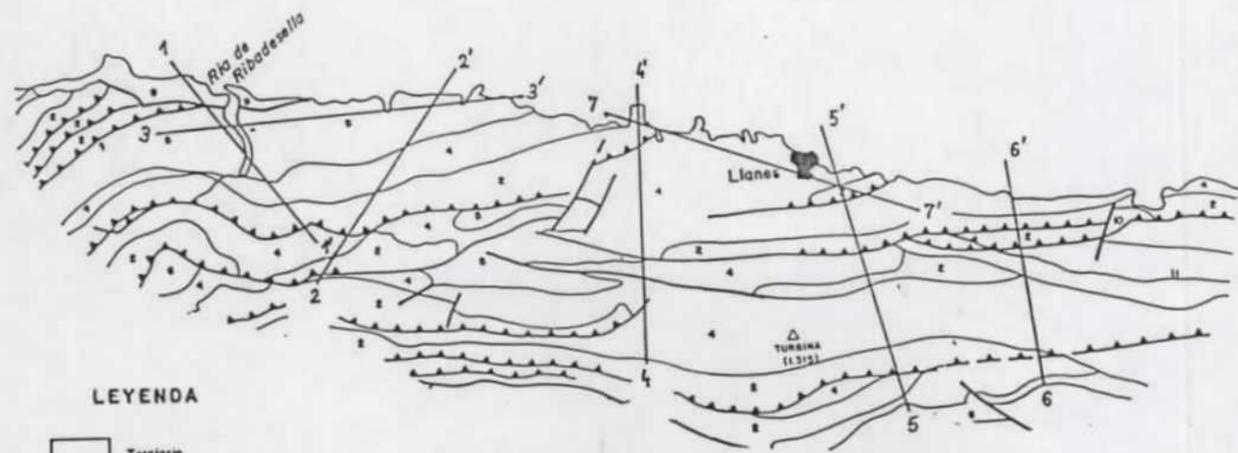
Las estructuras hercínicas tienen características similares en ambas zonas. Las deformaciones iniciales produjeron plegamientos de gran amplitud, que posteriormente fueron afectados por la aparición de mantos de corrimiento y cabalgamientos. En general las superficies de despegue son casi paralelas a la estratificación, cortando progresivamente niveles superiores. Son característicos los apilamientos de mantos de

corrimiento, y las estructuras en escamas. En una etapa posterior, se observa la formación de fallas de menor importancia.

Durante el Mesozoico, en el área de Ribadesella, dominó una tectónica de bloques tardihercínica que dió origen a nuevas cuencas receptoras de sedimentos mesozoicos. Sin embargo, en la zona de Llanes, el siguiente episodio tectónico importante ocurrió durante la orogenia alpina. Durante él continuó un proceso similar al hercínico, con formación de plegamientos, cabalgamientos y fallas. En esta zona se han observado indicadores de actividad neotectónica.

El resultado global es un área estructuralmente compleja en la que no existe continuidad lateral a nivel regional. En la figura 11 se sintetizan los principales rasgos estructurales. Las secciones geológicas ilustran los frecuentes apilamientos de escamas y superficies de cabalgamiento. Desde el punto de vista de la inyección profunda, el dominio de interés es la franja más próxima a la costa. Es en esta banda donde los niveles carbonatados receptores presentan una mejor continuidad en las direcciones paralelas a la costa, como indican las secciones 3-3' y 7-7'. Los cortes de orientación subperpendicular a la línea de costa, muestran una mayor complejidad en las zonas interiores y una relativa suavidad de las estructuras situadas sobre ella (2-2', 5-5' y 6-6', principalmente).

La información estructural disponible, aunque no permite establecer modelos concretos de inyección profunda, tampoco descarta la existencia de dominios utilizables por fuera de la línea de costa. En cualquier caso, las posibilidades de utilización de alguna de estas estructuras para la eliminación de aguas residuales urbanas, dependerá de la localización y caracterización detallada de emplazamientos con combinaciones almacén-confinante adecuadas dentro del dominio de agua marino, más allá de la interfase agua dulce/salada.



LEYENDA

- Terciario
- Cretácico Superior
- Cretácico Inferior
- Jurásico
- Triás
- Permiano - Triás
- Estetónense
- Westfaliense
- Dinantense - Namurense
- Devónico - Silúrico
- Cámbrico - Ordovícico
- Precámbrico

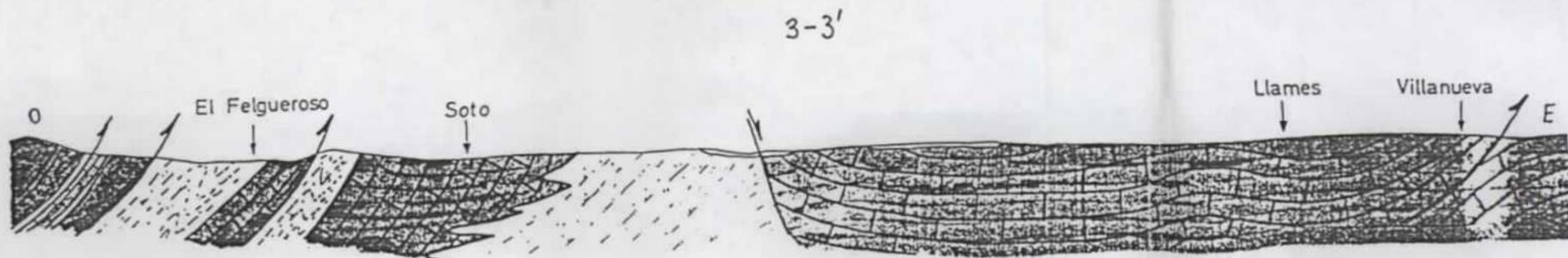
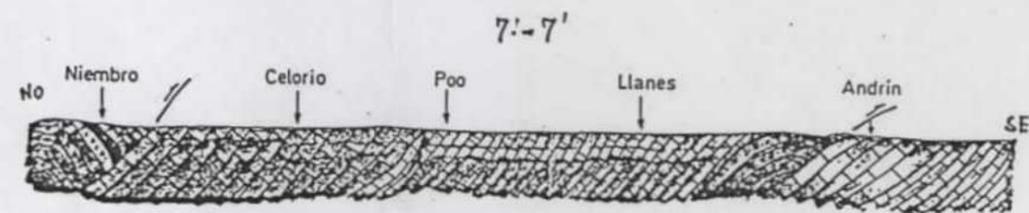
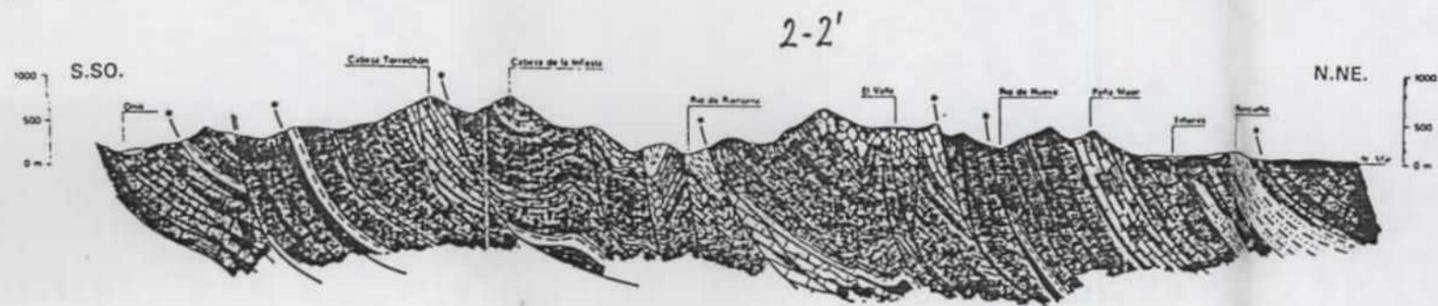
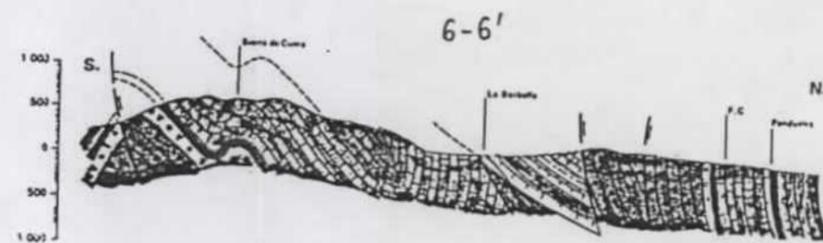
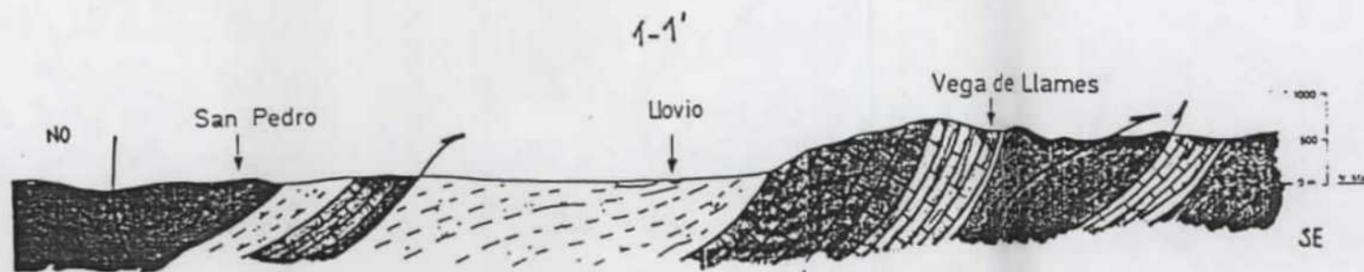
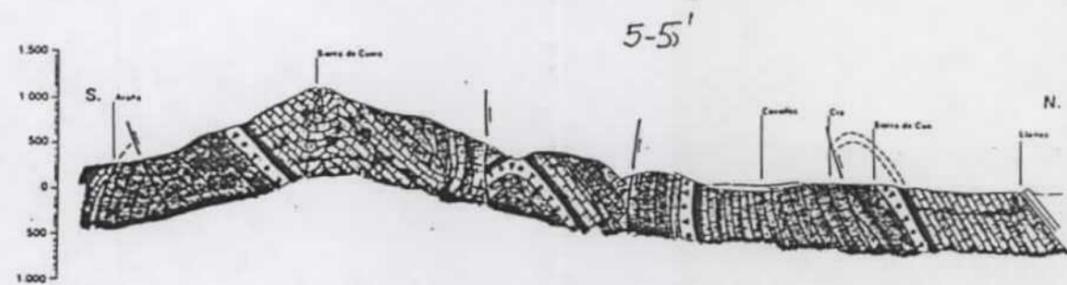
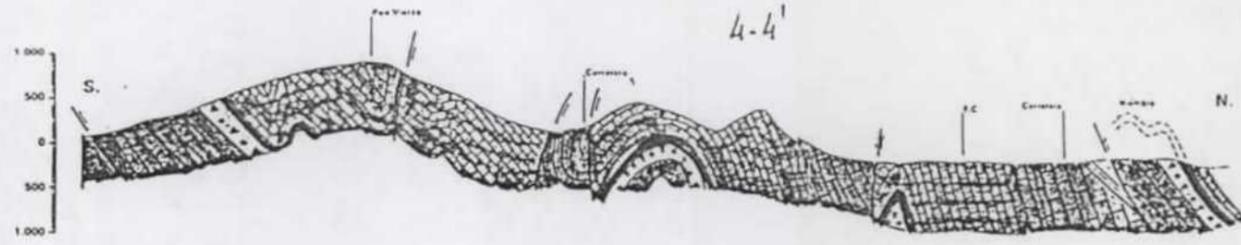


FIGURA 11.- Síntesis estructural del área de Ribadesella-Llanes. (Fuentes: Hispanoil, ITGE).

**6.- GESTION DE LAS AGUAS RESIDUALES EN ASTURIAS**

Anteriormente a la promulgación del Real Decreto 485/1985 de 6 de Marzo, por el que se traspasan al Principado de Asturias las competencias relativas a materias de abastecimiento y saneamiento, las actuaciones encaminadas a corregir la creciente contaminación de origen urbano correspondían a la Diputación Provincial, a través de los Planes de Cooperación y de Obras y Servicios. También el Estado proporcionaba ayudas a través del MOPU a aquellas Corporaciones Locales que las solicitaban.

Las obras de infraestructura sanitaria promovidas mediante ambos sistemas, con frecuencia daban respuesta a problemas puntuales sin considerar la problemática general de las cuencas y sin tener como objetivo el mantenimiento del ciclo integral del agua. Este planteamiento, junto con la escasa atención prestada a la explotación y mantenimiento de la infraestructura creada, desembocan en la deficiente situación actual de saneamiento de aguas residuales de diversos orígenes.

Considerando la actual falta de colectores e instalaciones de depuración, el Gobierno del Principado de Asturias ha puesto el marcha el Plan Regional de Infraestructura Hidráulica de Asturias (PRIHA), dentro del cual se establece el Plan de Saneamiento de las aguas residuales de toda la Comunidad.

El Plan de Saneamiento, cuyo objetivo general es la gestión eficaz de las aguas residuales para la mejora y preservación de la calidad de las aguas continentales y marinas, dentro del marco de las Directivas de la Comunidad Europea, aporta directrices para la creación de infraestructura sanitaria con un modelo muy bien definido en las zonas costeras: unificación de vertidos y escorrentías de tormentas, tratamiento y posterior descarga al mar mediante emisarios submarinos. En esta etapa final de descarga, la inyección mediante sondeos profundos constituye una ventajosa alternativa a los emisarios desde los puntos de vista económico y medioambiental, en aquellas zonas costeras en las que el subsuelo profundo ofrece buenas características receptoras y de confinamiento de los efluentes inyectados.

El menor coste de construcción, facilidad para la ampliación de la capacidad del sistema y la garantía de su integridad mecánica durante largos periodos de tiempo, son las principales ventajas desde el punto de vista económico que los sondeos profundos ofrecen frente a los emisarios. Así mismo, se eliminan totalmente las descargas al mar, favoreciendo la recuperación y conservación de los ambientes naturales costeros, sin comprometer ningún otro recurso aprovechable.

Esta solución ha sido adoptada masivamente en el Estado de Florida, donde rigen las más estrictas regulaciones medioambientales actualmente en vigor y existe una desarrollada sensibilidad pública hacia la protección del medio natural. La ISP, junto con métodos de reutilización, hacen posible en Florida la oferta de un turismo de alta calidad con perfecta calidad sanitaria de las aguas, en un entorno en el que conviven grandes aglomeraciones urbanas y sensibles ecosistemas.

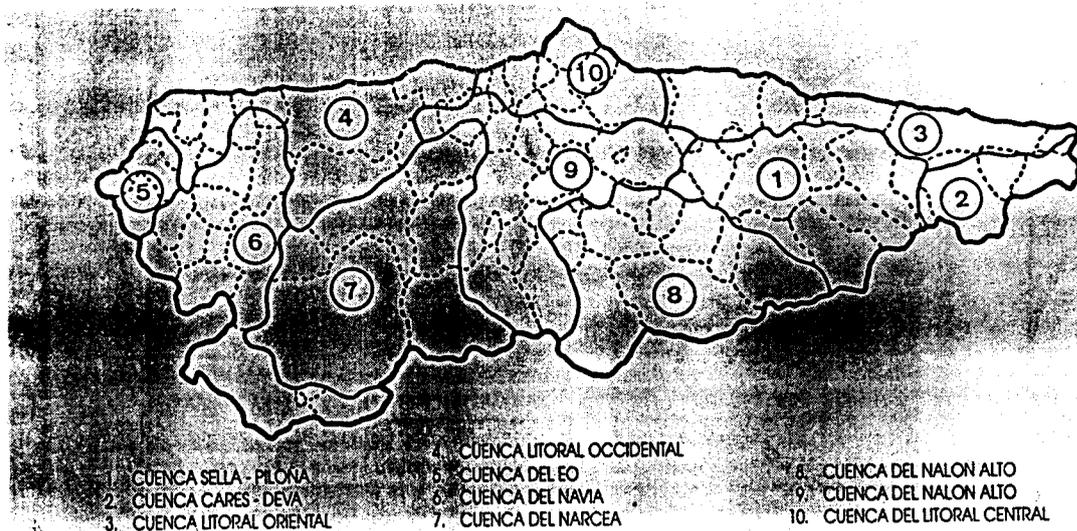
### **6.1.- LOS VERTIDOS EN LA ACTUALIDAD**

La preparación del nuevo Plan de Saneamiento del Principado ha supuesto un esfuerzo de actualización y ordenación de los datos globales de vertidos de aguas residuales de diversos orígenes, en toda la Comunidad. Para ello se ha dividido la provincia en diez cuencas, cuya distribución geográfica y extensión se recogen en la figura 12. Conforme a este reparto territorial, las zonas con condiciones hidrogeológicas favorables para la aplicación de la inyección profunda quedan englobadas en las cuencas litoral central y litoral oriental. Todos los datos recogidos en esta sección fueron tomados del citado Plan de Saneamiento (PRIHA. Principado de Asturias, 1991).

La tabla 3 contiene los datos de caudales y cargas contaminantes calculadas para las aguas residuales domésticas de las dos cuencas de interés para este estudio. Las cargas contaminantes fueron estimadas para todos los núcleos de población superiores a 50 habitantes conforme a los siguientes criterios:

90 gr MES/hab·día  
60 gr DBO<sub>5</sub>/hab·día  
14 gr N (orgánico+amoniaco)/hab·día  
4 gr P<sub>tot</sub>/hab·día

Los datos de contaminación de origen industrial se recogen en la tabla 4 agrupados por cuencas, indicando caudal y carga contaminante. Los mismos datos se aportan para la contaminación de origen pecuario ordenados según el tipo de ganado, en las tablas 5 y 6. La distribución geográfica de estos vertidos en las cuencas litoral central y litoral oriental se recogen en las figuras 13 y 14.



CUENCA	EXTENSION TOTAL (Km <sup>2</sup> )	EXTENSION EN ASTURIAS (Km <sup>2</sup> )	EXT.ASTURIAS /EXT.TOTAL (%)
1 SELLA-PILONA	1267,30	1130,86	93,2
2 CARES-DEVA	1195,51	417,23	34,9
3 LITORAL ORIENTAL	315,92	315,92	100,0
4 LITORAL OCCIDENTAL	1087,97	1087,97	100,0
5 EO	929,55	227,74	24,5
6 NAVIA	2591,26	1407,05	54,3
7 NALON ALTO	1457,32	1457,32	100,0
8 NARCEA	1350,49	1350,49	100,0
9 NALON BAJO	1584,67	1584,67	100,0
10 LITORAL CENTRAL	543,70	543,70	100,0

FIGURA 12.- Datos geográficos de la reordenación en cuencas del Principado con vistas al saneamiento de las aguas residuales.

(Fuentes: Plan de Saneamiento, PRIHA. Principado de Asturias, 1991).

TABLA 3.- Caudales y carga contaminante de las aguas residuales de origen doméstico en las cuencas favorables para la ISP

CUENCA LITORAL ORIENTAL					
CONCEJO	CAUDAL (m <sup>3</sup> /día)	DBO <sub>5</sub> (Kg/día)	MES (Kg/día)	N-NH <sub>4</sub> (Kg/día)	P <sub>tot</sub> (Kg/día)
CABRANTES	59	29,61	44,42	6,91	1,97
CARAVIA	70	30,96	46,44	7,22	2,06
COLUNGA	876	303,00	454,50	70,70	20,20
LLANES	2.221	804,78	1.207,17	187,78	53,65
RIBADESELLA	900	351,43	527,15	82,00	23,43
VILLAVICIOSA	1.615	632,16	948,24	147,50	42,14
<b>TOTAL</b>	<b>5.741</b>	<b>2.151,94</b>	<b>3.227,92</b>	<b>502,11</b>	<b>143,45</b>
CUENCA LITORAL CENTRAL					
CONCEJO	CAUDAL (m <sup>3</sup> /día)	DBO <sub>5</sub> (Kg/día)	MES (Kg/día)	N-NH <sub>4</sub> (Kg/día)	P <sub>tot</sub> (Kg/día)
AVILES	10.627,96	5.215,26	7.822,89	1.216,89	347,68
CARREÑO	3.464,46	535,14	802,71	124,87	35,68
CASTRILLON	4.319,39	1.325,10	1.987,65	309,19	88,34
CORVERA	3.529,62	1.045,44	1.568,16	243,94	69,70
GOZON	1.954,48	737,28	1.105,92	172,03	49,45
ILLAS	157,66	73,98	110,97	17,26	4,93
MUROS DEL NALON	476,20	173,28	259,92	40,43	11,55
GIJON	62.864,24	16.243,32	24.364,98	3.790,11	1.082,89
SOTO DEL BARCO	473,63	167,82	251,73	39,16	11,19
LLANERA	227,71	180,36	225,54	35,08	10,02
0					
<b>TOTAL</b>	<b>98.164,35</b>	<b>25.666,98</b>	<b>38.500,47</b>	<b>5.988,96</b>	<b>1.711,13</b>

Fuente: Plan de Saneamiento, PRIHA. Principado de Asturias, 1991.

TABLA 4.- Caudales y carga contaminante de las aguas residuales de origen industrial en las diferentes cuencas asturianas.

CUENCA	CAUDAL (m <sup>3</sup> /día)	DBO <sub>5</sub> (Kg/día)	MES (Kg/día)
CARES-DEVA	124	119	60
EO	21	1	2
LIT. CENTRAL	754.002	28.514	19.725
LIT. OCCIDENTAL	56.031	8.737	5.608
LIT. ORIENTAL	6.893	1.765	923
NALON ALTO	259.203	3.263	1.370.832
NALON BAJO	599.769	10.303	592.650
NARCEA	3.270	54	2.274
NAVIA	16.103	64	231
SELLA-PILOÑA	4.368	1.100	632
<b>TOTAL</b>	<b>1.699.884</b>	<b>53.920</b>	<b>1.992.937</b>

Fuente: Plan de Saneamiento, PRIHA. Principado de Asturias, 1991.

TABLA 5.- Producción de residuo pecuario en las distintas cuencas asturianas

CUENCA	VACUNO (m <sup>3</sup> /año)	OVINO (m <sup>3</sup> /año)	CAPRINO (m <sup>3</sup> /año)	PORCINO (m <sup>3</sup> /año)	EQUINO (m <sup>3</sup> /año)	AVICOLA (m <sup>3</sup> /año)
SELLA-PILONA	645.289	16.559	7.000	48.151	27.568	1.961
CARES-DEVA	180.811	9.651	6.057	29.414	11.170	626
LIT.ORIENTAL	728.685	4.089	707	35.700	24.266	2.160
LIT.CENTRAL	629.590	1.191	46	25.730	20.014	1.854
LIT.OCCIDENTAL	1.145.207	2.093	593	142.500	4.925	4.341
EO	142.617	703	82	17.639	7.554	403
NALON ALTO	564.922	5.648	1.500	62.422	50.363	1.369
NARCEA	837.560	5.796	4.951	159.185	57.851	3.552
NALON BAJO	1.004.363	4.196	2.232	87.167	51.512	4.016
NAVIA	494.101	2.455	1.679	52.467	34.458	1.630
TOTAL	6.355.145	52.381	24.847	660.379	334.010	21.912

Fuente: Plan de Saneamiento, PRIHA. Principado de Asturias, 1991.

TABLA 6.- Cargas contaminantes de los residuos pecuarios generados en las distintas cuencas asturianas (en Kg/día)

CUENCA	VACUNO			PORCINO			EQUINO		
	DBO <sub>5</sub>	MES	N-NH <sub>3</sub>	DBO <sub>5</sub>	MES	N-NH <sub>3</sub>	DBO <sub>5</sub>	MES	N-NH <sub>3</sub>
SELLA-PILONA	22.361	73.875	2.620	1.281	3.010	160	1.249	4.067	145
CARES-DEVA	6.265	20.700	734	782	1.839	98	506	1.648	59
LIT.ORIENTAL	25.251	83.426	2.954	950	2.231	128	1.099	3.580	128
LIT.CENTRAL	21.817	72.080	2.557	684	1.608	105	907	2.953	105
LIT.OCCIDENTAL	39.684	131.120	4.651	3.790	8.907	259	2.232	7.266	259
EO	4.942	16.327	579	469	1.103	40	342	1.114	40
NALON ALTO	18.952	62.614	2.221	2.282	3.902	265	2.282	7.430	265
NARCEA	29.023	95.890	3.401	2.621	9.950	305	2.621	8.534	305
NALON BAJO	34.803	114.988	4.079	2.334	5.449	271	2.334	7.599	271
NAVIA	17.122	56.568	2.007	1.561	3.280	181	1.561	5.083	181

Fuente: Plan de Saneamiento, PRIHA. Principado de Asturias, 1991.

PLANO DE LOCALIZACION DE VERTIDOS  
CUENCA DEL LITORAL CENTRAL

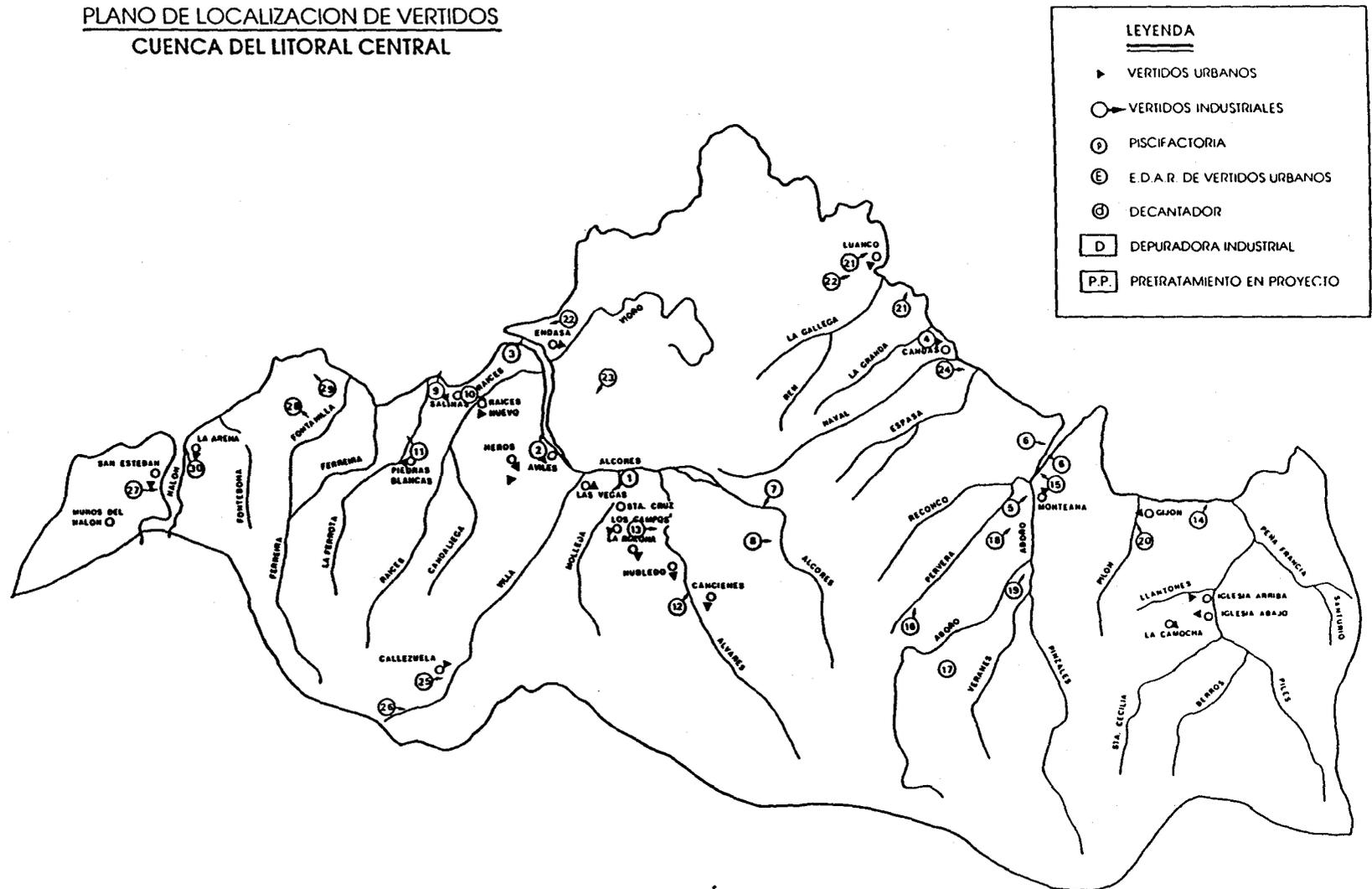


FIGURA 13.- (Fuente: Plan de Saneamiento, PRIHA. Principado de Asturias, 1991).

PLANO DE LOCALIZACION DE VERTIDOS  
CUENCA DEL LITORAL ORIENTAL

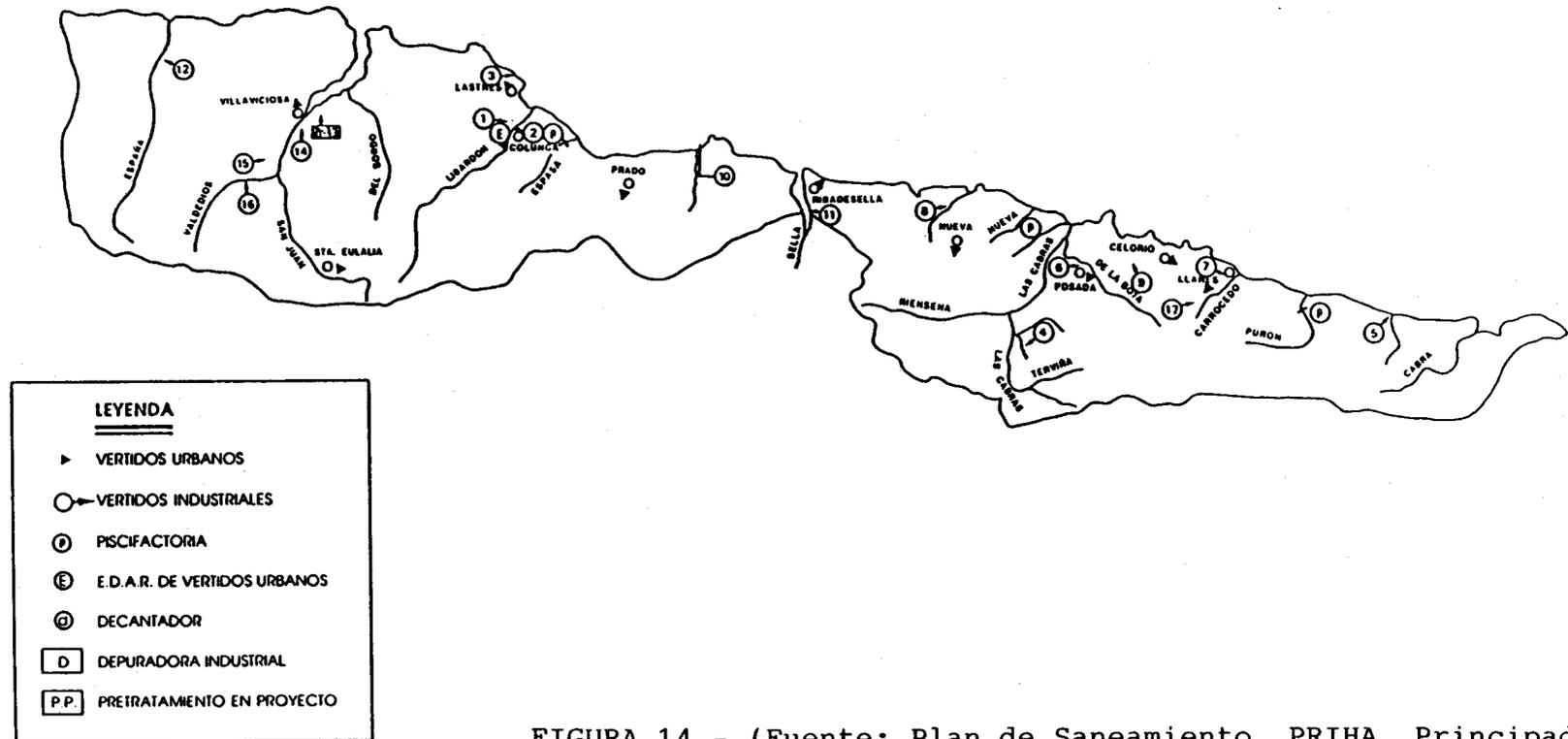


FIGURA 14.- (Fuente: Plan de Saneamiento, PRIHA. Principado de Asturias, 1991).

## **6.2.- PLAN DE SANEAMIENTO DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS**

El objetivo básico del Plan de Saneamiento del Principado de Asturias es aportar directrices para la creación de infraestructura sanitaria, de forma que se alcancen los criterios básicos de calidad de las aguas del medio receptor de los vertidos de aguas residuales. Se pretende ordenar temporalmente las actuaciones en función de la calidad pretendida para los distintos cauces, considerando factores económicos que garanticen la viabilidad del plan, definir una tarifa que cubra inversiones en obras y explotación de los sistemas, y crear un modelo de gestión y ejecución.

El Plan ha sido elaborado con los criterios adoptados por los países miembros de la Comunidad Europea en materia de medio ambiente, adaptándolos a la realidad asturiana. Los principios básicos que han inspirado su redacción son:

*Principio de solidaridad:* Todos los usuarios del agua que la contaminan han de colaborar en la consecución de los objetivos establecidos en el Plan de Saneamiento.

*Principio de equidad:* Cada usuario ha de colaborar en la ejecución del Plan proporcionalmente a la carga contaminante que su actividad produce.

*Principio de mejora progresiva:* Por imposibilidad económica de acometer todas las obras al mismo tiempo, éstas se han de programar en el tiempo según un orden de prioridades, realizando inicialmente las obras e instalaciones que suponen una mayor mejora según los objetivos del Plan.

*Principio de eficacia:* Cualquier actuación que emprenda la Administración debe tener como objetivos obtener una eficacia socioeconómica en los recursos públicos.

**Principio de respeto a las competencias municipales:**  
Atendiendo a artículos 25, 26, 28 y 86 de la Ley 7/1985 de 2 de Abril reguladora de las Bases de Régimen Local y el artículo 38 del Real Decreto 781/1986, se respetarán siempre las competencias del Municipio en materias de medio ambiente, abastecimiento y depuración de aguas.

Las líneas básicas de actuación previstas en el Plan pueden resumirse del siguiente modo:

- Construcción de la red de saneamiento de los núcleos que actualmente no la tienen, ampliación de algunas y renovación de las que se encuentran en mal estado.
- Unificación de vertidos mediante colectores de forma que se obtenga un solo punto de descarga.
- Instalación de sistemas de tratamiento con sistemas de depuración más o menos completos según caudal y características del vertido.
- En casi todos los núcleos importantes de la costa, vertido al mar mediante emisario submarino tras pretratamiento.

**7.- SOLUCIONES APORTADAS POR LA INYECCION PROFUNDA**

Tras la identificación de las áreas generales de viabilidad geológica, se ha procedido a la selección y estudio de emplazamientos concretos donde la ISP ofrece actualmente una alternativa ventajosa de eliminación frente al emisario submarino. La superposición de los criterios estructurales, de la situación de los puntos generadores de aguas residuales y de los planes de infraestructura sanitaria actualmente en estudio por el Principado de Asturias, ha llevado a la propuesta de tres emplazamientos para la eliminación de aguas residuales mediante ISP en las siguientes áreas:

- Ría de Villaviciosa
- Núcleo Colunga-La Isla-Caravia
- Ribadesella

Para la Ría de Villaviciosa se ha delimitado y caracterizado el emplazamiento desde el punto de vista geológico, se han localizado los puntos de vertido que podría sanear y se ha realizado un pre-diseño del sondeo de inyección en base a las formaciones atravesadas y las profundidades previstas de los tramos almacén y confinante. En los dos casos restantes se identifican emplazamientos muy favorables cuya caracterización requiere una campaña geofísica previa que proporcione un mayor conocimiento estructural.

En ninguna de las tres zonas mencionadas existen precedentes de operaciones de inyección, por lo que resulta necesaria una investigación previa que permita:

- Evaluar con precisión la capacidad receptora del almacén

- Confirmar la estructura del emplazamiento
- Confirmar la baja calidad del agua subterránea
- Establecer el grado de pretratamiento del agua residual necesario para obtener el rendimiento óptimo del sistema.

El estudio se ha completado con un análisis comparativo de la solución aportada por la ISP frente al emisario submarino, desde los puntos de vista económico, operativo y medio ambiental.

#### **7.1.- ELIMINACION DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL ENTORNO DE LA RIA DE VILLAVICIOSA**

Geológicamente la Ría de Villaviciosa y zonas limítrofes se encuentran dentro de la Cuenca Mesozoico-Terciaria Asturiana, por lo que el sistema de inyección planteado responde al modelo descrito en la sección 4.4, que utiliza como formación receptora objetivo la serie calcárea de la Fm Gijón, confinada por los miembros margo-calizos de Buerres y Santa Mera, pertenecientes a la Fm Rodiles.

#### **Puntos generadores de aguas residuales:**

En la actualidad la Ría de Villaviciosa recibe numerosos aportes de aguas residuales de diferentes orígenes. La carga contaminante más importante es la transportada por el Río de la Ría, cuyo saneamiento, además de la eliminación de vertidos en la zona de Villaviciosa, requiere actuaciones en partes más altas de la cuenca no incluíbles en el sistema propuesto.

El núcleo de población de Villaviciosa y las

industrias con asentamiento en la zona (lácteos y sidra principalmente) son las fuentes generadoras de aguas residuales más importantes. Existen también aportes de actividades ganaderas y de campings situados en las proximidades de la costa. (figura 15)

Los caudales y cargas contaminantes de los principales aportes se resumen en las tablas 7 y 8.

#### **Emplazamiento:**

La tranquilidad tectónica del entorno de la Ría de Villaviciosa permite el planteamiento de una operación de inyección en cualquiera de sus dos márgenes. Sin embargo, la situación de los puntos generadores de aguas residuales hace más sencilla la unificación de vertidos sobre la margen derecha, como se contempla en los planes de saneamiento de Villaviciosa elaborados por el Principado de Asturias. Los estudios de anteproyecto prevén la instalación de un emisario submarino en las proximidades de Rodiles, por lo que se ha escogido esta zona para la selección del emplazamiento del sistema de inyección.

En la figura 16 se observa la disposición de los afloramientos jurásicos alrededor de la Ría. A partir de la punta de Rodiles, la cobertera se hace progresivamente más potente hacia el Este. Para delimitar la zona más favorable para la instalación del sistema de inyección se ha considerado la banda más próxima a la costa, manteniendo un rango de potencias de cobertera que no sea escaso ni suponga la perforación de metros adicionales innecesarios. En el área rayada el flujo normal del agua subterránea va en dirección al mar y se espera una mala calidad del agua. Los cortes geológicos de la figura 17 muestran la buena continuidad de los niveles

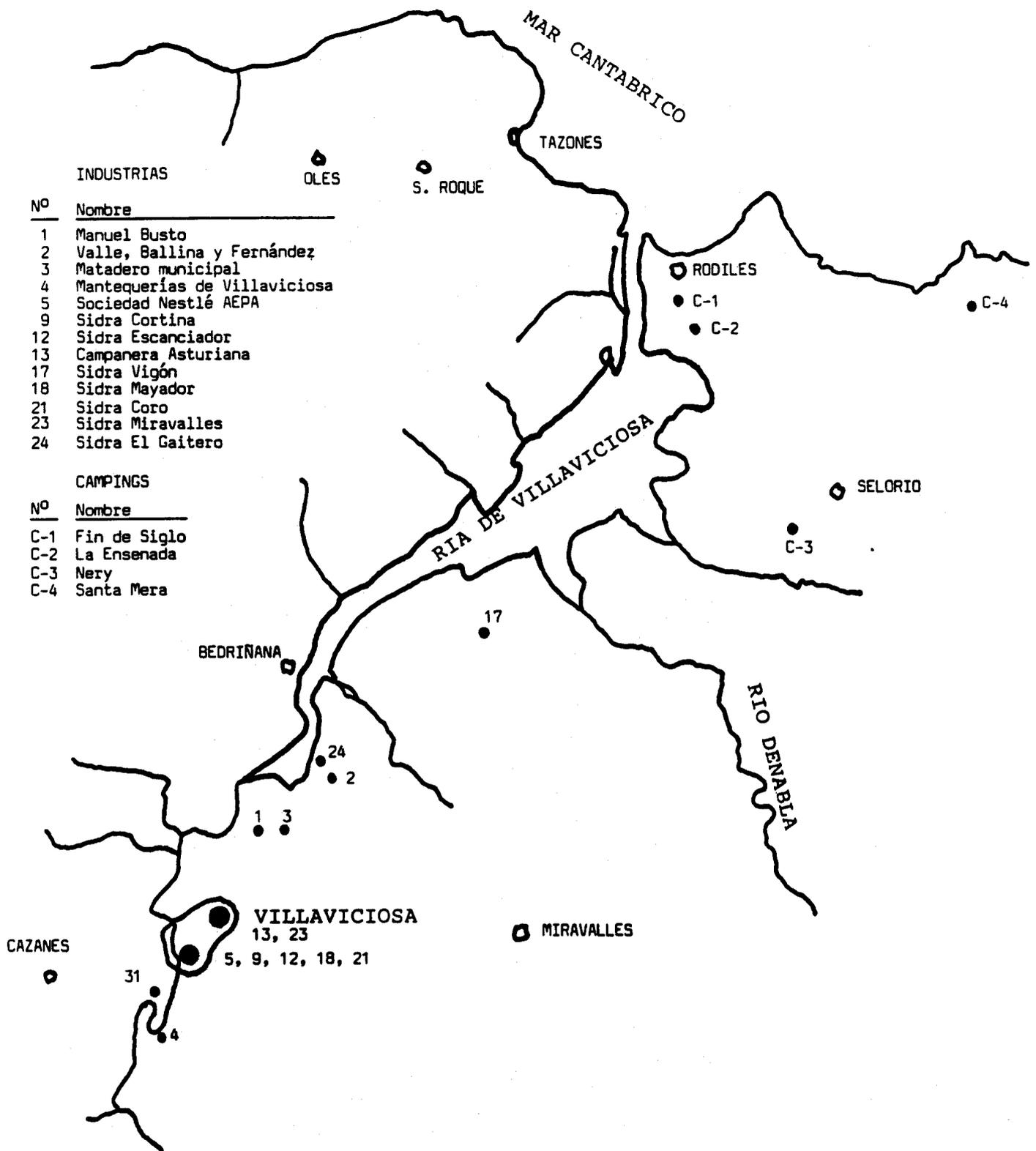


FIGURA 15.- Situación de los principales puntos generadores de aguas residuales en el entorno de la Ría de Villaviciosa.

(Fuente: Plan de restauración de la Ría de Villaviciosa. Principado de Asturias, 1986).

TABLA 7.- Datos de los principales vertidos a la Ría de Villaviciosa

FUENTE	CAUDAL (m <sup>3</sup> /día)	M.E.S. (Kg/día)	DQO (Kg/día)	DBO <sub>5</sub> (Kg/día)	N-NH <sub>3</sub> (Kg/día)	N-NO <sub>3</sub> (Kg/día)	N-TOT (Kg/día)	P-PO <sub>4</sub> (Kg/día)	ACEITES Y GRASAS (Kg/día)	FENOLES (Kg/día)
Río de la Ría	50.371	203	1.027	152	2,9	184,6	219,5	4,86	-	<0,813
Canal Nestlé	11.103	55	2.219	231	9,2	-	12,0	0,50	46	0,231
Colector Salín	2.618	278	823	398	28,5	-	43,5	11,7	164	-
Depuradora Nestlé	1.008	14	81	5	-	-	0,7	14,0	96	-
Matadero Municipal	32	11	60	36	-	-	1,7	0,85	14	-
Sidra El Gaitero	265	58	390	161	-	-	19,8	0,13	-	-
Río Denabla	16.811	60	93	24	1,5	50,0	62,4	0,87	-	0,314

Datos nov-1985

Fuente: Plan de restauración de la Ría de Villaviciosa. Agencia de Medio Ambiente, Principado de Asturias, 1986.

TABLA 8.- Datos de vertidos de salida de las depuradoras de campings situados en la margen este de la Ría de Villaviciosa

NOMBRE DEL CAMPING	POBLACION SERVIDA	CAUDAL MEDIO (m <sup>3</sup> /h)	CAUDAL PUNTA (m <sup>3</sup> /h)	M.E.S. (Kg/m <sup>3</sup> )	DBO <sub>5</sub> (Kg/m <sup>3</sup> )
Nery	100	0,83	2,50	40	34
Playa España	600	3,75	11,25	116-176	52-320
Fin de Siglo	105	-	-	-	-
La Ensenada	175	-	-	-	-

Fuente: Estado actual de las instalaciones de depuración y bases para tratamiento y gestión de fangos. Agencia Medio Ambiente del Principado de Asturias - Ingenieros Asesores, S.A., 1989-90.

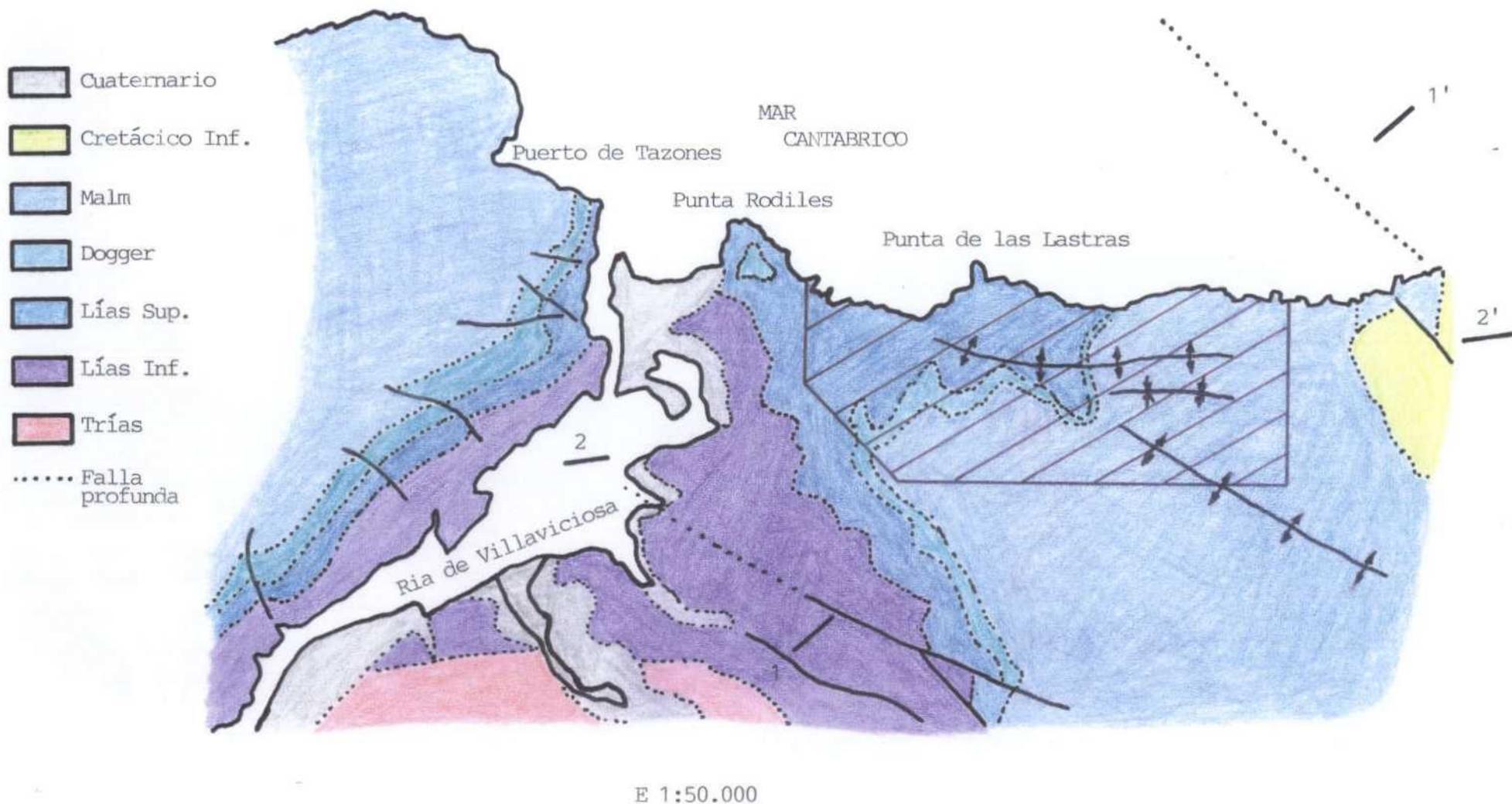


FIGURA 16.- Esquema geológico simplificado del entorno de la Ría de Villaviciosa y zona seleccionada para emplazamiento de ISP.

(FUENTE: ITGE, Magna 1:50.000 hoja 15-Lastres).

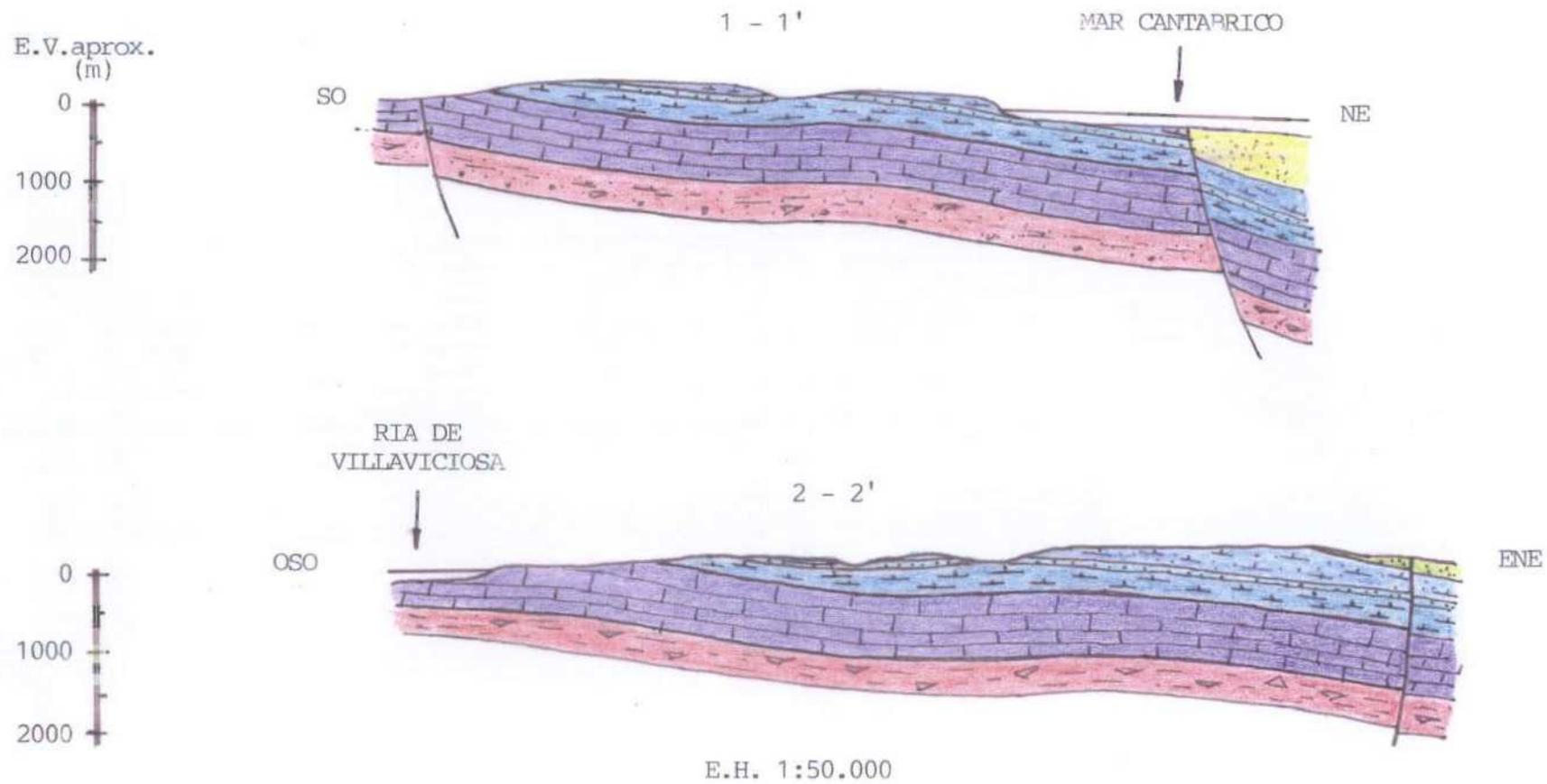


FIGURA 17.- Cortes geológicos interpretativos en el área seleccionada para la instalación de un sistema de inyección.

almacén y confinante, con un buzamiento de 5-10° en dirección al mar y un leve plegamiento. Dentro de esta área, la mejor ubicación para un sondeo de inyección serían los alrededores del pueblo de Santa Mera, hacia Punta de las Lastras. En este punto el sondeo quedaría muy próximo al mar y al norte de una suave estructura anticlinal paralela a la costa, existente entre Prado del Pino y Santa Mera. El espesor de la cobertera confinante se estima aquí en unos 350 metros, aproximadamente.

#### **Diseño conceptual del sondeo de inyección:**

En el emplazamiento descrito la perforación comenzaría sobre el nivel confinante hasta una profundidad aproximada de 350 metros, a la que se cortarían el techo de la formación receptora. La potencia del tramo útil de almacén se estima en unos 150 metros, por lo que el sondeo alcanzaría una profundidad total de 500 metros.

El acabado del sondeo propuesto es del tipo *open-hole* sobre la zona de inyección, con doble tubería de acero sobre el intervalo confinante: casing final de 6"φ hasta 350 m y casing de superficie de 9<sup>5/8</sup>"φ hasta 100 m de profundidad. Ambas tuberías van cementadas hasta superficie (figura 18). Un sondeo de estas características tiene una capacidad máxima de inyección de 44.5 l/s (160.2 m<sup>3</sup>/h).

Es aconsejable la perforación del tramo confinante con técnica rotary y lodo, con diámetro nominal de 8<sup>1/2</sup>" hasta 350 metros y reperforación a 12<sup>1/4</sup>" para la instalación del casing de superficie. Para la perforación del almacén la técnica idónea es la rotary con circulación inversa mediante inyección de aire (*reverse-air*), una vez que la formación comienza a producir agua. En caso de perforación con lodo de este tramo debe realizarse un desarrollo intensivo del pozo mediante *air-lift*. La máquina de

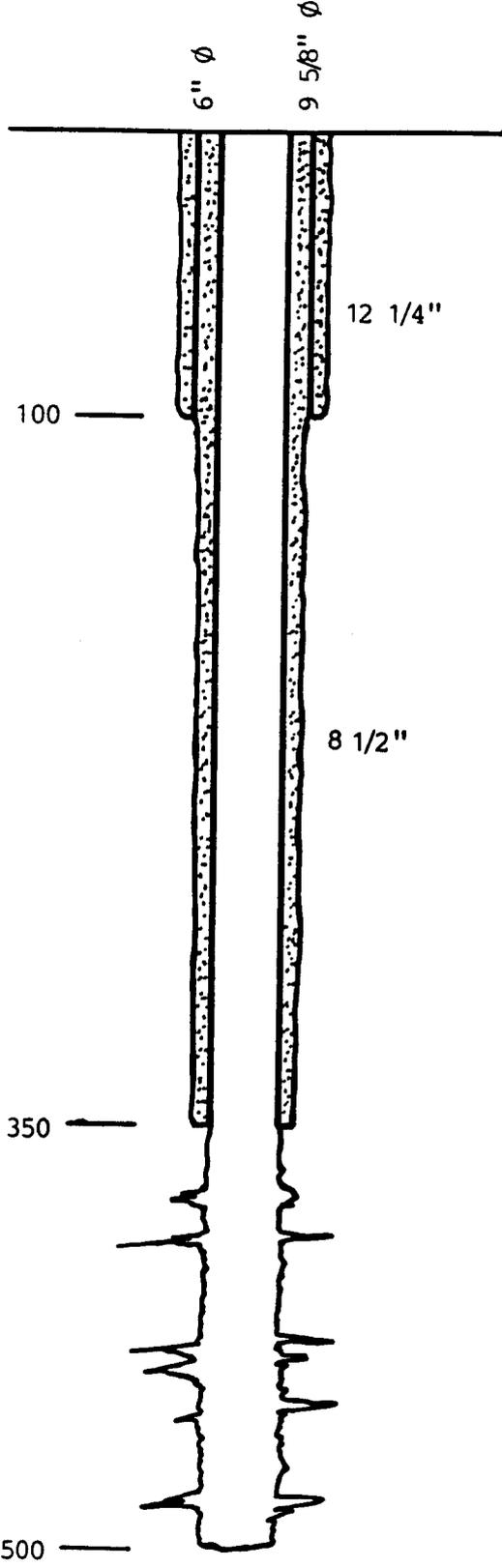


FIGURA 18.- Esquema de acabado del sondeo de inyección.

perforación aconsejable ha de ser del tipo Mayhew-2500 o similares.

El coste aproximado de construcción de un sondeo de estas características es de 45 millones de pesetas, y el plazo de ejecución aproximado de 1.5-2 meses. En caso de que fuese necesario alcanzar objetivos fuera de la vertical del emplazamiento del sondeo, podría perforarse un sondeo desviado con un coste adicional aproximado comprendido entre el 15-20% de la perforación vertical.

#### **7.2.- ELIMINACION DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL NUCLEO COLUNGA-LA ISLA-CARAVIA**

El área está situada sobre el borde de la Cuenca Mesozoico-Terciaria Asturiana, en el que sedimentos jurásicos y triásicos descansan sobre un zócalo carbonífero de notable complejidad estructural. En este caso la formación receptora objetivo es la Caliza de Montaña carbonífera, dentro del bloque situado al norte de la falla de dirección NO-SO que pasa por Gobiendes (figura 19). Los niveles impermeables del Triás aportan confinamiento al almacén calcáreo carbonífero.

#### **Puntos generadores de aguas residuales:**

El origen de las aguas residuales de la zona es principalmente doméstico, no habiendo aportes importantes de origen industrial. Los datos disponibles sobre focos generadores son incompletos, habiéndose recopilado y situado (tabla 9 y fig. 20) los correspondientes a estaciones depuradoras existentes en la zona.

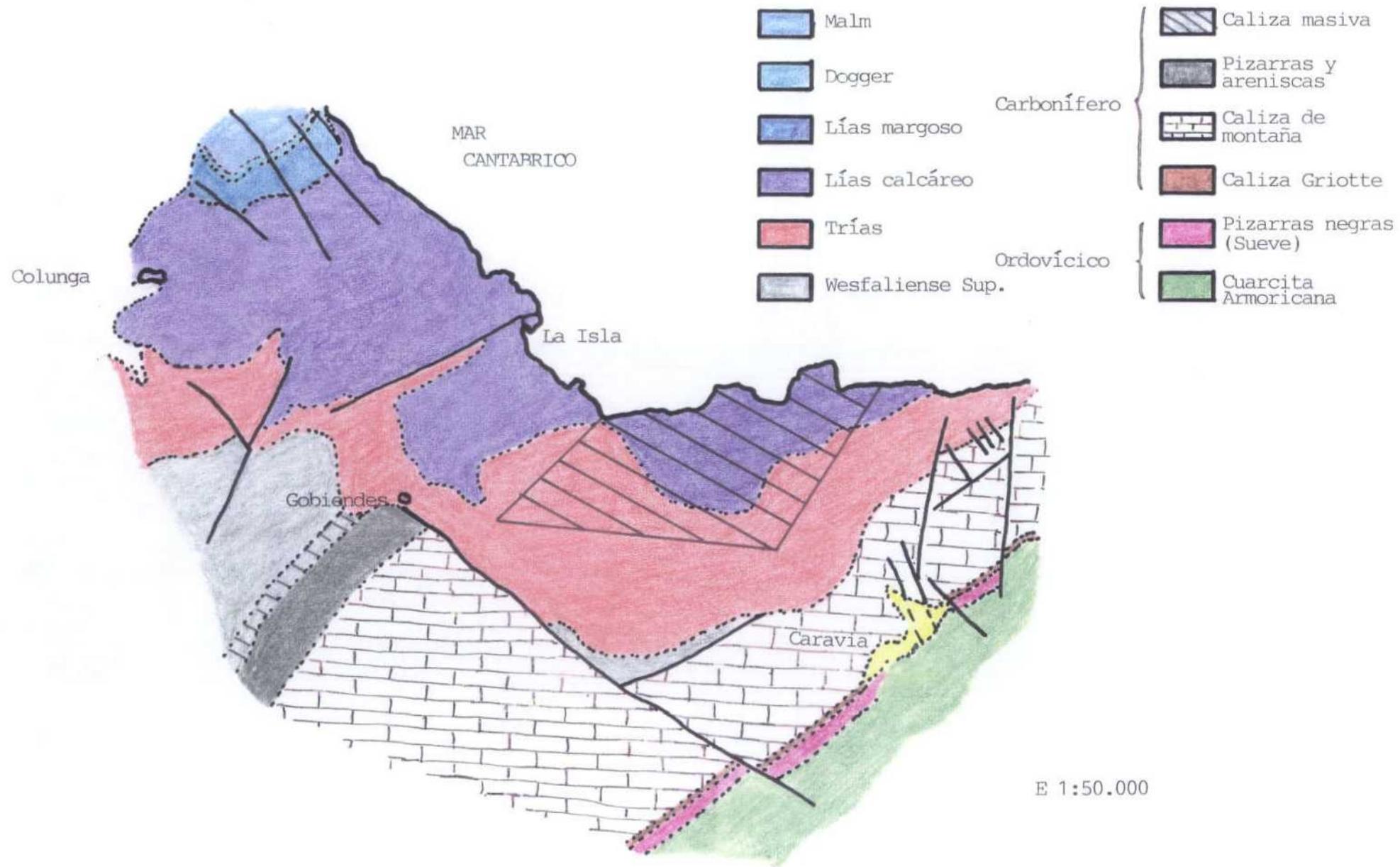


FIGURA 19.- Esquema geológico simplificado del área Colunga-La Isla-Caravia y zona seleccionada para emplazamiento de ISP.  
(Fuente: ITGE, Magna 1:50.000 hoja 30-Villaviciosa).

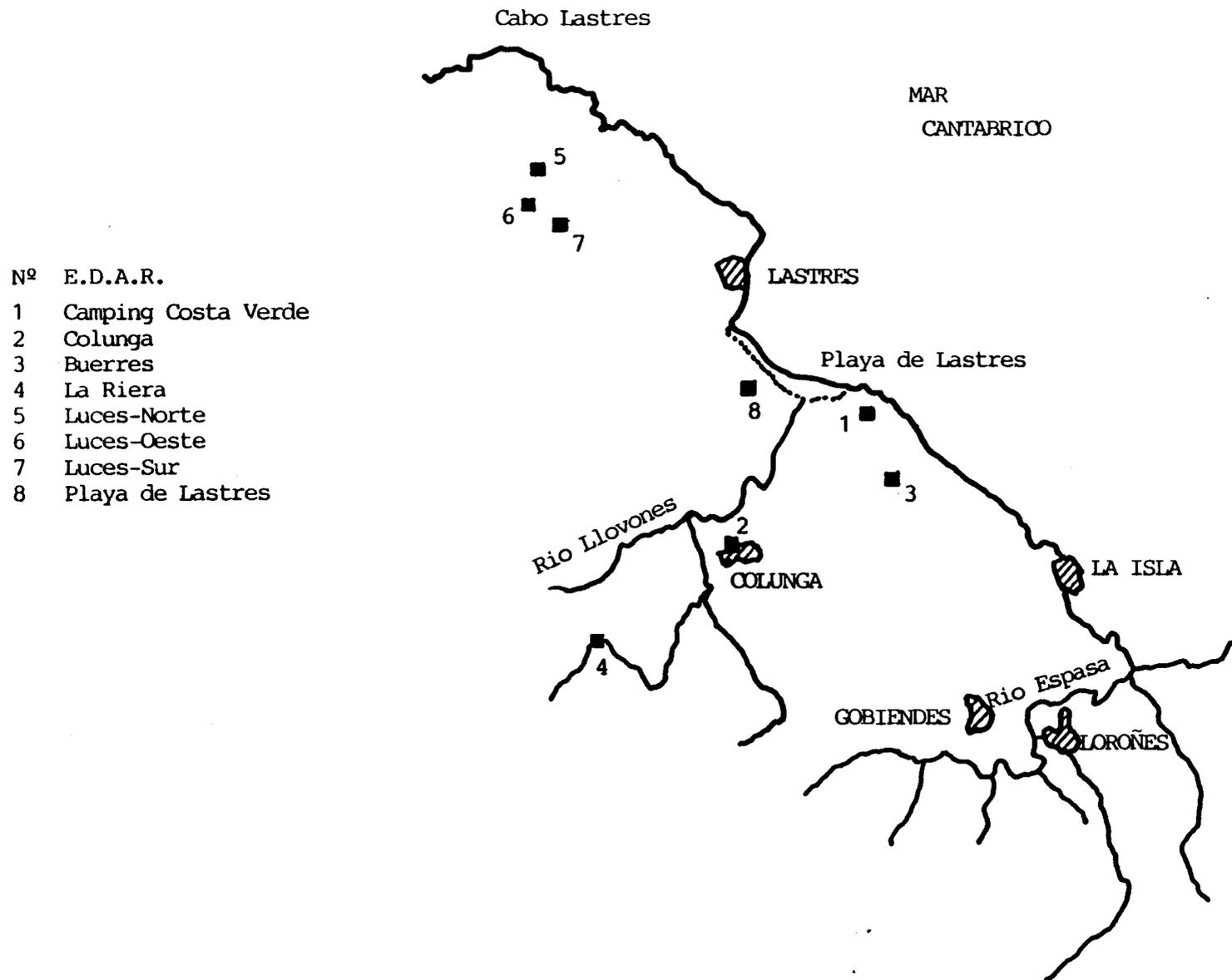


FIGURA 20.- Situación de estaciones depuradoras de aguas residuales en el área de Colunga.

TABLA 9.- Datos de vertidos procedentes de depuradoras en el área de Colunga

ESTACION	POBLACION SERVIDA	CAUDAL MEDIO (m <sup>3</sup> /h)	CAUDAL PUNTA (m <sup>3</sup> /h)	M. E. S. (Kg/m <sup>3</sup> )	DBO <sub>5</sub> (Kg/m <sup>3</sup> )
Camping Costa Verde	560	3,50	8,40	152	320
Colunga	2.400	20,00	48,00	76	35
Buerres	200	1,25	3,00	-	-
La Riera	0	1,36	3,27	-	-
Luces-Norte	250	2,10	5,00	-	-
Luces-Oeste	100	0,83	2,00	-	-
Luces-Sur	250	2,10	5,00	-	-
Playa de Lastres	205	1,72	5,17	180/192	36/536

Fuente: Estado actual de las instalaciones de depuración y bases para tratamiento y gestión de fangos. Agencia de Medio Ambiente del Principado de Asturias - Ingenieros Asesores, S.A., 1989-90.

### Emplazamiento:

En la síntesis geológica de la figura 19 se observa la disposición de los materiales mesozoicos sobre el bloque fallado de la Caliza de Montaña carbonífera. El área rayada representa una zona a priori favorable para el planteamiento de un sistema de inyección. En ella, el nivel almacén aparece confinado por la serie impermeable triásica y su proximidad al mar facilita la presencia de agua subterránea salobre. La continuidad lateral de la Caliza de Montaña bajo la zona seleccionada es discutible con la información actualmente disponible, por lo que se propone la realización de una campaña sísmica que aporte conocimiento estructural en detalle para confirmar la viabilidad en esta zona y localizar el contacto Bunt-Carbonífero, determinando las profundidades alcanzadas por cada uno de los niveles. En este estado de conocimiento no puede adelantarse un diseño para el sondeo de inyección.

### 7.3.- ELIMINACION DE AGUAS RESIDUALES EN RIBADESELLA

Los afloramientos jurásicos situados al oeste de la

playa de Ribadesella abren la posibilidad de utilizar el almacén calcáreo del Lías Inferior para la eliminación de aguas residuales en los límites del borde de la Cuenca Mesozoico-Terciaria Asturiana. El modelo de inyección aplicable es así mismo el descrito en la sección 4.4, en el que la Fm Gijón y la Fm Rodiles aportan niveles almacén y confinante respectivamente.

Así mismo, las calizas masivas del Carbonífero presentes en la misma localidad de Ribadesella constituyen un buen almacén utilizable con el mismo fin, sobre la margen este del río Sella. Los niveles suprayacentes del Jurásico mantendrían confinados los efluentes en el dominio marino.

#### **Puntos generadores de aguas residuales:**

En la actualidad se encuentra en marcha la preparación del Proyecto de Saneamiento de Ribadesella a cargo del Servicio de Obras Hidráulicas de la Dirección General de Obras Públicas del Principado de Asturias. El proyecto incluye, entre otras realizaciones, la construcción de una red unitaria de saneamiento, estaciones de bombeo, estación de pretratamiento y un emisario submarino de 1020 metros de longitud (400 mm  $\phi$ ). En él se prevé la unificación de aguas residuales de todos los orígenes junto con las escorrentías de tormenta y la regulación del río San Miguel. El conjunto será bombeado desde cinco estaciones y tendrá salida al mar a través del emisario submarino situado en la zona de La Atalaya. Muy próximo a este punto podría instalarse un sistema de inyección alternativo.

Adicionalmente, hacia el oeste de Ribadesella existen campings y pequeños pueblos no incluidos en este proyecto de saneamiento.

TABLA 10.- Datos de vertidos procedentes de depuradoras de campings en el área de Ribadesella

ESTACION	POBLACION SERVIDA	CAUDAL MEDIO (m <sup>3</sup> /h)	CAUDAL PUNTA (m <sup>3</sup> /h)	MES (Kg/m <sup>3</sup> )	DBO <sub>5</sub> (Kg/m <sup>3</sup> )
Los Sauces	600	3.75	9.00	-	-
Playa Vega	216	1.35	3.24	76/240	82/317

Fuente: Estado actual de las instalaciones de depuración y bases de tratamiento de fangos. Agencia de Medio Ambiente del Principado de Asturias - Ingenieros Asesores, S.A., 1989-90.

### Emplazamientos:

Al oeste de Ribadesella, en la franja de costa comprendida entre la Playa de Vega y la desembocadura del río Sella, afloran los materiales jurásicos con continuidad hacia el mar. Su disposición estructural, con buzamientos comprendidos entre 45° y 75° y diversas fallas (figura 21), junto con la falta de datos sísmicos, no permite una buena caracterización del emplazamiento; sin embargo, sí son reconocibles los niveles calcáreos del almacén (Fm Gijón) y la serie margo-caliza confinante (Fm Rodiles). La potencia de esta última utilizada para el confinamiento en la zona continental dependerá en gran medida de la situación de los sondeos. A falta de una prospección sísmica local, se estima que ambos niveles tienen continuidad en el dominio marino, lo que aportaría capacidad receptora para la eliminación de aguas residuales.

Al borde Este del núcleo de Ribadesella, sobre el contacto Jurásico-Carbonífero próximo a la costa, se ha seleccionado otro posible emplazamiento para un sistema de inyección. En este caso, la formación receptora es la caliza masiva carbonífera, que muestra en la zona una gran transmisividad, debida a karstificación bien desarrollada. Si se confirmara su continuidad hacia el mar bajo la serie jurásica, se dispondría de un almacén de elevada capacidad que podría evacuar caudales

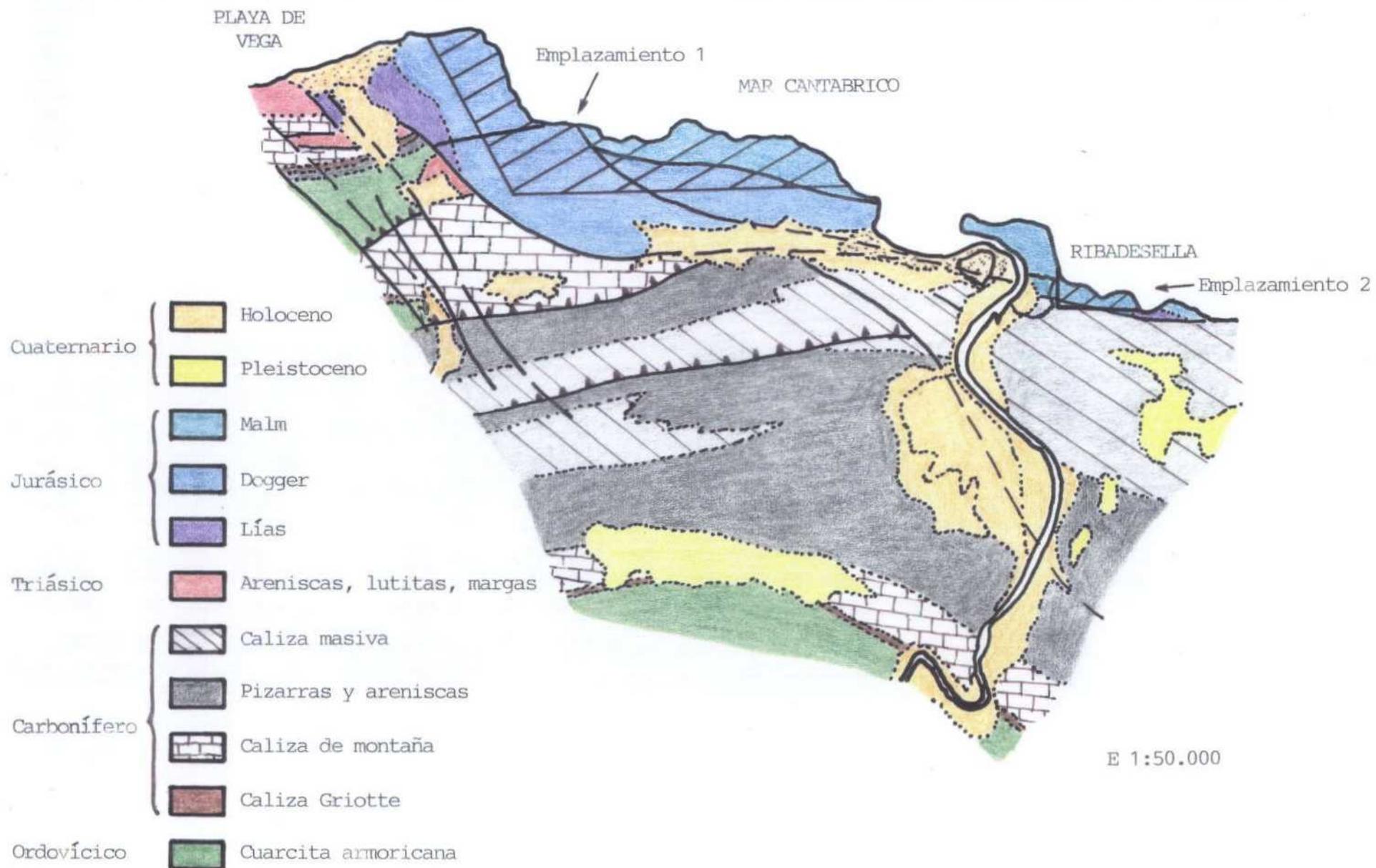


FIGURA 21.- Esquema geológico simplificado del área de Ribadesella y zona seleccionada para emplazamiento de ISP.  
 (Fuente: ITGE, Magna 1:50.000 hoja 31-Ribadesella).

muy superiores a los estimados para el Lías calcáreo, dentro del dominio de agua salada. Su localización, muy próxima al emisario proyectado, hace de este emplazamiento una alternativa de extraordinario interés. Por ello, se recomienda su investigación mediante técnicas geofísicas para su caracterización definitiva.

Las áreas rayadas delimitan las zonas más favorables para la instalación de sondeos de inyección. Con el actual conocimiento estructural no es posible la realización de un diseño para el sondeo de inyección, pero ha de considerarse la posibilidad de especificar una perforación con desviación notable en dirección al mar.

#### **7.4.- LA ISP COMO ALTERNATIVA A LOS EMISARIOS SUBMARINOS**

En las zonas costeras en las que la geología es propicia, la inyección mediante sondeos profundos supone una importante alternativa como medio seguro para eliminar grandes caudales de aguas residuales, evitando toda descarga al mar. Los fluidos así evacuados permanecerán confinados indefinidamente a igual que el agua nativa de la formación, en ocasiones muy antigua y contenida en el seno de la roca desde hace millones de años.

En las zonas costeras, el Plan de Saneamiento elaborado por el Principado de Asturias prevé como principal medio de eliminación de los efluentes tratados, la construcción de emisarios submarinos que se adentran en el mar unos 800 a 1000 metros y vierten las aguas residuales en un lugar propicio para su dispersión.

Desde el punto de vista medioambiental, la ISP elimina totalmente el impacto de los vertidos al aislarlos de la

biosfera en el interior de formaciones que contienen agua de elevada salinidad y que no suponen recurso económico alguno. Adicionalmente, se instala un sistema de sondeos de control que permita detectar cualquier efecto de la inyección sobre los acuíferos próximos, en caso de que existan. Sin embargo, las emisiones de aguas residuales a través de emisarios tienen impacto directo sobre el medio marino en el punto de descarga y sus alrededores. Con frecuencia, especialmente en mares muy dinámicos como el Mar Cantábrico, las tuberías de los emisarios sufren roturas en puntos próximos a la costa, provocando la descarga accidental de las aguas residuales de toda el área gestionada por el emisario.

Desde el punto de vista constructivo, la perforación, ensayo y acabado de los sondeos de inyección y vigilancia no suponen problemas técnicos especiales. El riesgo para la integridad mecánica de una instalación de inyección es muy bajo o prácticamente nulo (posibilidad de terremotos locales), y su vida media es, como mínimo, de 20 años. Por contra, la instalación de emisarios supone la realización de trabajos submarinos dificultosos en condiciones muy variables, y los riesgos que comprometen su integridad mecánica son muy altos, dando lugar a frecuentes roturas.

El coste de los sondeos de inyección varía fundamentalmente en función de su capacidad máxima (diámetro) y de su profundidad. En almacén jurásico se prevé un caudal máximo por sondeo de unos 45 l/s y una profundidad total media de unos 500 metros, para los que el diseño de base es el indicado en la figura 18. El coste aproximado de un sondeo de estas características es de 45 Mpts, a los que habría que añadir entre un 15% y un 20% adicional si se especifica un sondeo desviado. En las calizas carboníferas la capacidad receptora puede ser muy superior (si bien no hay datos para cuantificarla), lo que permitiría especificar sondeos de más diámetro.

Los costes de construcción de los emisarios oscilan entre las 300000 pts por metro lineal (300 mm  $\phi$ ) y las 800000 pts por metro lineal (600 mm  $\phi$ ), en función del diámetro de la tubería. Esto supone que el precio de un emisario de 1000 m de longitud oscila entre los 300 Mpts y los 800 Mpts, aproximadamente. En puntos en los que la capacidad de evacuación de los sondeos de inyección pudiera ser inferior a la de los emisarios, sería necesario instalar baterías de varios sondeos para atender una demanda similar, pudiendo resultar en costes totales del mismo orden. Sin embargo, aún en el caso más desfavorable, en que la capacidad de inyección en la línea de costa sea similar a la conocida en el interior, los sondeos permiten aumentar la capacidad del sistema de forma escalonada, repartiendo las inversiones sobre plazos más largos de tiempo y obteniendo en todo momento el máximo rendimiento de la inversión realizada.

Los costes de operación de los sistemas de inyección tienen su principal partida en la energía consumida para el bombeo, puesto que los sistemas de monitoring automatizados reducen al máximo el personal necesario en este tipo de instalaciones. El mantenimiento básico consiste en la estimulación periódica de los sondeos cada 3 a 5 años, renovación de pequeño material, revisiones periódicas de la instrumentación y otros trabajos de menor entidad. Según la experiencia norteamericana, el coste total anual de operación y mantenimiento de los sistemas de inyección (incluyendo sondeos de inyección y vigilancia) varía estadísticamente entre un 6-8% del valor de las inversiones en instalaciones.

La clave de una inyección satisfactoria radica en disponer de un almacén confinado con buenas características hidráulicas y en la inyección de un fluido que no dañe la formación receptora. La confirmación de estas condiciones geológicas en zonas en las que no existen precedentes de

operaciones de este tipo, requiere la perforación de un sondeo piloto de investigación que posteriormente puede ser acabado como sondeo de inyección. Esto supone una inversión previa en labores investigadoras que, aunque costosas, son compensadas por las ventajas económicas y medioambientales que la inyección ofrece frente a los emisarios submarinos.

En la tabla 11 se hace una síntesis comparativa de los emisarios submarinos y los sistemas de inyección profunda.

TABLA 11.- Cuadro comparativo ISP-Emisarios Submarinos

	ISP	EMISARIO SUBMARINO
Gestión del agua residual	Aislamiento indefinido	Dispersión
Elemento receptor	Subsuelo profundo	Aguas costeras
Vigilancia directa del medio receptor	Sí	No
Efluente en contacto con la biosfera	No	Sí
Influencia sobre otros recursos	No	Sí (medio marino)
Influencia sobre calidad sanitaria de las aguas	No	Sí
Nivel de pretratamiento requerido	MES, (materia orgánica)	Especificado por regulaciones
Requerimiento de bombeo	Sí	Sí
Posibilidad de aumento gradual de la capacidad de la instalación	Sí	Sí
Vida media de la instalación	> 20 años	Indeterminada
Mantenimiento	Sí	Sí
Riesgo de fallo de integridad mecánica	Muy bajo	Alto
Personal operador	Si (1 persona)	No
Necesidades de terreno	Hasta 30x40 m. durante la perforación	No
Investigación previa	Sí	No

## **8.- RESUMEN Y CONCLUSIONES**

El Instituto Tecnológico GeoMinero de España está llevando a cabo, dentro del territorio peninsular español, un programa de evaluación de zonas favorables para la inyección mediante sondeos profundos. De entre las zonas seleccionadas, el Principado de Asturias es una región en la que la inyección profunda podría jugar un importante papel en la gestión de aguas residuales.

En la actualidad está desarrollándose el Plan de Saneamiento elaborado por la Administración del Principado de Asturias, para la gestión de los vertidos y la adaptación progresiva a los requerimientos medioambientales de la Comunidad Europea. El Plan contempla la construcción de emisarios submarinos como medio principal de eliminación de los efluentes tratados en las zonas costeras. La revisión de la información geológica disponible, de los datos de vertidos y de las actuaciones previstas en materia de saneamiento, permiten delimitar las zonas de aplicabilidad, establecer modelos de inyección y proponer soluciones alternativas concretas. El análisis comparativo muestra que el empleo de sistemas de inyección profunda en las áreas geológicamente favorables del Principado, es una alternativa a los emisarios ventajosa desde los puntos de vista económico y medioambiental.

La presencia de niveles de transmisividad elevada con suficiente continuidad, solamente en la zona centro-oriental de la provincia y la buena calidad del agua subterránea en el conjunto regional, son los factores restrictivos más importantes de la inyección en Asturias. Geográficamente, las zonas

inicialmente favorables quedan reducidas a la franja costera de Gijón-Ribadesella. Desde el punto de vista hidrogeológico las zonas de viabilidad quedan englobadas en dos grandes áreas: (1) banda litoral de la Cuenca Meso-Terciaria y (2) acuíferos costeros de la zona oriental.

En la banda litoral de la Cuenca Meso-Terciaria, la suavidad tectónica general favorece la continuidad lateral de los depósitos mesozoicos en toda la cuenca. La serie del Jurásico marino ofrece niveles a priori muy favorables para la inyección profunda. El tramo calco-dolomítico del Lías calcáreo presenta características hidráulicas, potencia y continuidad lateral adecuadas para admitir importantes volúmenes de fluido. Sobre él se sitúa el tramo impermeable de las ritmitas del Lías margoso, que aísla hidráulicamente a los dos acuíferos importantes de la zona. Se estima que este nivel, por su potencia y continuidad en los dominios marinos, constituye un confinante idóneo que garantiza el aislamiento los efluentes inyectados, impidiendo su migración vertical hacia los dominios superficiales. La calidad del agua subterránea en este sistema hidrogeológico es buena en todo el dominio continental, por lo que la inyección profunda debe tener su objetivo en zonas saturadas de agua salada próximas a la costa. La distribución del gradiente hidráulico en la banda costera forzaría a los efluentes inyectados en dirección al mar. De este modo se obtendría el aprovechamiento de un espacio subterráneo carente de recursos dentro del dominio marino.

Se ha estudiado la aplicación directa de este modelo de inyección a la eliminación de aguas residuales en el entorno de la Ría de Villaviciosa. El sistema planteado sitúa los sondeos de inyección sobre la margen este de la ría, en las proximidades de Santa Mera. Un primer diseño conceptual presenta sondeos de inyección de 500 metros de profundidad total, con una capacidad de eliminación estimada de 45 l/s y un coste

aproximado de construcción de 45 Mpts, por cada sondeo. La confirmación de estas especificaciones requiere la perforación previa de un sondeo piloto de investigación que puede ser acabado finalmente como sondeo de inyección. Las características hidrogeológicas del emplazamiento permiten la utilización de sondeos de vigilancia de bajo coste.

La presencia de materiales jurásicos al oeste de la localidad de Ribadesella, abre la posibilidad de utilización de este mismo modelo de inyección para la eliminación de las aguas residuales generadas por las poblaciones comprendidas entre Playa de Vega y Ribadesella. Sin embargo, la caracterización de este emplazamiento para la elaboración de un diseño de sistema de inyección requiere un mayor conocimiento estructural, que debería alcanzarse con el empleo de técnicas geofísicas y sondeos exploratorios.

En la zona costera oriental, también afloran otras formaciones potencialmente utilizables en un sistema de inyección. La Caliza de Montaña y la Formación Picos presentan buenas características receptoras de fluido, debidas principalmente a fracturación y karstificación bien desarrolladas. Existen además niveles de baja permeabilidad que aportan buen confinamiento a los niveles almacén. Aunque la compleja tectónica de la zona no permite establecer modelos de inyección de carácter regional, en las zonas más próximas a la costa se observa una mayor continuidad lateral de las formaciones objetivo. Estos acuíferos tienen mucho interés por la gran capacidad receptora que aportan sus frecuentes karsts. Sus posibilidades de utilización dependen únicamente de la selección de una estructura adecuada y de su caracterización mediante una investigación geofísica previa.

Se han identificado dos emplazamientos de este tipo, a priori capaces de dar solución a la eliminación de aguas

residuales en la zona:

- En la localidad de Ribadesella, sobre la margen Este del río Sella, la caliza masiva del Carbonífero aparece muy karstificada y recubierta por las series jurásicas sobre la misma línea de costa. La confirmación de la continuidad de la estructura hacia el mar, aportaría un medio receptor de alta capacidad que permitiría dar alternativa al emisario proyectado.

- En el área Colunga-La Isla-Caravia, el nivel receptor es la Caliza de Montaña carbonífera, que aparece confinada por sedimentos impermeables del Triásico. Este emplazamiento podría permitir la instalación de un sistema de inyección que diera solución al futuro saneamiento de la zona.

El conocimiento estructural actual de estos dos emplazamientos de gran capacidad es aún escaso, por lo que se recomienda su caracterización mediante una prospección geofísica que incluya campañas sísmicas y electromagnéticas, así como la realización final de un sondeo de investigación en los puntos seleccionados como de mayor interés. Este sondeo de investigación, caso de ser positivo y prosperar la operación, podría quedar constituido como sondeo de vigilancia y control de la inyección.