CARACTERIZACIÓN ADICIONAL DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA

MSBT: ES091MSBT100 - BOIX-CARDÓ

CONTENIDO

1.- IDENTIFICACIÓN DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA
1.1 Identificación y ámbito administrativo
1.2 Caracterización funcional y territorial
1.3 Población asentada
1.4 Mapa de localización y topográfico

2.- PRESIONES, IMPACTOS Y RIESGOS
2.1 Presiones significativas en la MSBT
2.2 Impactos en la MSBT
2.3 Riesgo de la MSBT

3.- CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GENERALES
3.1 Ámbito geoestructural
3.2 Mapa geológico
3.3 Naturaleza y extensión de los afloramientos
3.4 Columna litológica tipo
3.5 Cortes geológicos
3.6 Descripción geológica

4.- SUELOS Y VULNERABILIDAD
4.1 Zona no saturada (Z.N.S.)
4.2 Suelos edáficos
4.3 Mapa de suelos
4.4 Vulnerabilidad intrínseca
4.5 Mapa de vulnerabilidad intrínseca

5.- CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS
5.1 Límites hidrogeológicos de la MSBT
5.2 Formaciones geológicas permeables
5.3 Acuíferos
5.4 Parámetros hidráulicos
5.5 Funcionamiento hidrogeológico
5.6 Recintos hidrogeológicos

6.- ZONAS PROTEGIDAS RELACIONADAS CON LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
6.1 Ecosistemas dependientes de las aguas subterráneas (EDAS)
6.2 Zonas protegidas relacionadas con las aguas subterráneas

7.- EVALUACIÓN DE RECURSOS
7.1 Balance hídrico
7.2 Recurso disponible (RD) e índice de explotación (IE)
7.3 Recarga artificial

8.- PIEZOMETRÍA
8.1 Programa de seguimiento del estado cuantitativo
8.2 Mapas de localización de puntos de control
8.3 Evolución temporal de la piezometría
8.4 Evaluación de tendencias

9.- CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA Y EVOLUCIÓN QUÍMICA
9.1 Programa de seguimiento del estado químico
9.2 Indicadores de la calidad química de la MSBT
9.3 Facies hidrogeoquímicas representativas
9.4 Sustancias o indicadores del riesgo en la MSBT
9.5 Análisis de parámetros y sustancias causantes del riesgo

10.- CONCLUSIONES

11.- PLAN DE ACCIÓN

12.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1.- IDENTIFICACIÓN DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA

1.1 IDENTIFICACIÓN Y ÁMBITO ADMINISTRATIVO

Código EU MSBT	ES091MSBT100	Nombre MSBT	BOIX-CARDÓ
Código DH	ES091	Nombre DH	Ebro

Descripción localización:

La MSBT Boix Cardó (ES091MSBT100), se ubica en la zona suroriental de la Demarcación Hidrográfica del Ebro y pertenece al Dominio Hidrogeológico del Maestrazgo-Catalanides. Con una extensión de 276 km² se encuentra dentro de la provincia de Tarragona (C.C.A.A Cataluña), y las poblaciones más importantes dentro de sus límites son Tortosa, Camarles, L´Aldea y L´Ampolla.

C.C.A.A.	Provincia	Municipio		% Área Municipio	
		Código	Nombre	Incluido MSBT	Respecto MSBT
Cataluña	Tarragona	43155	Tortosa	56,69	45,01
Cataluña	Tarragona	43149	Tivenys	88,24	17,11
Cataluña	Tarragona	43104	Perelló, El	34,17	12,46
Cataluña	Tarragona	43903	Camarles	56,85	6,14
Cataluña	Tarragona	43904	Aldea, L'	47,38	5,18
Cataluña	Tarragona	43121	Rasquera	23,19	4,28
Cataluña	Tarragona	43025	Benifallet	16,84	3,80
Cataluña	Tarragona	43150	Tivissa	4,28	3,24
Cataluña	Tarragona	43906	Ampolla, L'	18,25	2,35
Cataluña	Tarragona	43013	Ametlla de Mar, L'	1,73	0,42

1.2 CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL Y TERRITORIAL

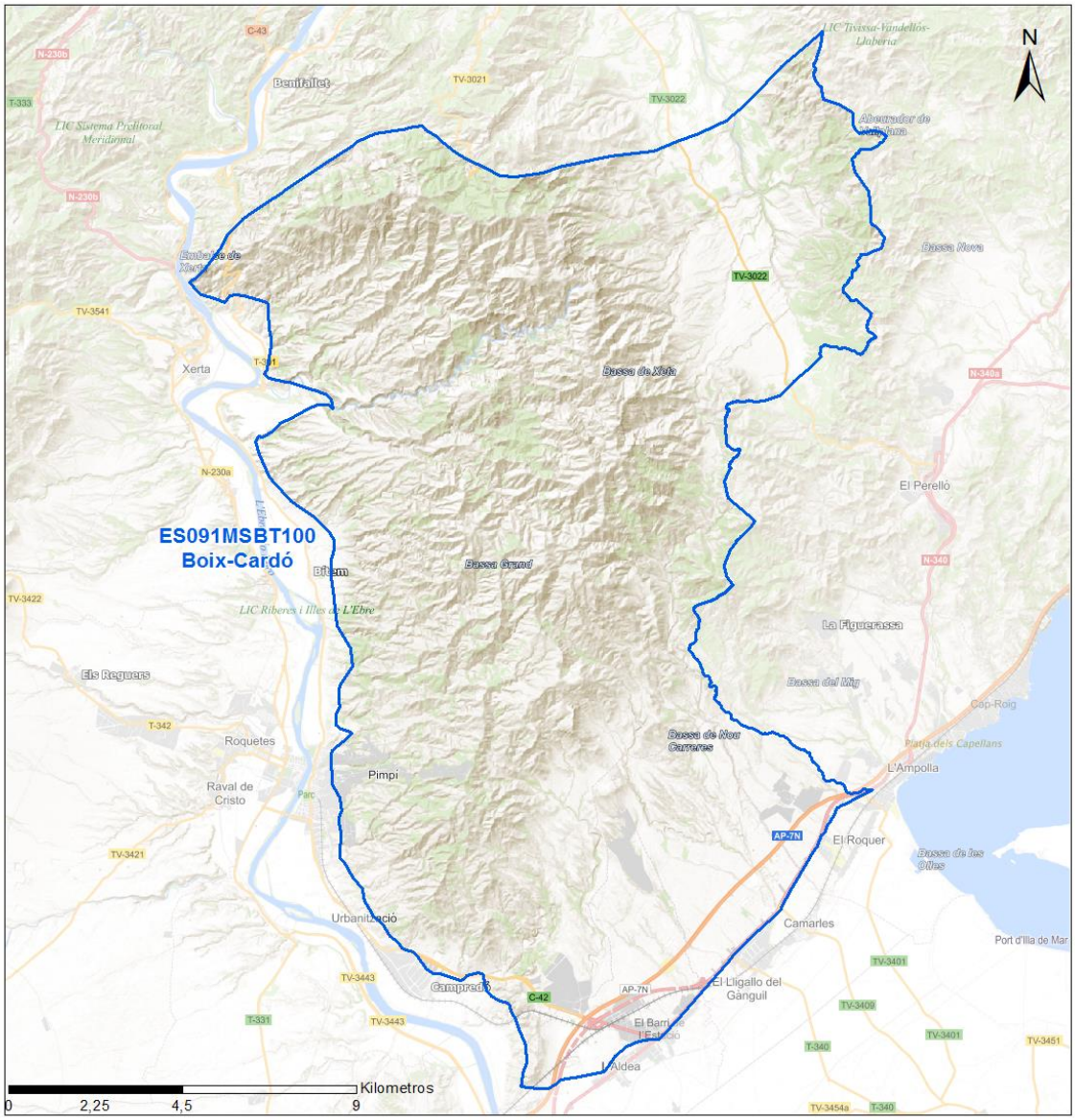
Sistema de Coordenadas de Referencia (SRC)	ETRS89	ZONA UTM	30N	Código ESPG	25830
Coordenada UTM X (CENTROIDE)	803.292	Coordenada UTM Y (CENTROIDE)			4.530.071
Longitud (CENTROIDE)	0,59862	Latitud (CENTROIDE)			40,86562
MDE empleado	5 m.	Rango de altitud (m s.n.m.)			930
Altitud mínima (m s.n.m.)	12	Altitud máxima (m s.n.m.)			942
Área total de la MSBT (km²)	276				

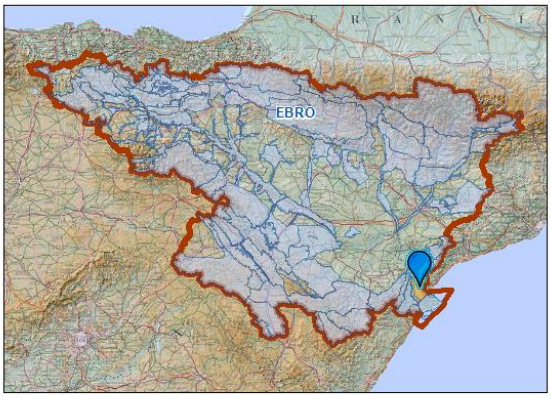
1.3 POBLACIÓN ASENTADA

Nº habitantes	25.538	Año	2019

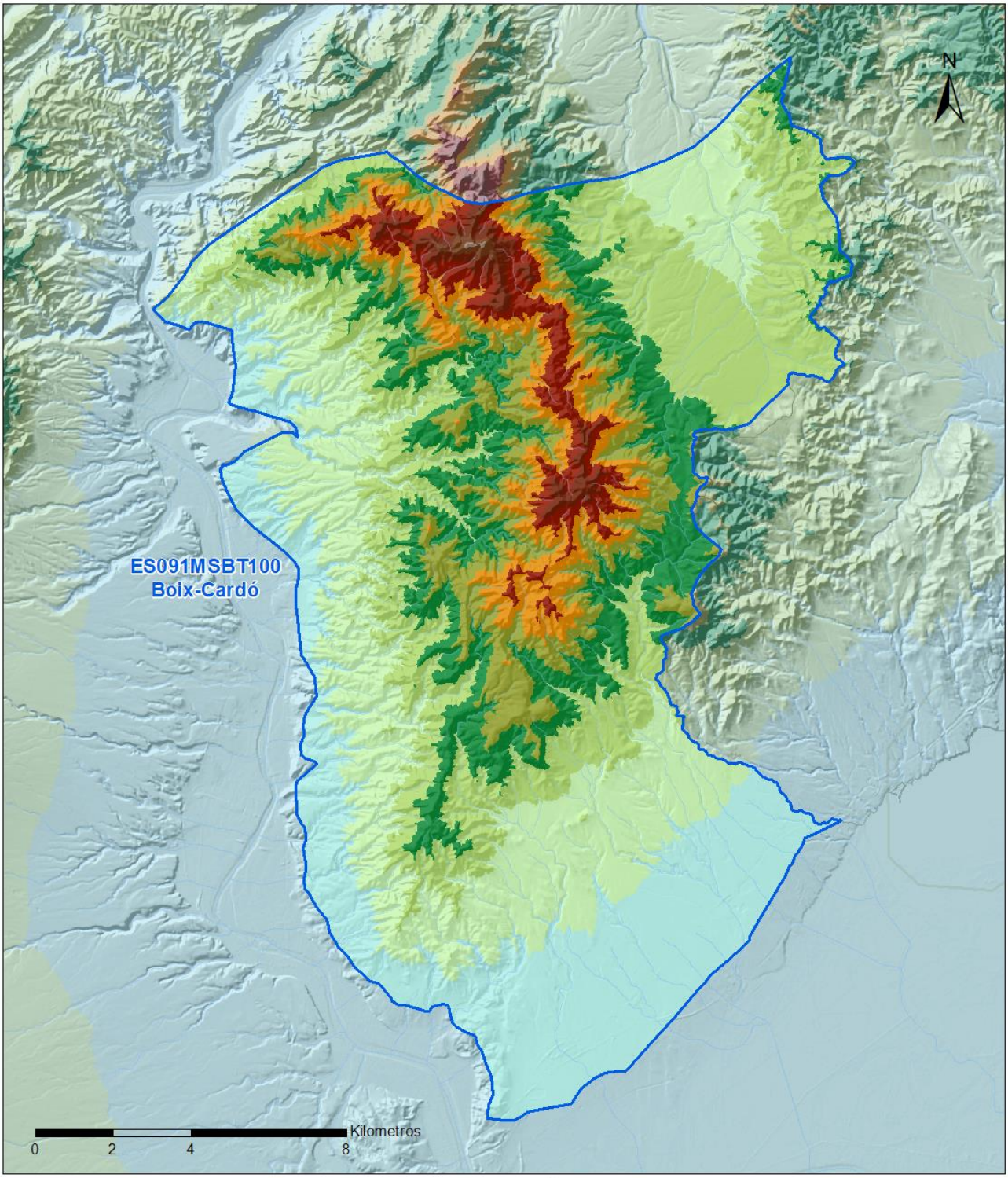
1.4 MAPA DE LOCALIZACIÓN Y TOPOGRÁFICO

Mapa de localización





Mapa topográfico



MAPA HIPSOMÉTRICO

LEYENDA

RANGOS DE ALTITUDES (msnm)

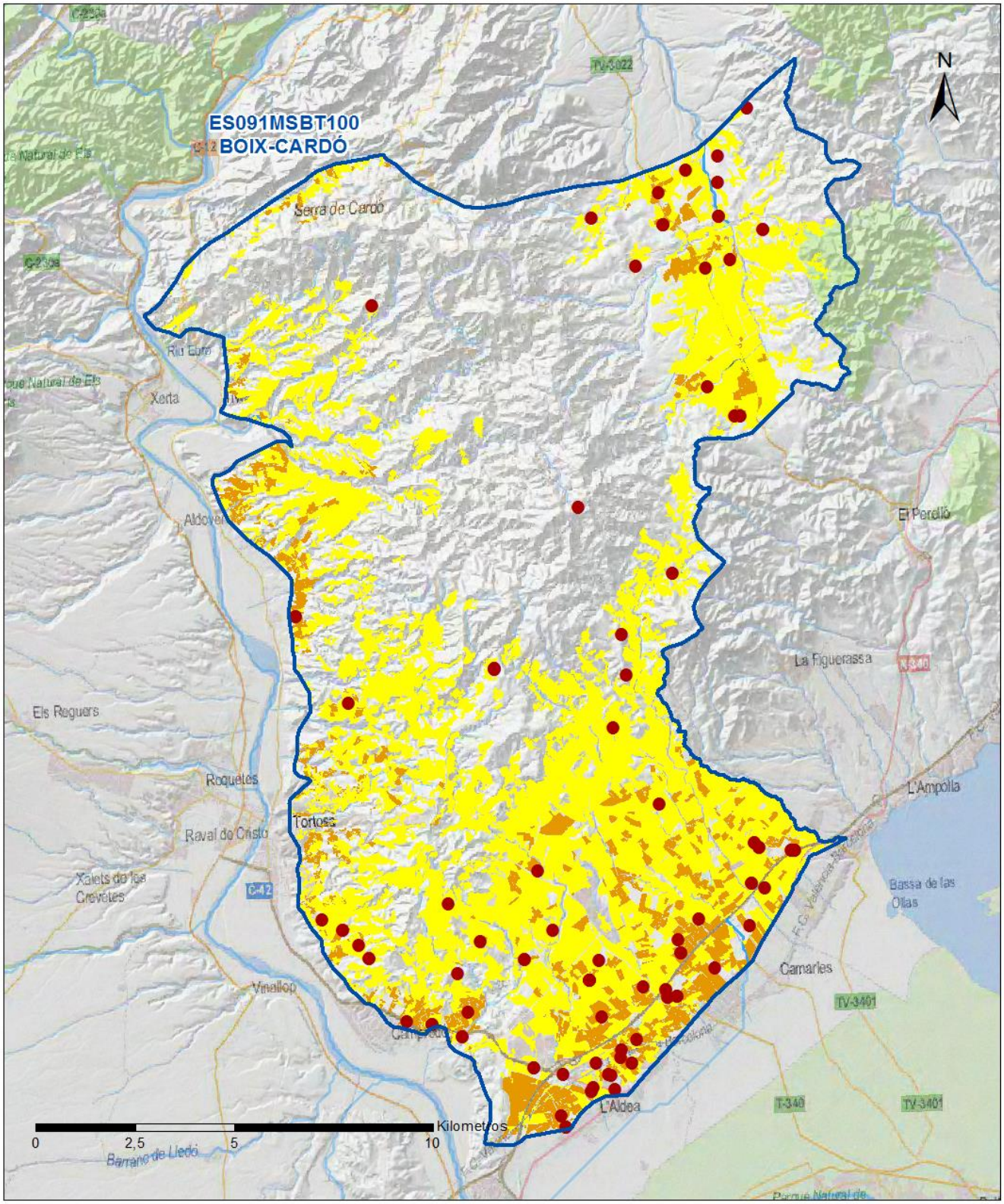
- MSBT
- Red Hidrografica
- 0- 100
- 100 - 200
- 200 - 300
- 300 - 400
- 400 - 500
- 500 - 600
- 600 - 700
- 700 - 800
- 800 - 900
- 900 - 1,000
- 1,000 - 1,100
- > 1,100

2.- PRESIONES, IMPACTOS Y RIESGOS

2.1 PRESIONES SIGNIFICATIVAS EN LA MSBT

Grupos de presiones	Tipos de presiones	Actividad	Presión Significativa
Fuentes puntuales	1.1	Vertidos urbanos	☐
Fuentes puntuales	1.4	Vertidos industriales de plantas No IED	☐
Fuentes puntuales	1.6	Vertederos	☐
Fuentes difusas	2.1	Escorrentía urbana	☐
Fuentes difusas	2.10	Otras fuentes difusas	☑
Fuentes difusas	2.2	Agricultura	☑
Fuentes difusas	2.4	Transporte	☐
Fuentes difusas	2.8	Minería	☐
Extracción / Desvío de agua	3.1	Agricultura	☑
Extracción / Desvío de agua	3.2	Abastecimiento	☑
Extracción / Desvío de agua	3.3	Industria	☑
Extracción / Desvío de agua	3.7	Otros	☑

Fuentes difusas



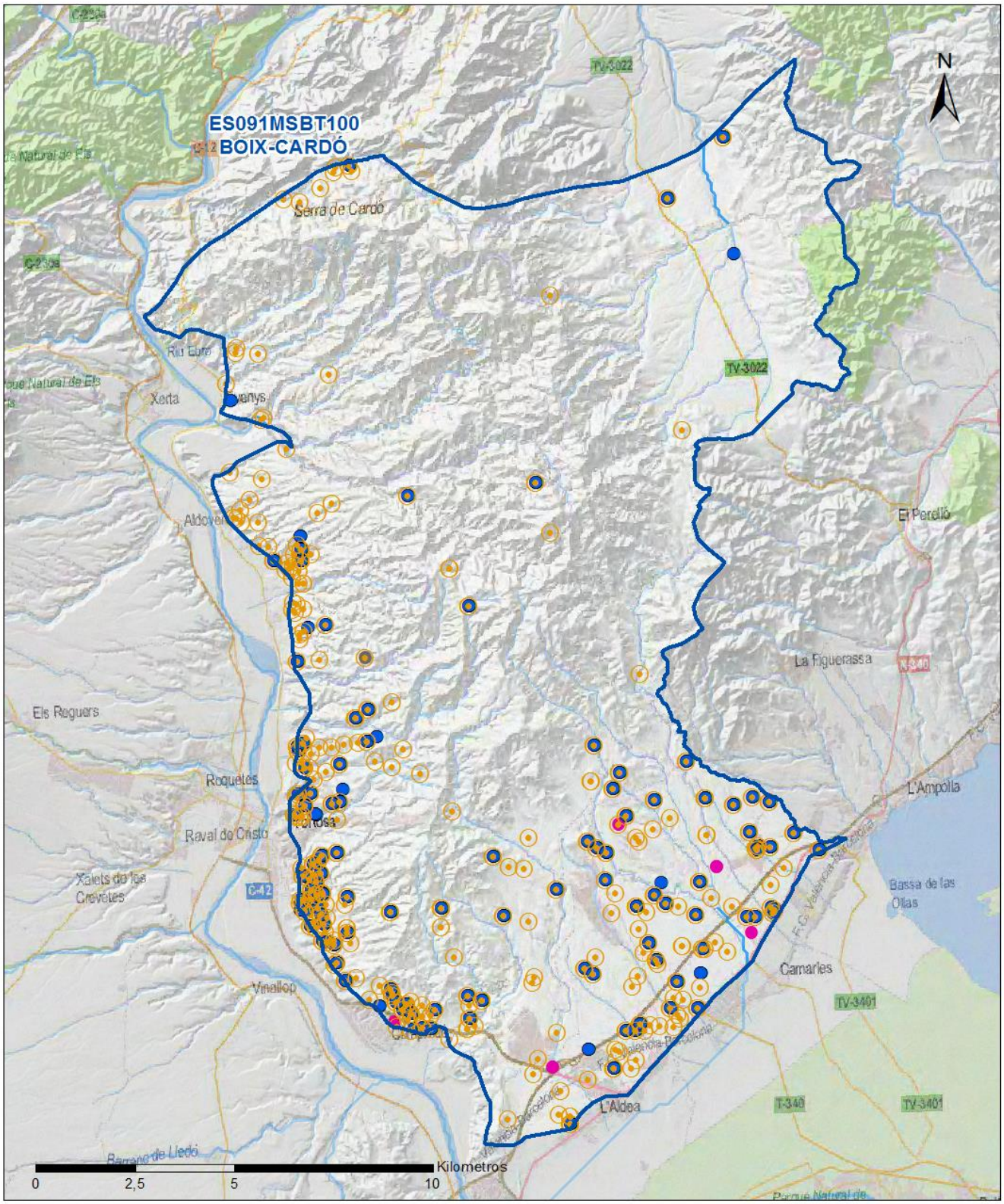
LEYENDA

- Red hidrográfica
- MSBT:
  ES091MSBT100
  BOIX-CARDÓ

Tipo de Presión Difusa (significativa):

- 2.10 Otras fuentes difusas. Cabaña Ganadera.
- 2.2 Agricultura: Regadío
- 2.2 Agricultura: Secano

Extracción / Desvío de agua



LEYENDA

- Red hidrográfica
- MSBT: ES091MSBT100

Tipo de Presión por Extracción (significativa):

- 3.1 Agricultura
- 3.2 Abastecimiento
- 3.3 Industria
- 3.7 Otros

2.2 IMPACTOS EN LA MSBT

Tipos de impactos	Situación que permite reconocer el impacto	Situación
NUTR	Contaminación por nutrientes	Probable
LOWT	Extracciones que exceden el recurso disponible de agua subterránea (disminución del nivel de agua)	Probable

2.3 RIESGO DE LA MSBT

Riesgo de no alcanzar el buen estado cuantitativo	RIESGO CUANTITATIVO
Motivo	Justificación / Observación
Descenso piezométrico por extracción	IE > 0,7 / Descensos localizados o extracciones > 0,8 recursos disponibles

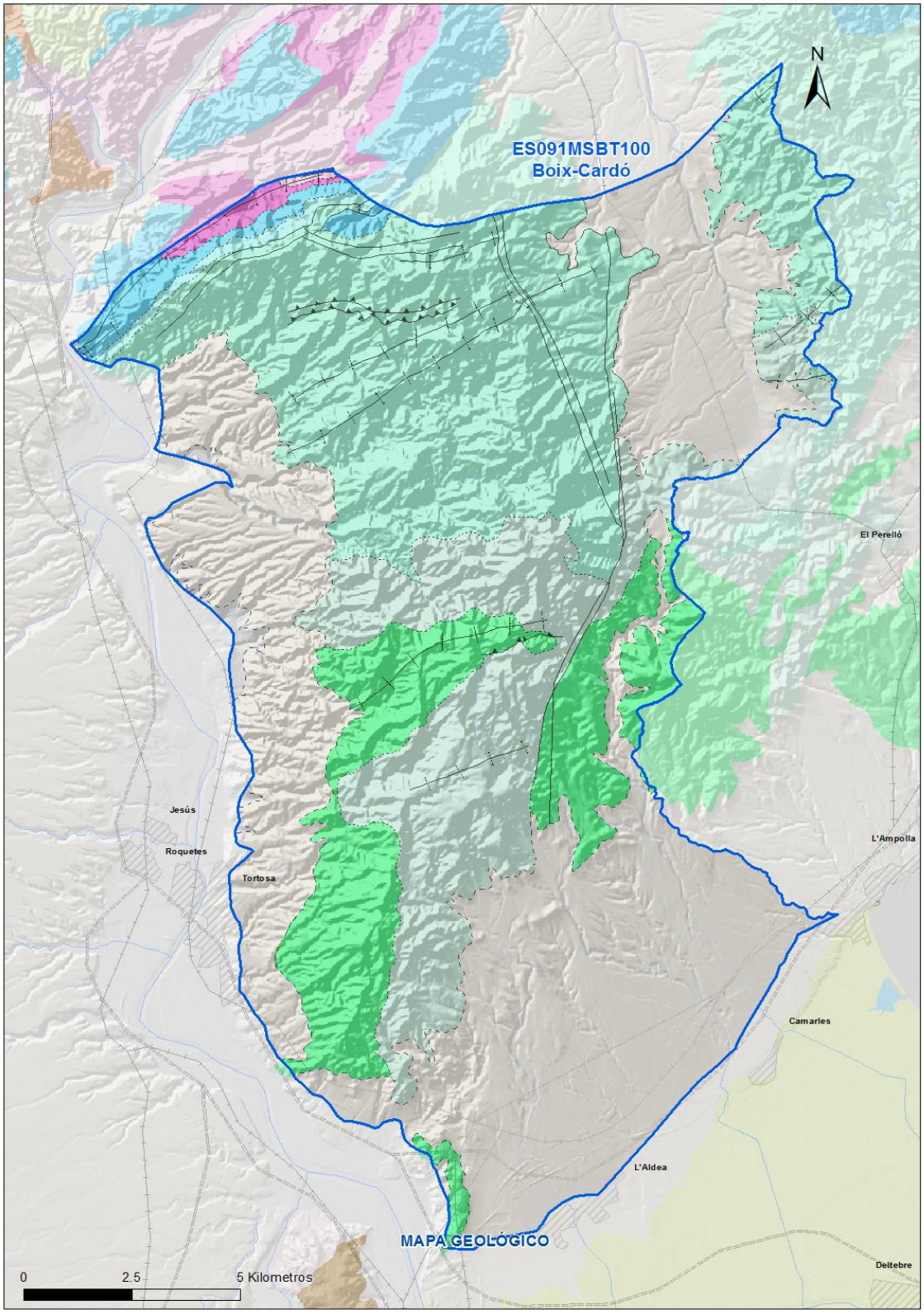
Riesgo de no alcanzar el buen estado químico		RIESGO QUÍMICO
Contaminante		Justificación / Observación
NO_3^-	Nitrato	Masas en riesgo de afección por nitratos (valores medios o máximos entre 40 y 50 mg/l en los últimos 4 años en más del 20% masa o valores máximos o medios superiores a 50 mg/l en menos del 20% masa)

3.- CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS GENERALES

3.1 ÁMBITO GEOESTRUCTURAL

Catalánides

3.2 MAPA GEOLÓGICO



LEYENDA

MSBT

Estructuras

- Anticlinal
- Anticlinal supuesto
- Sinclinal
- Sinclinal supuesto

Contactos y fallas

- Contacto concordante
- Contacto concordante supuesto
- Contacto discordante
- Contacto discordante supuesto
- Contacto intrusivo
- Contacto intrusivo
- Masas de agua
- Límite político
- Falla conocida
- Falla supuesta
- Cabalgamiento conocido
- Cabalgamiento supuesto

LITOLOGÍAS

Código	Descripción Litología
706	Gravas, arenas, limos(Depósitos de aluviales, fondos de valle y terrazas bajas en los ríos princ.)
704	Gravas, arenas, limos y arcillas (Depósitos de terrazas medias y altas)
703	Gravas, arenas, arcillas y limos (Depósitos de glacis, piedemonte y superficies)
173	Calizas arrecifales, con rudistas, calizas bioclásticas, dolomías y margas
169	Calizas, calizas margosas y margas. Facies Weald
164	Dolomías y calizas
160	Calizas generalmente oolíticas, con nódulos de sílex y, a veces, margas (Fm.Carb. de Chelva)
157	Dolomías, brechas dolomíticas, carniolas y calizas en bancos (Fm. Cortes de Tajuña)
141	Arcillas abigarradas y yesos, a veces con margas y areniscas (F. Keuper)
137	Dolomías, calizas y margas(F. Muschelkalk)

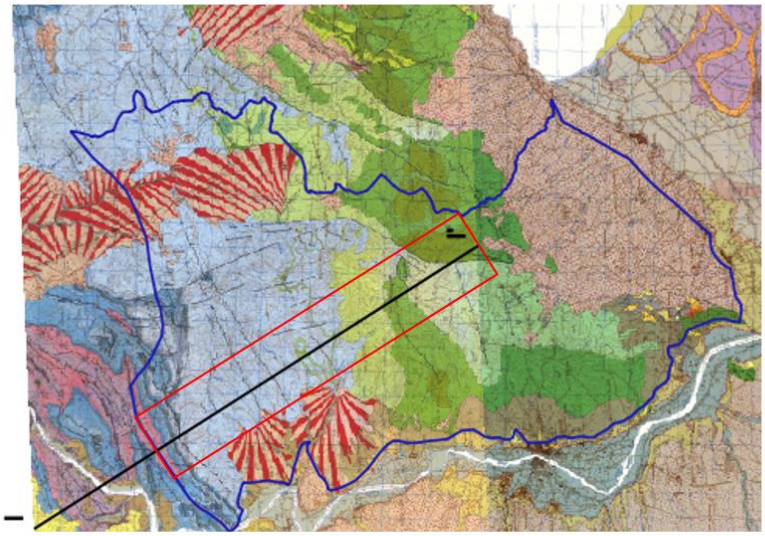
3.3 NATURALEZA Y EXTENSIÓN DE LOS AFLORAMIENTOS

Litología	Edad geológica		Extensión (km²)	Tipo	% de MSBT
	Sistema	Serie			
Gravas, arenas, limos(Depósitos de aluviales, fondos de valle y terrazas bajas en los ríos princ.)	Cuaternario	Pleistoceno-Holoceno	1,95	Detrítica	0,71
Gravas, arenas, arcillas y limos (Depósitos de glacis, piedemonte y superficies)	Cuaternario	Pleistoceno-Holoceno	116,16	Detrítica	42,04
Calizas arrecifales, con rudistas, calizas bioclásticas, dolomías y margas	Cretácico	Inferior-Superior	34,04	Carbonatada	12,32
Calizas, calizas margosas y margas. Facies Weald	Cretácico	Inferior	43,07	Carbonatada	15,59
Dolomías y calizas	Jurásico Superior (Malm)-Cretácico Inferior	Malm-Neocomiense	73,05	Carbonatada	26,44
Calizas generalmente oolíticas, con nódulos de sílex y, a veces, margas (Fm.Carb. de Chelva)	Jurásico	Medio (Dogger)	1,85	Carbonatada	0,67
Dolomías, brechas dolomíticas, carniolas y calizas en bancos (Fm. Cortes de Tajuña)	Triásico Superior-Jurásico Medio (Dogger)	Rethiense-Dogger	4,30	Carbonatada	1,55
Arcillas abigarradas y yesos, a veces con margas y areniscas (F. Keuper)	Triásico		1,65	Detrítica	0,60

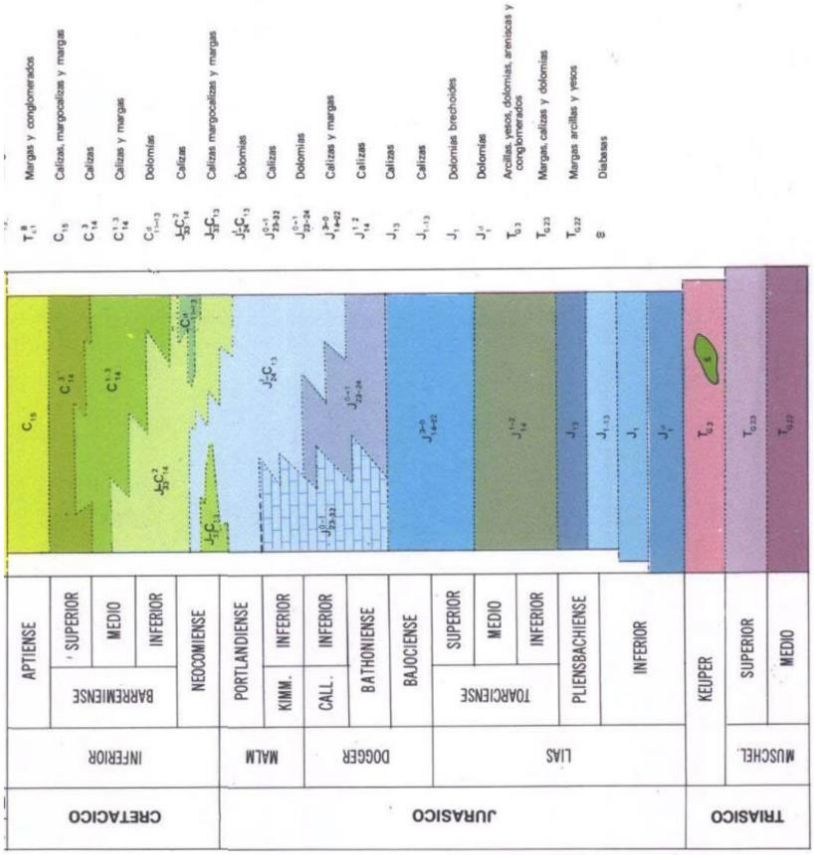
3.4 COLUMNA LITOLÓGICA TIPO

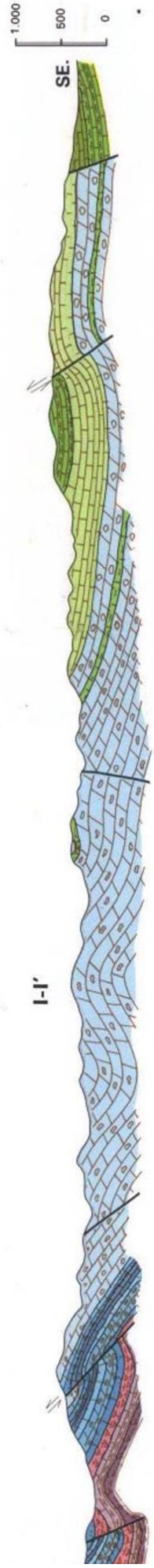
Litología	Edad geológica		Rango del espesor (m) valor menor-mayor
	Sistema	Serie	
Gravas, arenas, arcillas y limos (piedemonte)	Cuaternario	Pleistoceno-Holoceno	100-150
Calizas , calizas margosas, bioclasticas y dolomías	Cretácico	Inferior-Superior	
Dolomías y calizas	Jurásico Superior (Malm)-Cretácico Inferior	Malm-Neocomiense	800

3.5 CORTES GEOLÓGICOS



ES091MSBT100 Boix Cardo





3.6 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

La MSBT Boix Cardo se encuentra en el dominio geoestructural de las Catalanides, delimitada entre el río Ebro hacia el Oeste y la divisoria con las Cuencas Internas Catalanas hacia el Este. Se encuentra en el macizo de Cardó-Vandellos, entre las Cordilleras Ibérica y las Catalanides.

Los materiales que afloran en la MSBT corresponden a los materiales Mesozoicos comprendidos entre el Muschelkalk (Triásico) y Aptiense que configuran los relieves de las sierras de Cardó y Tivissa. Los depósitos cuaternarios están representados por los piedemontes que enlazan las sierras con la costa en L'Ampolla y con el aluvial del río Ebro.
El Jurásico inferior está formado por una serie calizo-dolomítica con un espesor entre 250 y 300 m. Su extensión de afloramiento es reducida a los sectores septentrionales de Benifallet – Rasquera y Tivissa – Vandellòs. El nivel Jurásico superior - Cretácico está formado por unos 800 m de calizas y dolomías. Aflora en casi todo el ámbito del área hidrogeológica.
La litología de los materiales mesozoicos, de forma sintética, son los siguientes:

- Triásico: facies germánicas. Conglomerados y areniscas en la base. Dolomía, arcillas con yesos, calizas dolomíticas y margas hacia el techo. Corresponden a las formaciones carbonatadas del Muschelkalk (inferior y superior) y el término medio del Muschelkalk que corresponde a un paquete de arcillas, margas y yesos.
  En la base las facies conglomeráticas del Buntsandstein y en el techo las arcillas y yesos de la Fm.Keuper.
- Jurásico Inferior: fundamentalmente calizo-dolomítico con facies que van desde aguas profundas a someras. Se corresponden con el Lias inferior (Grupo Renales) integrado por las Fms. Dolomías tableadas de Imón, Carniolas de Cortes de Tajuña y Dolomías de Cuevas Labradas.
- Jurásico Superior: dolomías y calizas del Malm-Neocomiense.

Cretácico Inferior: corresponde a las calizas y calizas margosas (Facies Weald) del Necomiense y las calizas arrecifales, dolomías y margas del Aptiense-Cenomaniense.

4.- SUELOS Y VULNERABILIDAD

4.1 ZONA NO SATURADA (Z.N.S.)

Fecha o periodo	Espesor Máximo (m)	Espesor Mínimo (m)
2020	42	42

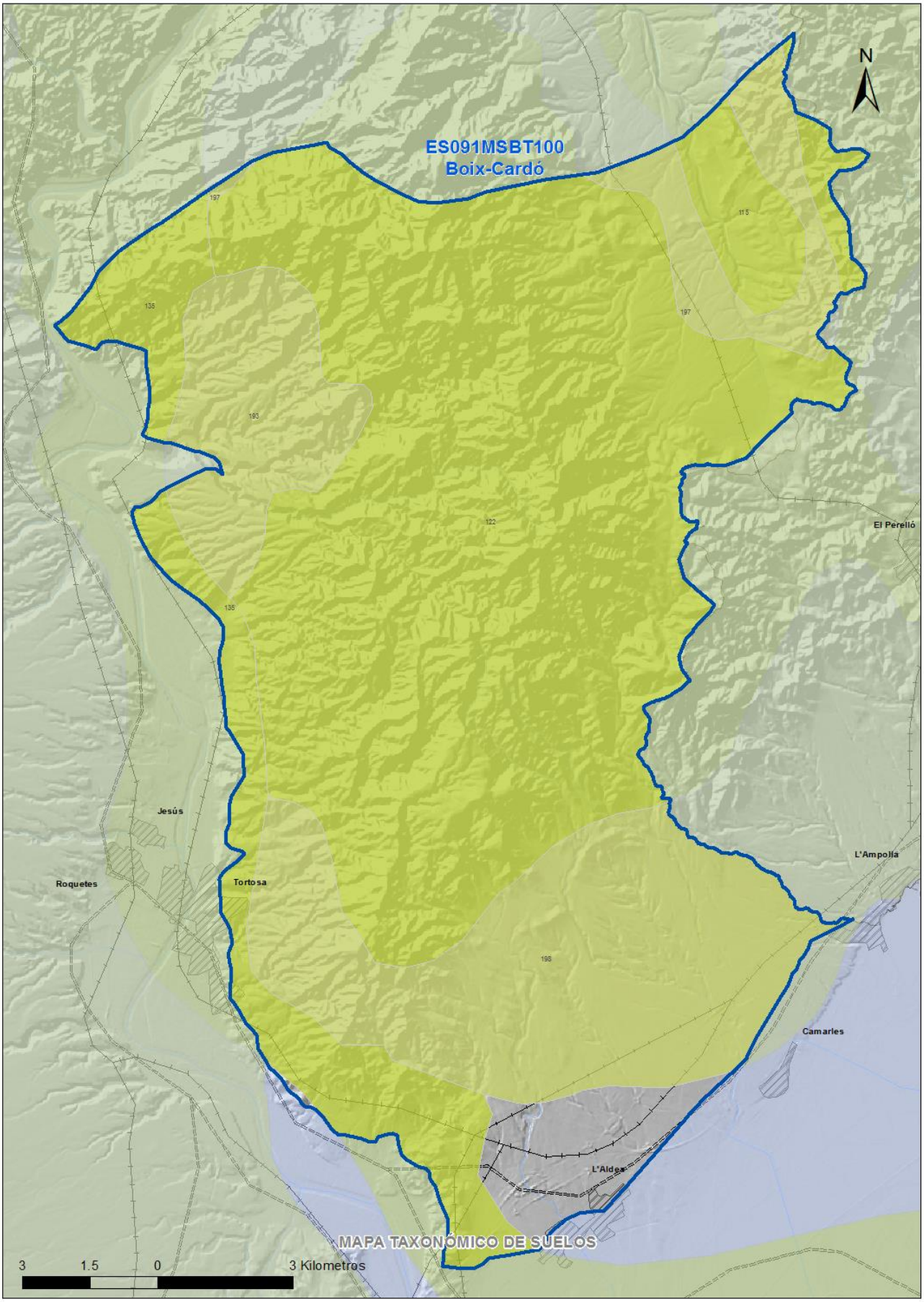
Espesor Medio Z.N.S. (m)	42
Litología Z.N.S.	Calizas arrecifales, con rudistas, calizas bioclásticas, dolomías y margas

4.2 SUELOS EDÁFICOS

Tipo de Suelo	Extensión (km²)	% Afloramiento en la MSBT
ENTISOL, ORTHENT, XERORTHENT	182	65,97
INCEPTISOL, XEREPT, CALCIXEREPT	83	30,05

4.3 MAPA DE SUELOS

Mapa de suelos



LEYENDA

MSBT

Red Hidrografica

DDHH

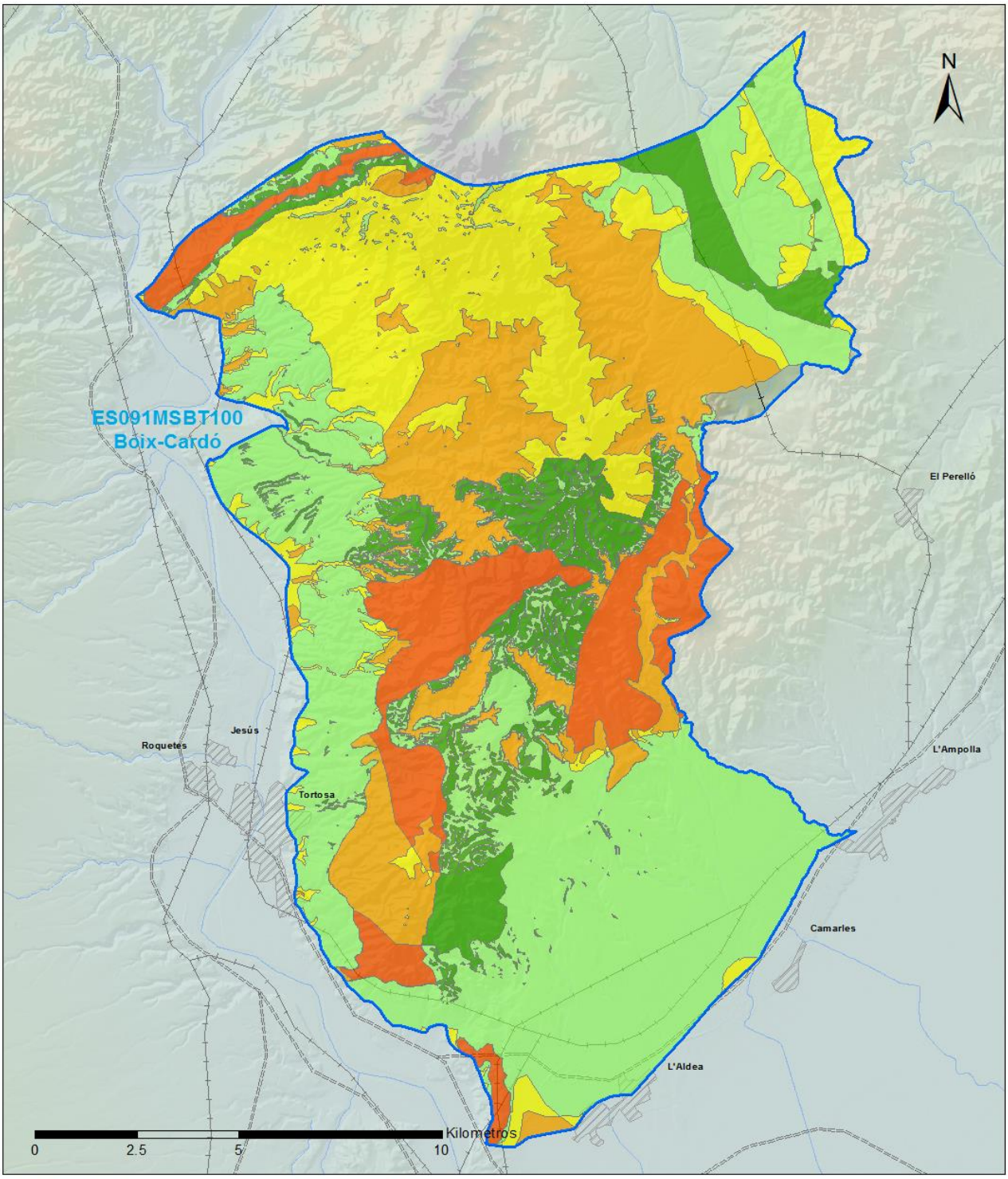
CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SOIL TAXONOMY)

ID MAPA	ORDEN, SUBORDEN, GRUPO 01, GRUPO 02, ASOCIACIÓN 01, ASOCIACIÓN 02, INCLUSIÓN 01, INCLUSIÓN 02
115	ENTISOL, ORTHENT, XERORTHENT, NO GRUPO2, NO ASOCIA1, NO ASOCIA2, (Haploxerept), NO INCLUSION2
122	ENTISOL, ORTHENT, XERORTHENT, NO GRUPO2, CALCIXEREPT, HAPLOXEREPT, Haploxeralf, Rhodoxeralf
135	ENTISOL, ORTHENT, XERORTHENT, NO GRUPO2, XEROFLUVENT, NO ASOCIA2, Haploxerept, NO INCLUSION2
193	INCEPTISOL, XEREPT, CALCIXEREPT, NO GRUPO2, XEROFLUVENT, NO ASOCIA2, Haploxeroll, Xerorthent
197	INCEPTISOL, XEREPT, CALCIXEREPT, NO GRUPO2, XERORTHENT, NO ASOCIA2, Haploxeralf, NO INCLUSION2
198	INCEPTISOL, XEREPT, CALCIXEREPT, NO GRUPO2, XERORTHENT, NO ASOCIA2, Xerofluvent, NO INCLUSION2

4.4 VULNERABILIDAD INTRÍNSECA

Método	COP	
Grado de Vulnerabilidad	Rango Índice Vulnerabilidad	% Área Vulnerable en la MSBT
Muy Alta	0 - 0,5	12,27
Alta	0,5 - 1	18,64
Moderada	1 - 2	19,54
Baja	2 - 4	44,72
Muy Baja	4 - 15	10,23

4.5 MAPA DE VULNERABILIDAD INTRÍNSECA



LEYENDA

MSBT

Método COP
Rango - Índice Vulnerabilidad

CLASE COP

- Muy Baja
- Baja
- Moderada
- Alta
- Muy Alta

5.- CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

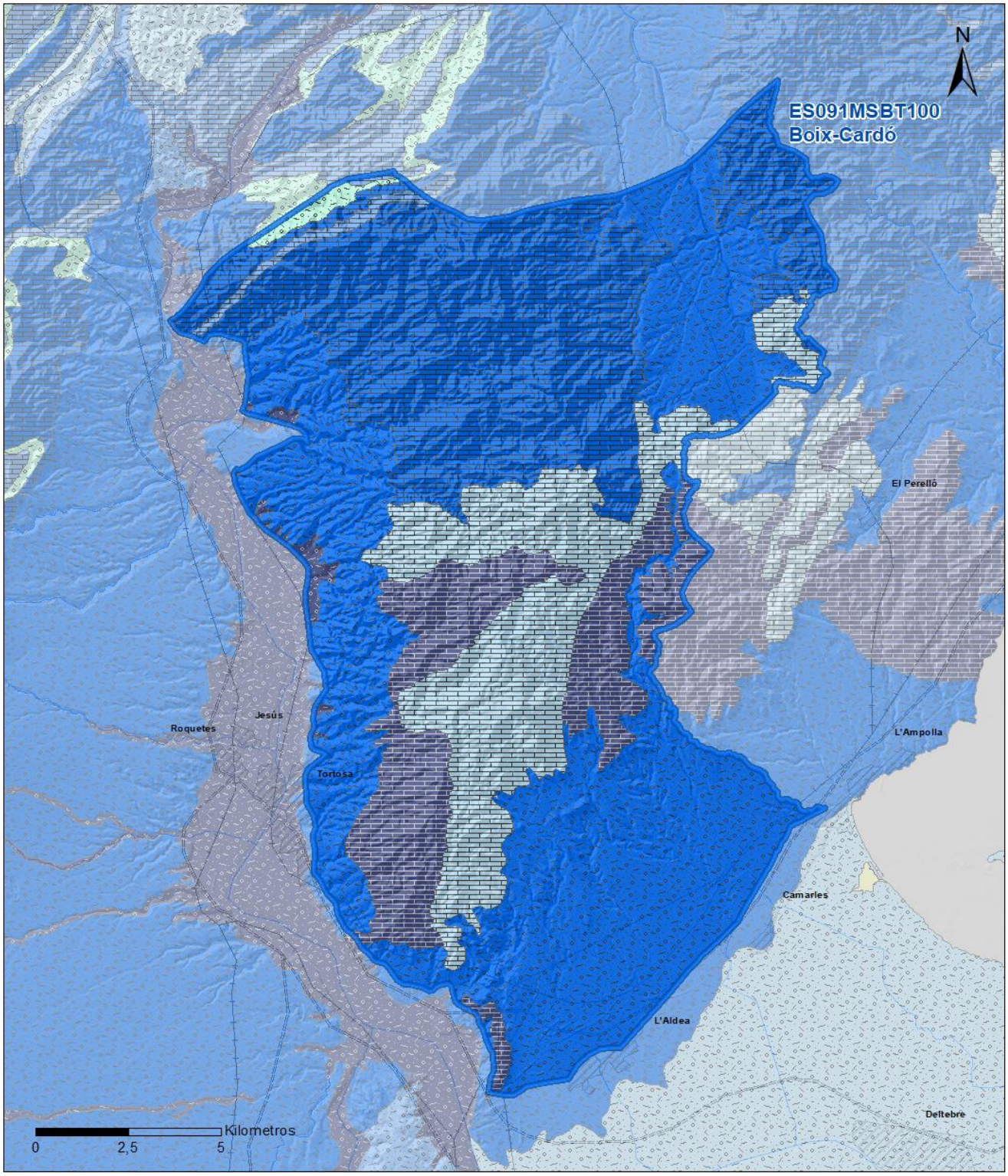
5.1 LÍMITES HIDROGEOLÓGICOS DE LA MSBT

Límite	Tipo	Sentido flujo	Naturaleza	Nombre MSBT Colindante
Este	Abierto	Salida	Permeable	l'Ametlla de Mar- Perelló
Sureste	Abierto	Salida	Permeable	DELTA DEL EBRO
Oeste	Abierto	Salida	Permeable	ALUVIAL DE TORTOSA

Descripción límites hidrogeológicos:

En la MSBT Boix Cardo se identifica tres límites abiertos con flujo de salida, al oeste hacia la MSBT Aluvial del Ebro a través de los materiales cuaternarios del aluvial actual y antiguo, al sureste el flujo es de salida hacia la MSBT contigua del Delta del Ebro y al este se produce descarga hacia las cuencas internas catalanas a través de la MSBT L´Ametlla de Mar-Perello (ES100MSBT55).

Mapa de permeabilidades



LEYENDA

MSBT

PERMEABILIDAD

- MUY ALTA, DETRÍTICAS
- MUY ALTA, CARBONATADAS
- ALTA, DETRÍTICAS
- ALTA, CARBONATADAS
- MEDIA, CARBONATADAS
- BAJA, CARBONATADAS
- MUY BAJA, DETRÍTICAS

5.2 FORMACIONES GEOLÓGICAS PERMEABLES

Nombre	Litología	Permeabilidad	Edad geológica		Espesor (m)	Extensión afloramiento (km²)
			Sistema	Serie		
Cuaternario aluvial	Gravas, arenas y limos	Alta	Cuaternario	Pleistoceno-Holoceno	10-20	2
Cuaternarios de piedemonte	Gravas, arenas, arenas y limos	Alta	Cuaternario	Pleistoceno-Holoceno	100-150	116
Cretácico inferior	Calizas arrecifales, con rudistas, calizas bioclásticas, dolomías y margas	Muy alta	Cretácico	Inferior-Superior (Aptiense - Cenomaniense)		34
Jurásico Superior-Cretacico Inferior	Dolomías y calizas	Alta	Jurásico Superior (Malm)-Cretácico Inferior	Malm-Neocomiense	800	73
Jurásico inf. (Suprakeuper-Lías)	Dolomías, brechas dolomíticas, carniolas (Grupo Renales)	Alta	Triásico Superior-Jurásico Medio (Dogger)	Rethiense-Dogger	250-300	4

5.3 ACUÍFEROS

Acuífero	Extensión afloramiento (km²)	% de afloramiento en la MSBT	Régimen Hidráulico	Espesor (m)	Tipo Porosidad	Nombre FGP
Ac. Cuaternario Piedemonte	118	42,70	Libre		Intergranular	Cuaternarios de piedemonte, Cuaternario aluvial
Ac.Mesozoico (Jurásico-Cretacico inferior)	111	40,30	Mixto		Karstificación-Fisuración	Jurásico inf. (Suprakeuper-Lías),Jurásico Superior-Cretacico Inferior (Malm-Neocomiense), Cretácico (Aptiense-Cenomaniense)

Descripción general:

En la MSBT Boix Cardó se identifican dos acuíferos. Un acuífero multicapa constituido por una potente serie calizo-dolomítica, con intercalaciones margosas, de unos 1.000 m de potencia media. Y otro acuífero que incluye los depósitos cuaternarios de los piedemontes y aluviales del Ebro.

Los niveles permeables calcáreos del Trias y Jurásico inferior (Fm Cortes de Tajuña) afloran en el límite norte de la masa de agua subterránea. En el resto de su extensión están confinados a gran profundidad. Los afloramientos más extensos se identifican con el Jurásico superior (Malm-Neocomiense) y Cretácico inferior (Aptiense-Cenomaniense).

El aluvial del Ebro se identifica con las terrazas altas de la margen izquierda en la zona de Tortosa. Estos materiales están en continuidad hidráulica con el acuífero Mesozoico subyacente. Desde las estribaciones montañosas del Cardó y hacia el delta del Ebro se extiende una llanura aluvial formada por piedemontes (abanicos aluviales y depósitos coluviales) de elevada permeabilidad y régimen hidráulico libre. Estos piedemontes tienen un espesor medio del orden de 100 m, con valores máximos del orden de 150 m. En líneas generales su espesor aumenta de oeste a este. Bajo ellos se sitúa la serie arcillosa del Plioceno con un espesor medio de unos 200 m, que dificultan la posible conexión hidráulica de este acuífero con el subyacente Mesozoico.

5.4 PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Acuífero	Nombre FGP	Método determinación	Transmisividad (T m²/día)		Coeficiente de almacenamiento (S)	
			Mín	Máx.	Mín	Máx.
Ac. Cuaternario Piedemonte	Cuaternarios de piedemonte	Caudal específico	50,00	750,00		
Ac.Mesozoico (Cretacico Inferior)	Cretácico Inferior (Barremiense-Aptiense)	Ensayo de bombeo	40,00	600,00		
Ac.Mesozoico (Jurásico-Cretacico inferior)	Jurásico superior - Cretácico inferior	Ensayo de bombeo	30,00	500,00	5,00E-03	5,00E-03
Ac.Mesozoico (Jurásico-Cretacico inferior)	Jurásico inferior (Suprakeuper-Lias)	Ensayos de bombeo	400,00	6.000,00	8,00E-03	1,00E-02

Descripción general:

Los parámetros hidráulicos característicos de las diferentes formaciones permeables carbonatadas y detríticas en la MBST han

sido reportados en actividades realizadas por el IGME.

A partir de los datos procedentes de ensayos de bombeo en sondeos y pozos se estimó un valor de la transmisividad para el Jurásico inferior entre 400 y 6.000 m²/día, con un valor medio de 700 m²/día. El coeficiente de almacenamiento para este nivel varía entre 0,008 y 0,01. Para la serie Jurásico superior – Cretácico inferior se obtienen valores de transmisividad según esta misma fuente entre 30 y 500 m²/día, con un coeficiente de almacenamiento de 0,005.

Otros ensayos realizados en las calizas del Cretácico inferior en Tortosa apuntan valores de transmisividad entre 40 y 200 m²/día. El nivel Barremiense superior-Aptiense, identificado en la zona de L´Aldea con espesores de 200 y 160 m para el Aptiense, la transmisividad obtenida es del orden de 100 m2/día.

A partir de los datos piezométricos recopilados de las actividades del IGME, para el nivel del Jurásico superior – Cretácico inferior, se ha estimado un gradiente hacia la zona costera de 0,003 muy constante durante todo el periodo disponible. En la zona costera de Ametlla y Perelló, los gradientes son más tendidos, con un promedio del orden de 0,002 con respecto al nivel de descarga que define la línea de costa.

En el acuífero de Piedemonte, los valores de transmisividad obtenidos indirectamente a través de caudales específicos en pozos varían entre 50 m²/día y 750 m²/día, con un promedio de 500 m²/día. No se dispone de datos sobre el coeficiente de almacenamiento. Las terrazas antiguas del Ebro se encuentran conectados hidráulicamente a los piedemontes cuaternarios, en algunos puntos alcanzan hasta 180 m de espesor (zona de Campredó), reciben la descarga de los niveles permeables calcáreos mesozoicos de borde y las transmisividades son muy altas variando entre 10.000 y 15.000 m/día.

5.5 FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

El funcionamiento hidrogeológico de la MSBT Boix Cardo está condicionado por la topografía local y las directrices estructurales. En el sector NO, los afloramientos de materiales de baja permeabilidad del Keuper en el sinclinal de Benifallet provocan la presencia de una zona formada por calizas del Jurásico inferior, desconectada hidráulicamente del resto del área hidrogeológica. El drenaje se realiza hacia el río Ebro.

En el resto del acuífero, la existencia de dos niveles de drenaje, el río Ebro y el mar, condicionan la formación de una divisoria hidrogeológica transversal al acuífero mesozoico. Se trata de una divisoria de carácter dinámico cuya posición no es muy precisa a falta de información más concreta. El área de recarga del acuífero mesozoico está constituida por toda su extensión de afloramiento (incluidos los rellenos cuaternarios del Pla de Burgans).

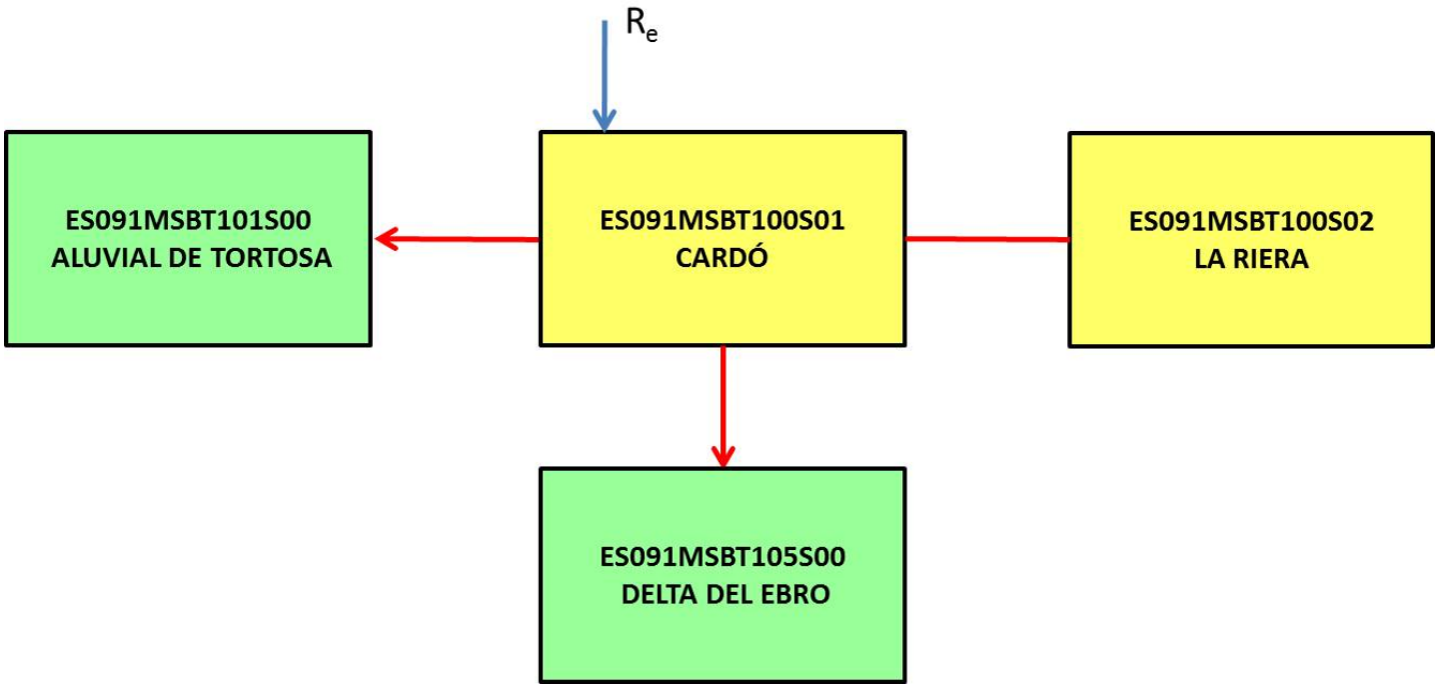
Sobre este acuífero se emplaza una divisoria hidrogeológica que, a falta de información más precisa, se supone que coincide aproximadamente con la hidrográfica. Esta divisoria determina la presencia de dos áreas de descarga diferenciadas, hacia el mar en la vertiente oriental del macizo mesozoico y hacia el Ebro en sus vertientes septentrional y occidental.

5.6 RECINTOS HIDROGEOLÓGICOS

5.6.1 ESQUEMA TOPOLÓGICO

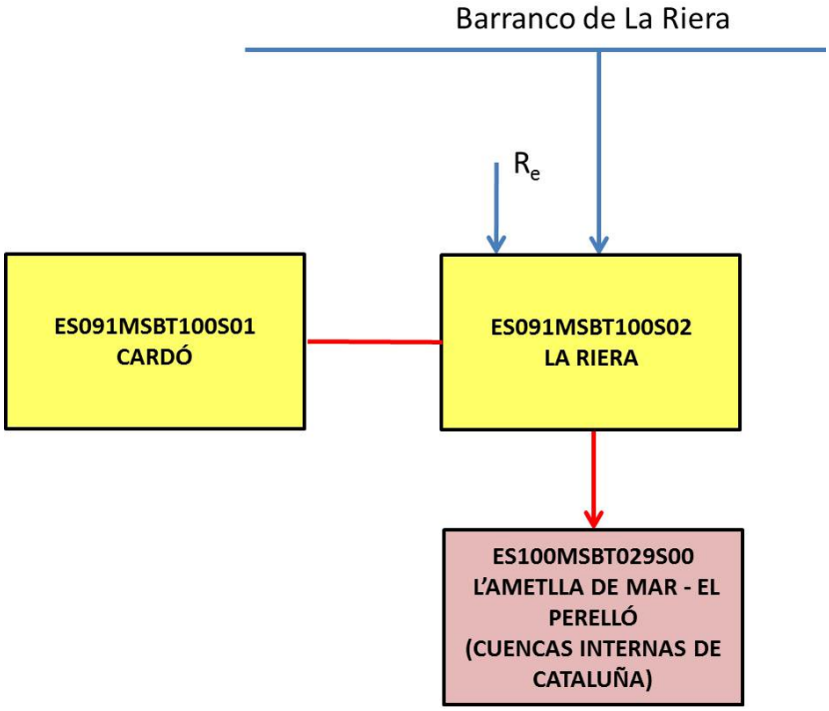
Recinto Hidrogeológico	
Código	Nombre
ES091MSBT100S01	Cardó

Esquema: ES091MSBT100S01



Recinto Hidrogeológico	
Código	Nombre
ES091MSBT100S02	La Riera

Esquema: ES091MSBT100S02



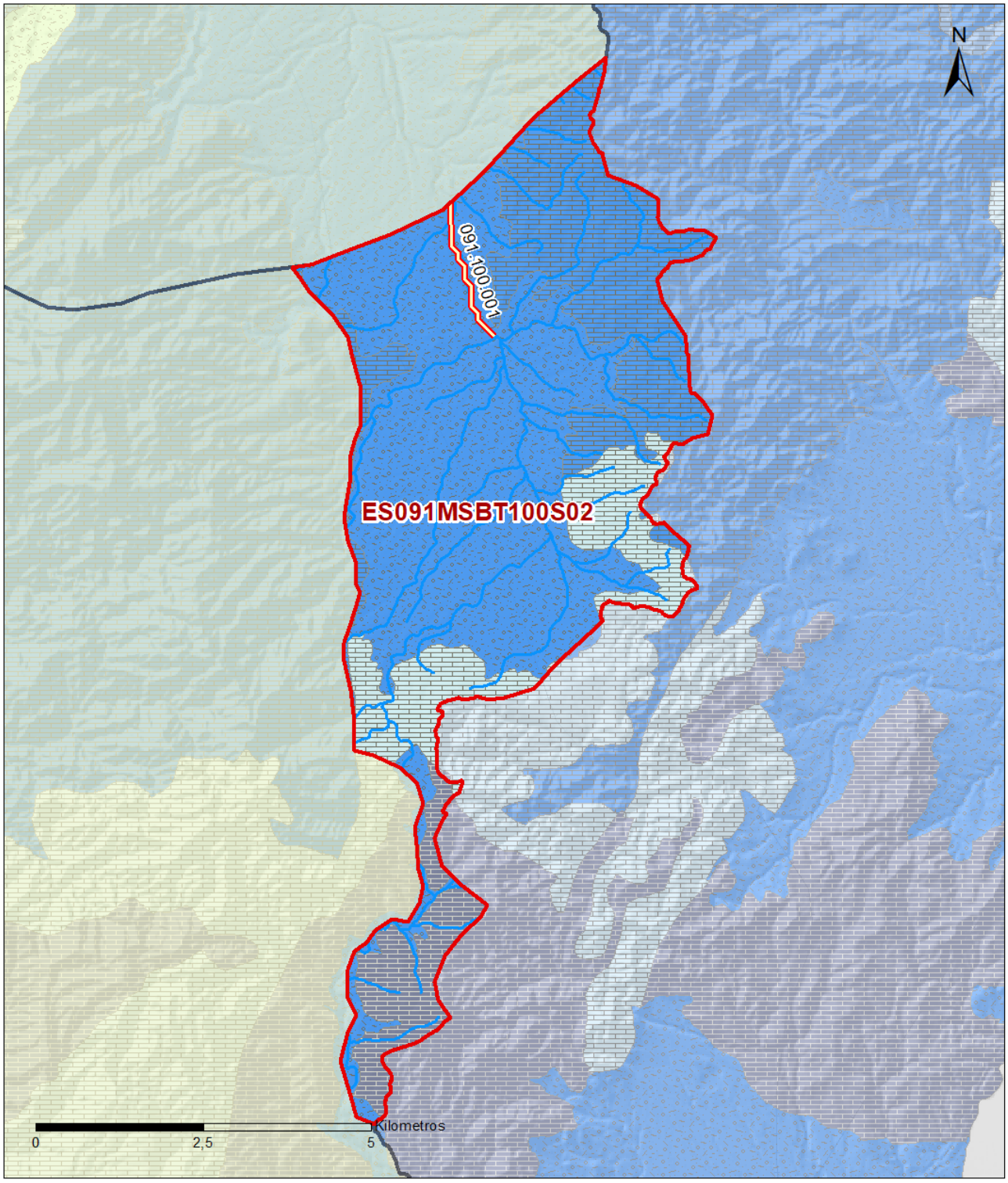
5.6.2 MASAS DE AGUA SUPERFICIALES ASOCIADAS A LA MSBT

Código Recinto Hidrogeológico	Código MSPF	Nombre MSPF	Forma de recarga o descarga	Código manantial principal o tramo
ES091MSBT100S02	ES091MSPF177	Barranco de la Riera Compte desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Ebro.		091.100.001

5.6.3 PARÁMETROS DE LA RELACIÓN MSPF/MSBT

Código Recinto Hidrogeológico	Código manantial principal o tramo	Cota de descarga (m)	Coef. α del manantial (días −1)	Caudal medio (hm^3/año)	Rango (hm^3/año)	Coeficiente de reparto (%)	Relación unitaria de trasferencia (L/s/m)
ES091MSBT100S02	091.100.001					100	

Relación río/acuífero ES091MSBT100S01



LEYENDA

- Recintos Hidrogeológicos
- MSBT
- Red hidrográfica

Manantiales

- <1 l/s
- 1-10 l/s
- 10-15 l/s
- 15-25 l/s
- 25-50 l/s
- 50-100 l/s
- 100-250 l/s
- >250 l/s

Relación Río-Acuífero

- Río perdedor con conexión difusa indirecta con efecto ducha

6.- ZONAS PROTEGIDAS RELACIONADAS CON LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

6.1 ECOSISTEMAS DEPENDIENTES DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS (EDAS)

6.1.1 NOMBRE, DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS EDAS

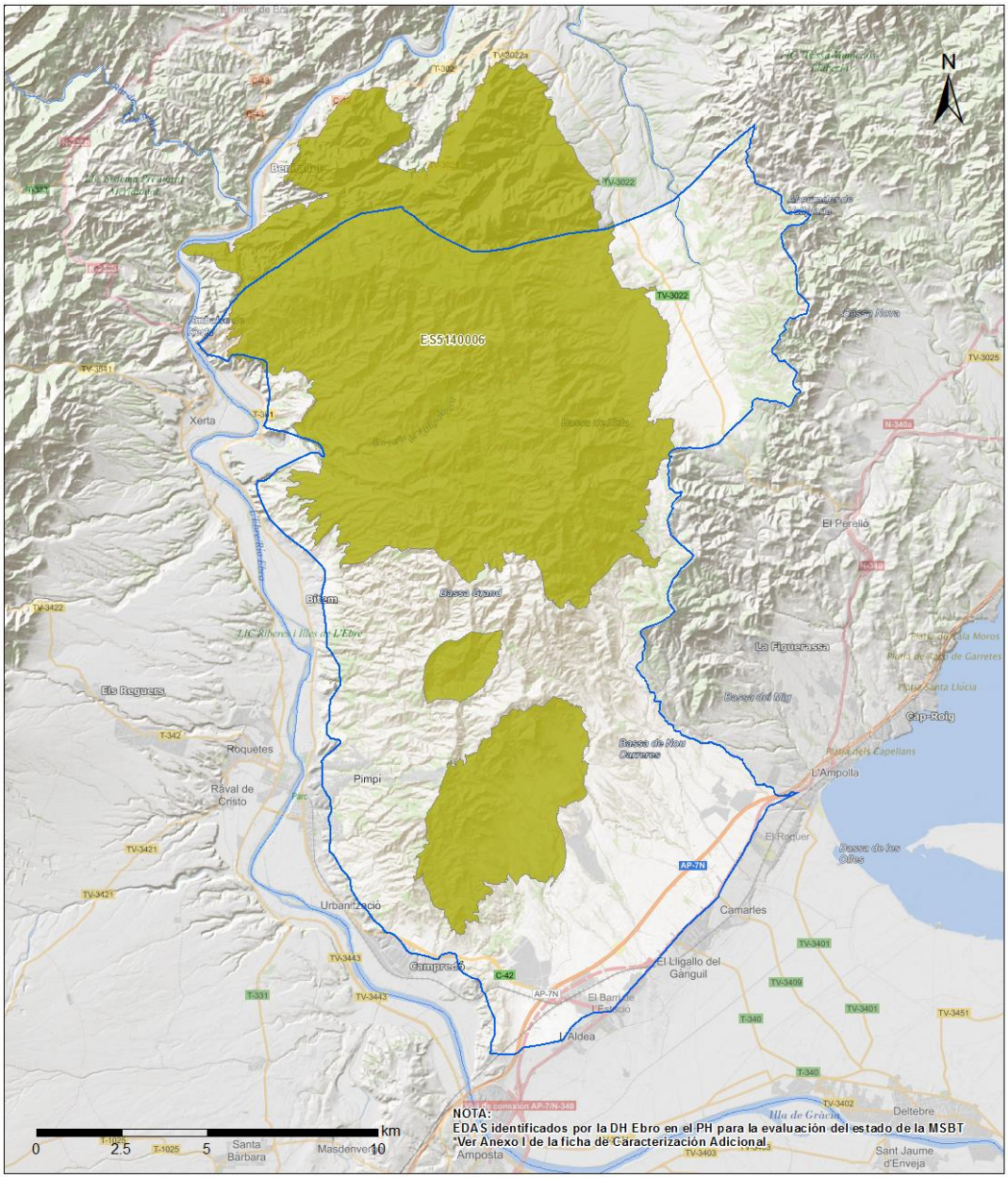
Ver Anexo 1.

6.1.2 RESUMEN DE LOS EDAS

EDAS	Nº de EDAS	Tipo y Nº de EDAS												
		T. 1	T. 2	T. 3	T. 4	T. 5	T. 6	T. 7	T. 8	T. 9	T. 10	T. 11	T. 12	T. 13
EAAS														
ETDAS														
EAAS/ETDAS														

6.1.3 MAPA DE EDAS

Mapa de EDAS



LEYENDA

Red Hidrografica

MSBT ES091MSBT100
Boix-Cardó

SITES RN2000 (ZEC/LIC/ZEPA) con ETDAS en Mal Estado

Código SITE - Código Hábitat - Nombre Hábitat

ES5140006 I 6420 I Prados húmedos mediterráneos de hierbas altas del Molinion-Holoschoenion

6.2 ZONAS PROTEGIDAS RELACIONADAS CON LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

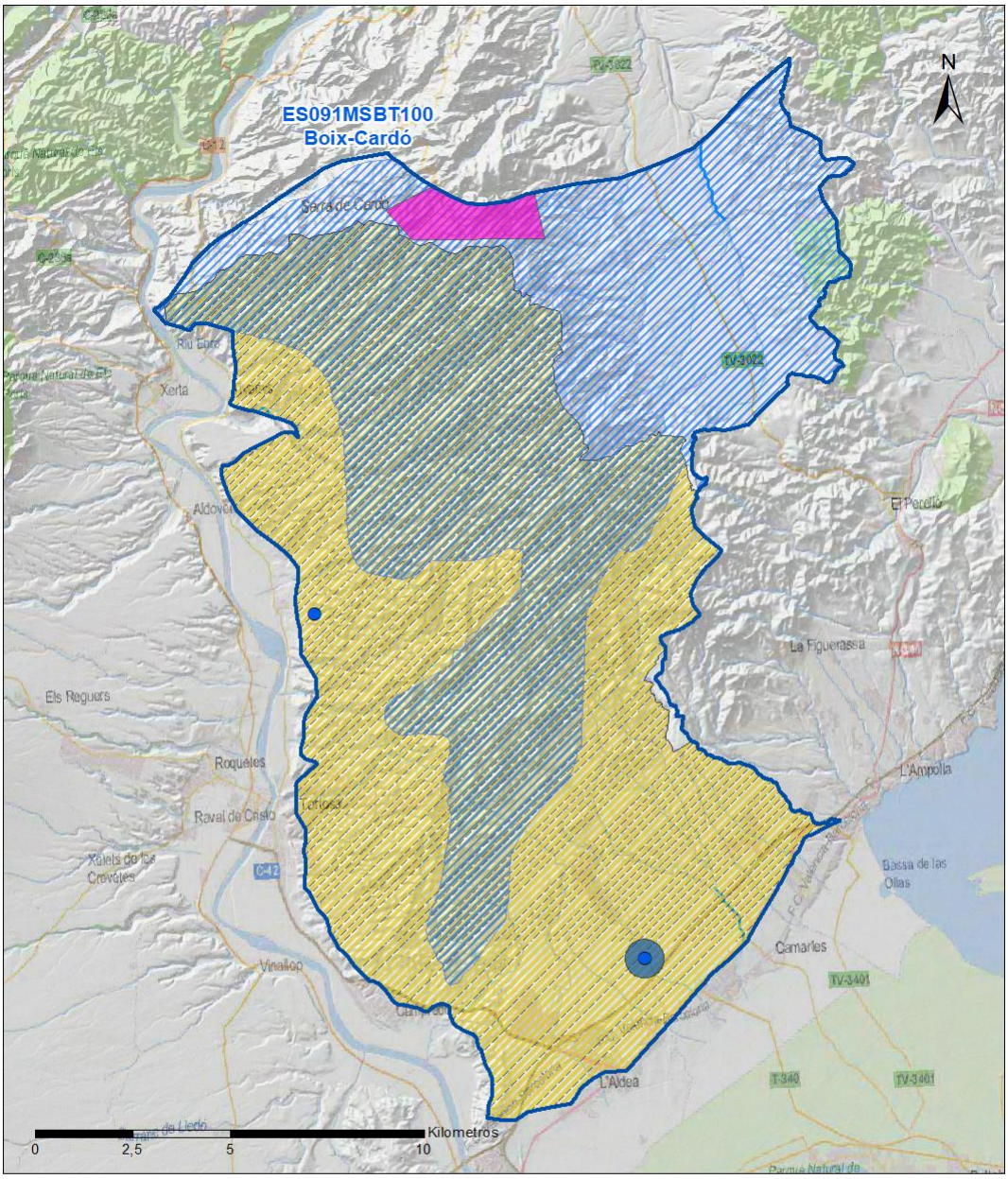
6.2.1 RESUMEN DE LAS ZONAS PROTEGIDAS RELACIONADAS CON LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Tipo de Zona Protegida	Nº	Geometría		Superficie total (km²)	% de la MSBT
		Punto	Polígono		
Zonas protegidas para la captación de aguas para consumo humano (ZPAC)	2	☑	☐		
P. de protección o Z. de salvaguarda de captaciones de agua para consumo humano	2	☐	☑	1	0,30
Zonas de futura captación de agua para consumo humano	1	☐	☑	156	56,29
Zonas vulnerables a la contaminación por nitratos de origen agrario (ZV)	1	☐	☑	209	75,81
Perímetros de protección de aguas minerales y termales	1	☐	☑	4	1,42

Información más detallada acerca de las ZZPP relacionadas con las aguas subterránea se puede consultar en el Anejo 4 del Plan Hidrológico de la DH

6.2.2 MAPA DE ZONAS PROTEGIDAS RELACIONADAS CON LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Mapa de Zonas protegidas



Leyenda

- Zonas protegidas para la captación de aguas para consumo humano (ZPAC)
- Perimetros de proteccion de ZPAC
- Zonas de Salvaguarda
- Zonas de futura captación de agua de consumo humano
- Zonas vulnerables a la contaminación por nitratos de origen agrario (ZV)
- Perímetros de protección de aguas minerales y termales
- MSBT
- Red hidrográfica

7.- EVALUACIÓN DE RECURSOS

7.1 BALANCE HÍDRICO

7.1.1 RÉGIMEN NATURAL (RN)

Entradas		Salidas	
Componente	Volumen (hm³/año)	Componente	Volumen (hm³/año)
Infiltración lluvia		**Descargas hacia MSPF**	
Recarga desde MSPF		**Transf. lateral otras MSBT**	
Transf. lateral otras MSBT			
Otras entradas		**Otras salidas**	
Entradas Totales	0,00	**Salidas Totales**	0,00
Diferencia entradas-salidas (hm³/año) (RN)			0,00

7.1.2 RÉGIMEN ACTUAL (RA)

Entradas		Salidas	
Componente	Volumen (hm³/año)	Componente	Volumen (hm³/año)
Infiltración lluvia	7,74	**Descargas hacia MSPF**	
Recarga desde MSPF		**Extracciones**	9,46
Transf. lateral otras MSBT		**Transf. lateral otras MSBT**	
Retornos de riego	4,85		
Otras entradas		**Otras salidas**	
Entradas Totales	12,59	**Salidas Totales**	9,46
Diferencia entradas-salidas (hm³/año) (RA)			3,13

7.2 RECURSO DISPONIBLE (RD) E ÍNDICE DE EXPLOTACIÓN (IE)

7.2. 1 2º Ciclo de Planificación (2015)

Recursos renovables (RR) PH2015 (hm³/año)	8,25
Extracciones totales (ExTot) en las MSBT PH2015 (hm³/año)	12,38
Necesidades ambientales (NA) PH2015 (hm³/año)	1,60
Recurso disponible (RD) PH2015 (hm³/año)	12,49
Índice de Explotación (IE) PH2015 [IE= ExTot / RD]	0,99

7.2. 2 3º Ciclo de Planificación (2021)

Recursos renovables (RR) PH2021 (hm³/año)	7,74
Extracciones totales (ExTot) en las MSBT PH2021 (hm³/año)	9,46
Necesidades ambientales (NA) PH2021 (hm³/año)	1,55
Recurso disponible (RD) PH2021 (hm³/año)	11,04
Índice de Explotación (IE) PH2021 [IE= ExTot / RD]	0,86

"Recurso Renovable" (RR)= Entradas (Infiltración + Recarga desde MSPF + Transf lateral a otras MSBT+ Otras entradas) - Salida (Transf lateral a otras MSBT)
"Recurso Disponible" (RD)= Recurso Renovable (RR)-Necesidad Ambiental (NA)+ Retorno de Riego

7.3 RECARGA ARTIFICIAL

7.3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN

La masa no cuenta con ninguna instalación para la recarga artificial de acuíferos

7.3.2 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE RECARGA ARTIFICIAL

8.- PIEZOMETRÍA

8.1 PROGRAMA DE SEGUIMIENTO DEL ESTADO CUANTITATIVO

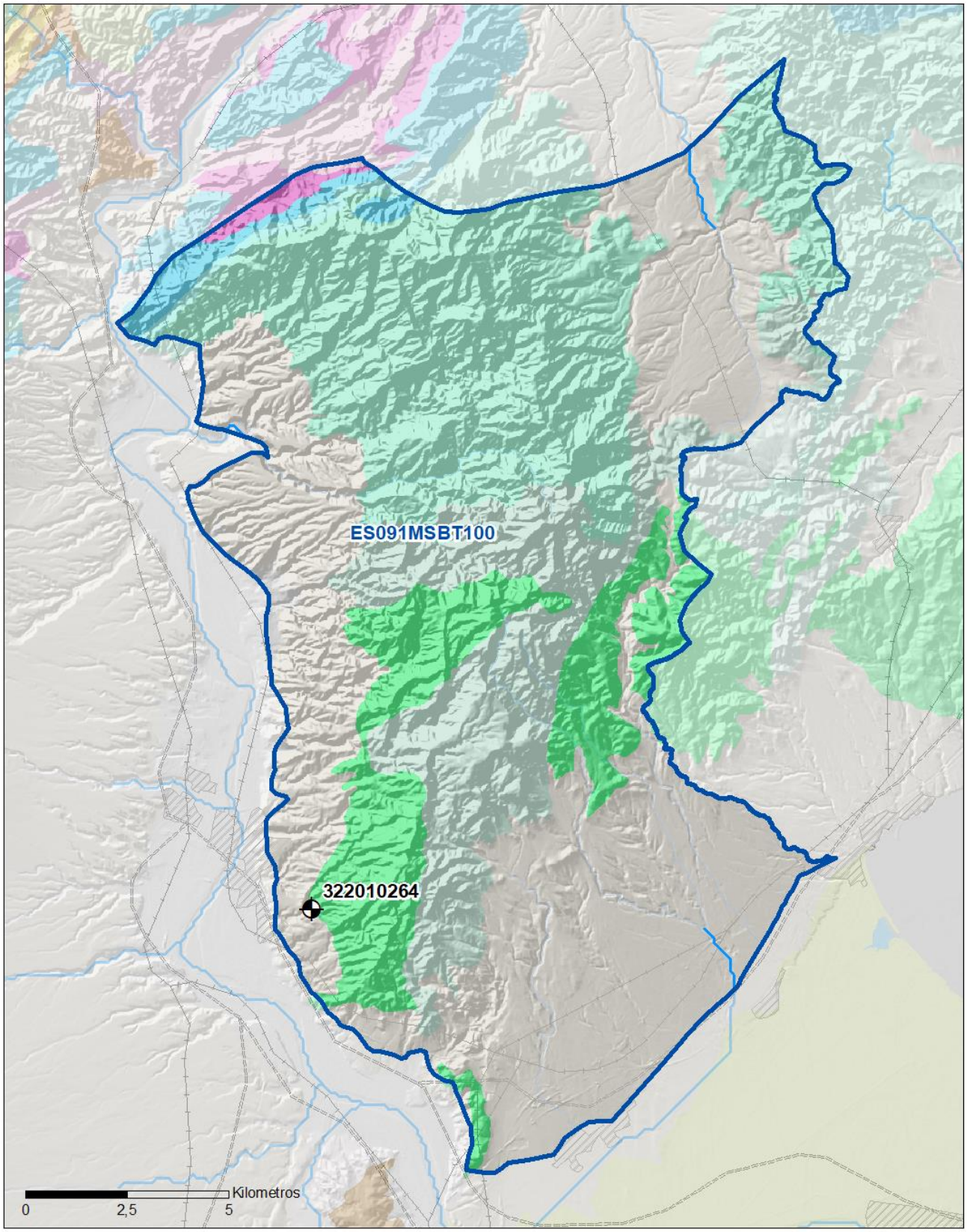
Código punto	Tipo	UTM (ETRS89-H30)		FGP/Acuífero	Inicio muestreo	Nivel de Ref. (m s.n.m.)	Nivel Umbral (m s.n.m.)	Prof. (m)	Cota (m s.n.m.)	Programa de control		
		X	Y							NP	CM	MT
322010264	Piezometría	798.612	4.522.315	Barremiense-Aptiense	25/05/1989			200,0	46	☑	☐	☐

8.1.1 AMPLIACIÓN DE LA RED DE CONTROL (Piezómetros en ejecución y manantiales)

Código punto	Tipo	UTM (ETRS89-H30)		Cota (m s.n.m.)	Prof. (m)	FGP/Acuífero	Plazo de Ejecución	Programa de control		
		X	Y					NP	CM	MT
090.821.012a	Piezómetro	804.062	4.520.847	86	100,0	costras calcáreas y conglomerados	2021-2023	☑	☐	☐

8.2 MAPAS DE LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL

Localización de puntos de control



LEYENDA

MSBT

Red hidrográfica

Programa de Seguimiento del Estado Cuantitativo

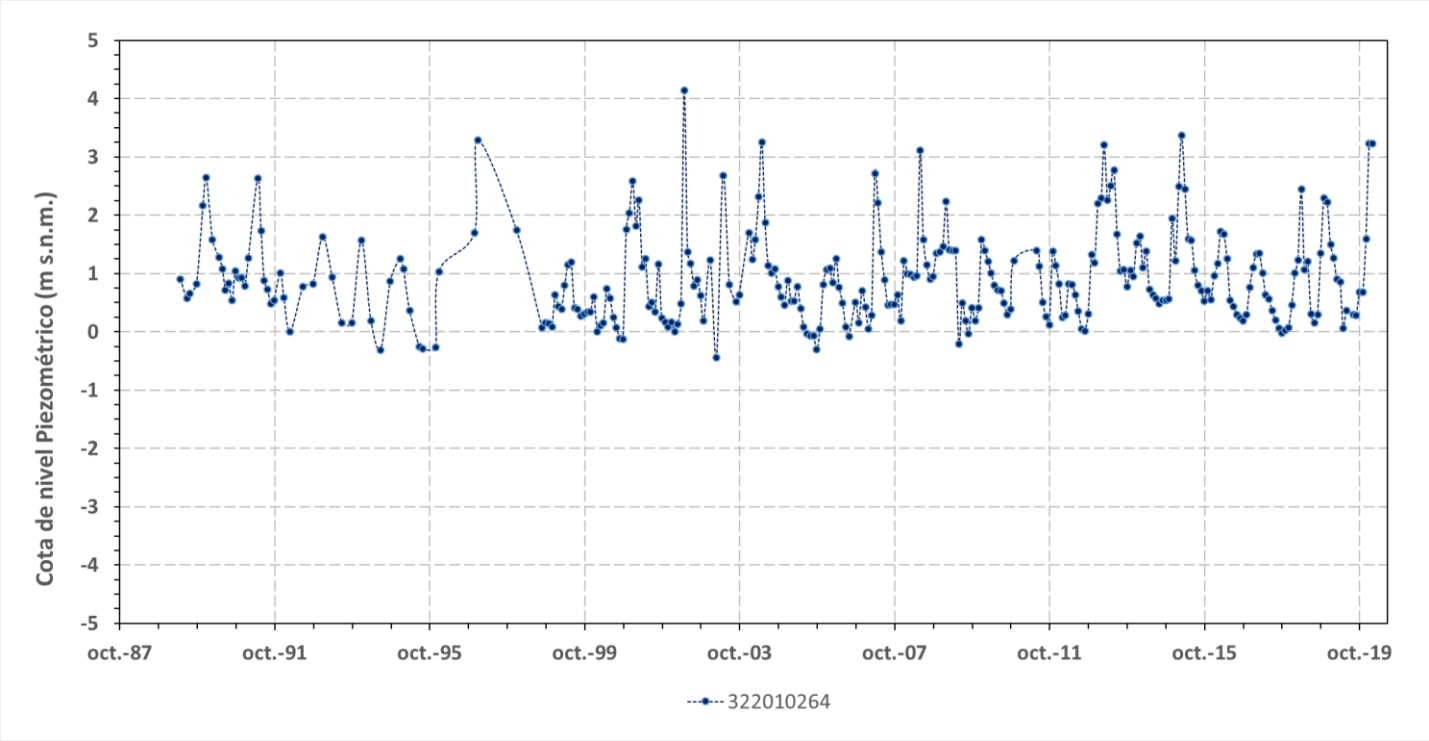
Piezometría

Hidrometría

8.3 EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA PIEZOMETRÍA

8.3.1. EVOLUCIÓN GENERAL DE LA PIEZOMETRÍA/HIDROMETRÍA DE LA MSBT

Gráfico de la evolución piezométrica en los puntos de control



Observaciones a la evolución general de la piezometría / hidrometría

La MSBT Boix Cardó tiene un único piezómetro en la red de control cuantitativo. El punto IPA_322010264 registra el nivel piezométrico en el nivel permeable del Cretácico Inferior (Barremiense-Aptiense) desde 1989.El nivel piezométrico promedio se encuentra en cota promedio de 0,9 m.s.n.m y rango de variación 6 m entre máximos y mínimos. Se observa oscilaciones estacionales de invierno con ascenso del NP y descenso en verano.

Datos Históricos de piezometría del Programa de Seguimiento del Estado Cuantitativo (piezómetros)										
Código punto	Año inicio	Año fin	Número de datos	NP Máx. (m s.n.m.)	NP Mín. (m s.n.m.)	NP Medio (m s.n.m.)	Variación de NP	Vel. de variación NP (m/año)	FGP/Acuífero	Seleccionado
322010264	1989	2020	299	5,7	-0,4	0,9	6,1	0,08	Barremiense-Aptiense	Sí

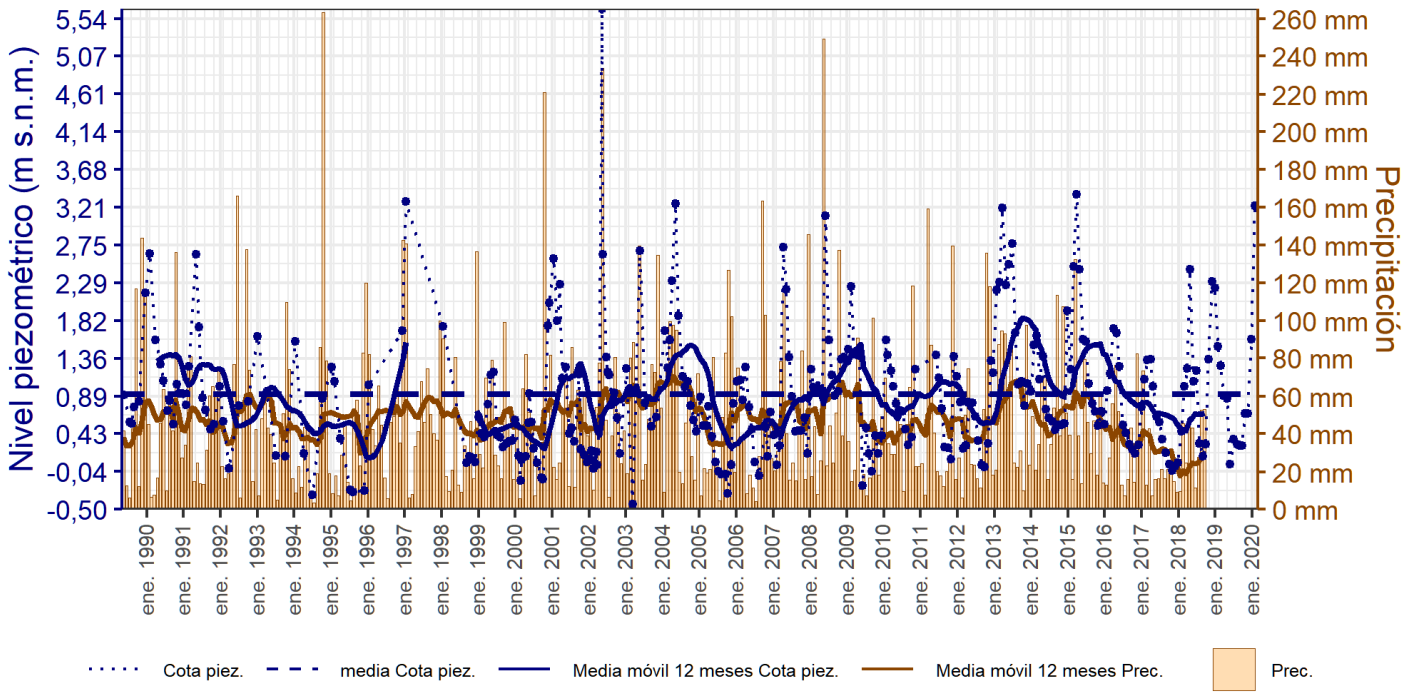
8.4 EVALUACIÓN DE TENDENCIAS

8.4.1 JUSTIFICACIÓN DE SELECCIÓN DE LOS PUNTOS PARA LA EVALUACIÓN DE TENDENCIAS

El punto seleccionado para evaluar la tendencia piezométrica a largo plazo corresponden al único punto de la red de control cuantitativo (IPA_322010264) en el que se miden valores del nivel piezométrico de la formación permeable calcárea del Cretácico (Barremiense-Aptiense). Este punto tiene representatividad temporal, histórica desde el año 1989, y reciente (dos últimos ciclos de planificación, 12 años). La serie temporal es suficientemente extensa como para abarcar distintos ciclos interanuales con estaciones húmeda, seca e intermedia, y en caso de situaciones excepcionales de sequía o gran pluviosidad. El método estadístico para la evaluación de la tendencia piezométrica en la MSBT Boix Cardó es el Test de Mann-Kedall y Sen´s Slope, que permite la detección de tendencia con significancia estadística.

8.4.2 EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LOS PIEZÓMETROS SELECCIONADOS

Evolución temporal de los piezómetros seleccionados



ES091MSBT100 - BOIX-CARDÓ. Piez: 322010264

8.4.2 EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LOS MANANTIALES SELECCIONADOS

8.4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LAS TENDENCIAS DE LOS NIVELES PIEZOMÉTRICOS/CAUDALES

Piezómetros

Código punto	Serie	Año inicio	Año fin	Agreg.	N posible	N test	NP Máx. (msnm)	NP Mín. (msnm)	NP Medio (msnm)	Vel. de variación NP (m/año)	Método estadístico			NCF
											Test de Mann-Kendall			
											Tendencia	p-value	GS (%)	
322010264	Histórica	1989	2020	Anual	32	32	3,3	0,3	1,0	0,071	**Sin Tendencia**	3,90E-01	60,99	**MEDIO**
322010264	Reciente	2010	2020	Mensual	289	127	3,4	-0,2	1,0		**Sin Tendencia**	8,04E-01	19,59	**MEDIO**

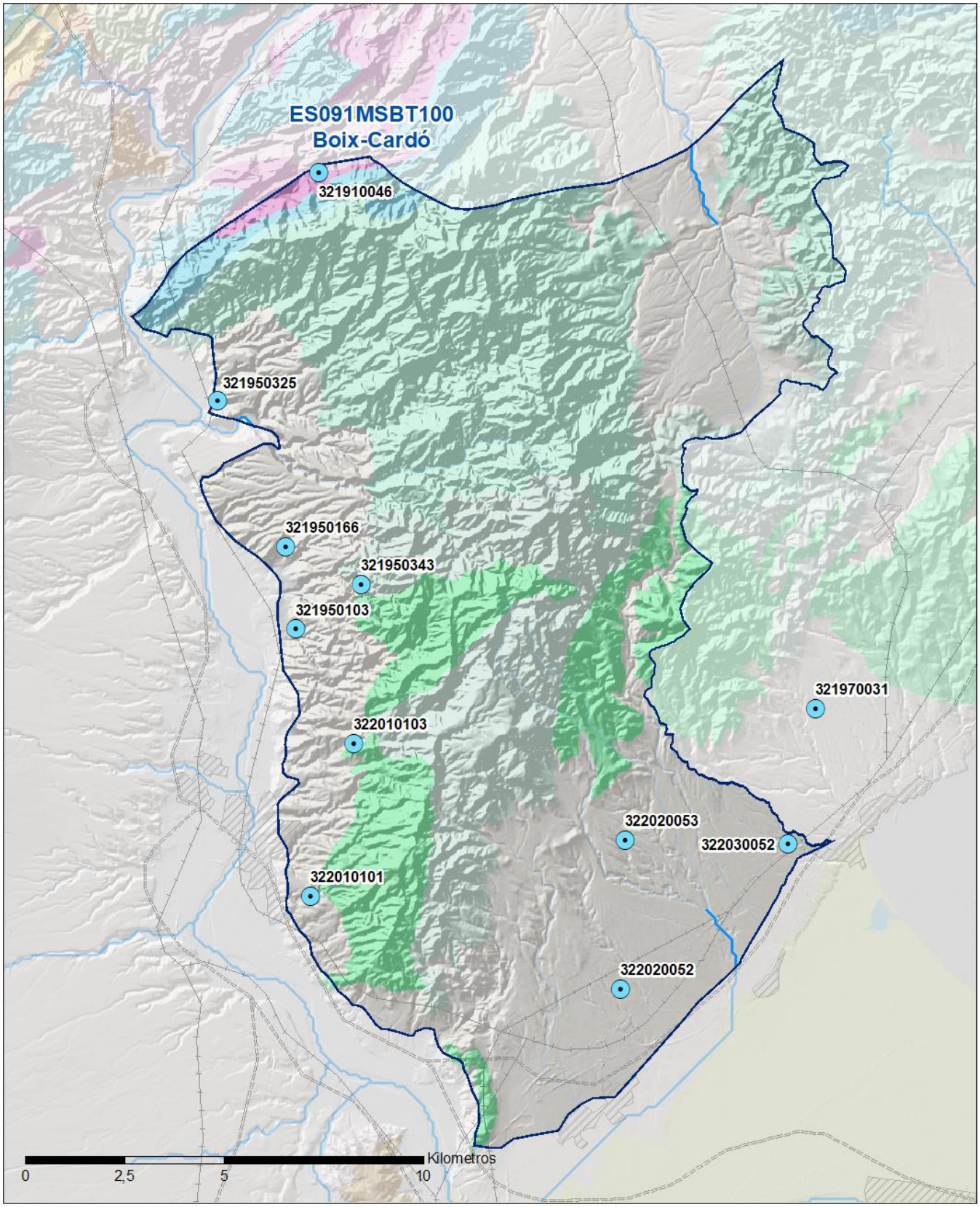
9.- CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA Y EVOLUCIÓN QUÍMICA

9.1 PROGRAMA DE SEGUIMIENTO DEL ESTADO QUÍMICO

Puntos de Muestreo		UTM (ETRS89-H30)		Cota (m s.n.m)	Prof. (m)	Tipo Captación	Acuífero/FGP	Fecha inicio muestreo
Código	Nombre	X	Y					
321910046	"COSTUMA"	798.540	4.540.312	230	32,0	POZO		30/10/2017
321950103	POZO NUEVO ABASTECIMIENTO A BITEM	797.956	4.528.879	57	122,0	POZO	Ac. Cretácico Inf. (Barremiense - Aptiense	13/09/1995
321950166	PARAJE DEL CHACO	797.700	4.530.937	52	127,0	POZO		23/08/2011
321950325	CAPELLA (Po: 21, Pa: 45)	796.005	4.534.603	74	130,0	POZO	Ac.Aluvial del Ebro	09/08/2011
321950343	POU ANTONIO TORRES LOPEZ	799.601	4.529.998	182		POZO		13/08/2009
321970031	PIÑANA	810.992	4.526.880	95	190,0	POZO	Ac. Cuaternario (Piedemonte costero)	15/11/2013
322010101	MIG CAMI. BARRANCO DE LA LLET	798.320	4.522.179	33	150,0	POZO	Ac. Cretácico Inf. (Barremiense - Aptiense	28/02/2000
322010103	"PIMPÍ", POLÍGONO 80, PARCELA 4	799.407	4.526.009	124	172,0	POZO		29/08/2011
322020052	POU JOSEP MANUEL VILLARROYA BONFILL	806.114	4.519.845	59		POZO		04/11/2013
322020053	POU CR LOS 4 PUNTOS. GARROFER BORD	806.208	4.523.587	140	215,0	POZO	Ac. Cuaternario (Piedemonte costero)	04/11/2013
322030052	CLUA	810.308	4.523.472	47		POZO		17/08/2011

Puntos de Muestreo	PDS Estado Químico		PDS Zonas Protegidas			Uso Captación
Código	PC Vigilancia	PC Operativo	PC Abastecimiento	PC NO3	PC EDAS	
321910046	☑	☐	☐	☑	☐	Regadíos y usos agrarios
321950103	☑	☐	☐	☐	☐	Abastecimientos urbanos
321950166	☑	☐	☐	☑	☐	Regadíos y usos agrarios
321950325	☑	☐	☐	☑	☐	Abastecimientos urbanos
321950343	☐	☐	☐	☑	☐	
321970031	☐	☐	☐	☑	☐	
322010101	☑	☐	☐	☐	☐	Regadíos y usos agrarios
322010103	☑	☐	☐	☑	☐	Regadíos y usos agrarios
322020052	☐	☐	☐	☑	☐	
322020053	☐	☐	☐	☑	☐	Regadíos y usos agrarios
322030052	☐	☐	☐	☑	☐	

Mapa Red Control



LEYENDA

Red hidrográfica

MSBT

Tipo de Captación

POZO

9.2 INDICADORES DE LA CALIDAD QUÍMICA DE LA MSBT

Ver Anexo 2.

9.3 FACIES HIDROGEOQUÍMICAS REPRESENTATIVAS

Código Punto	Principales materiales atravesados	Facie Hidrogeoquímica
321910046	Calizas, dolomias (SupraKeuper-Lias)	Sulfatada cálcica
321950325	Gravas, arenas y arcillas (Cuaternario Piedemontes)	Bicarbonata cálcica magnésica
322010103	Calizas y margas (Cretacico Inferior)	Bicarbonata cálcica

Diagrama Piper Hill Langelier

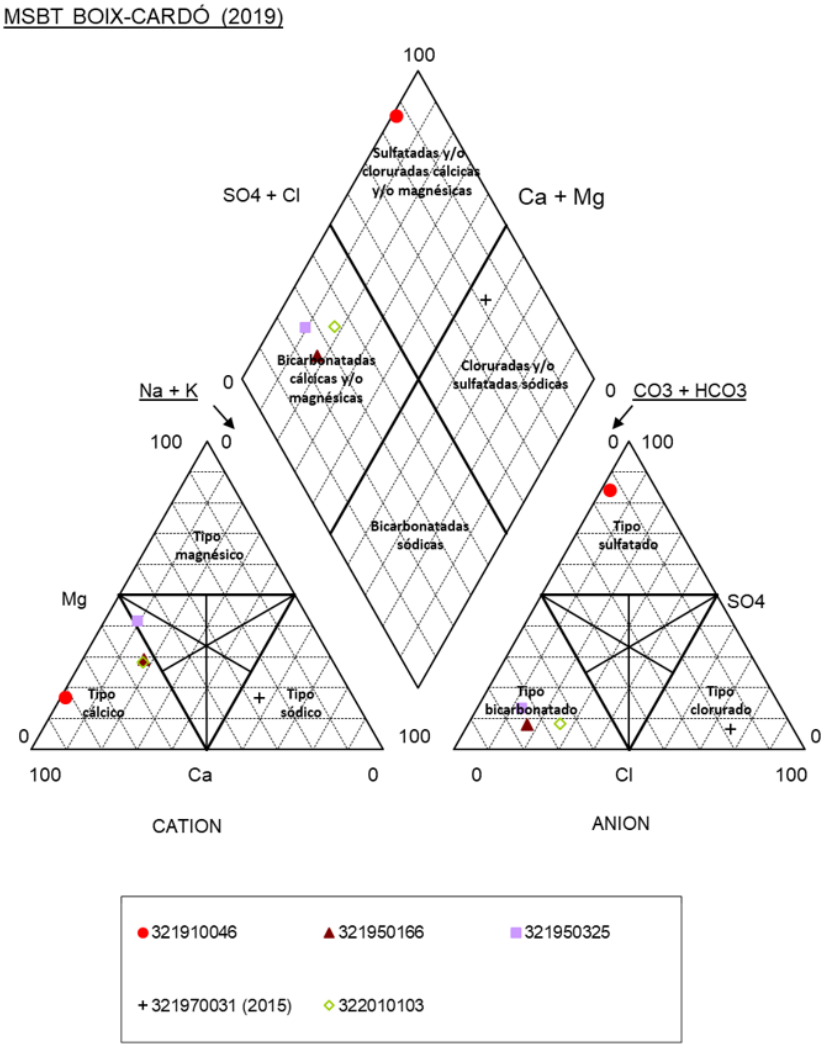


Gráfico de concentración de iones mayoritarios

Código Punto 321910046

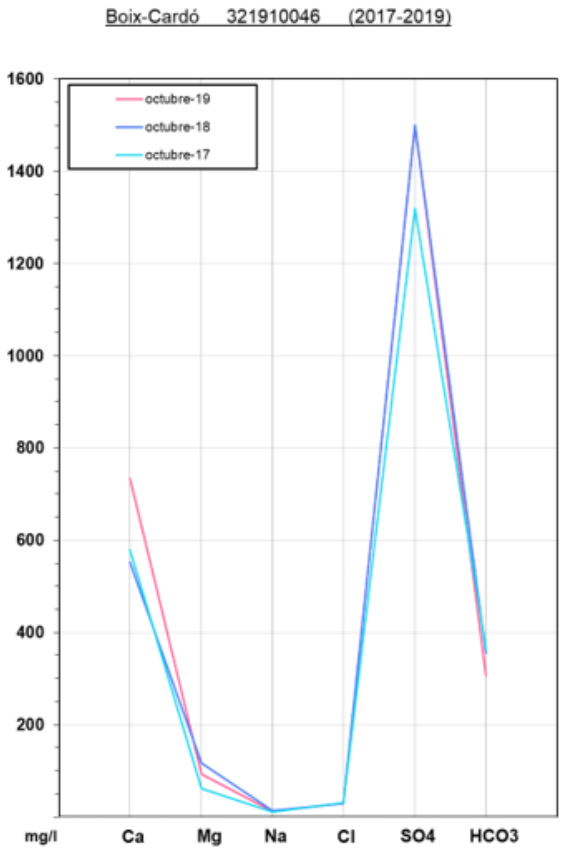


Gráfico de concentración de iones mayoritarios

Código Punto 321950325

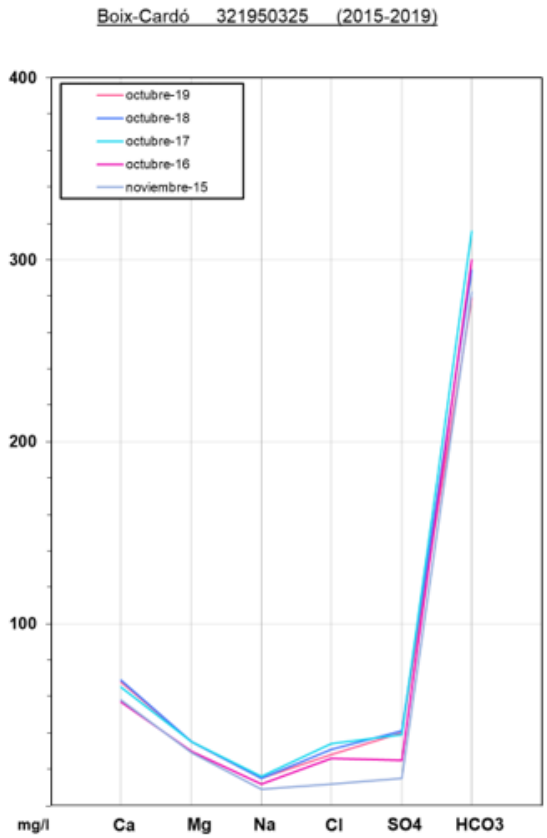
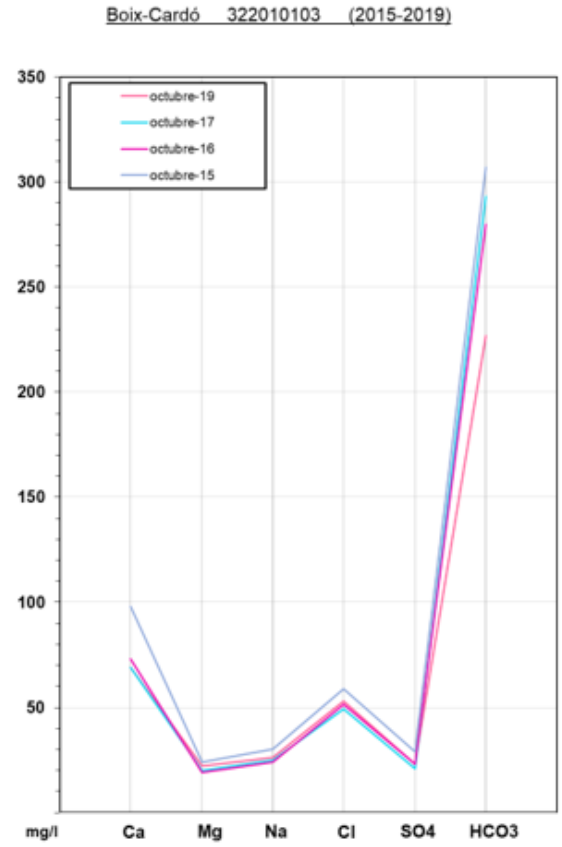


Gráfico de concentración de iones mayoritarios

Código Punto 322010103



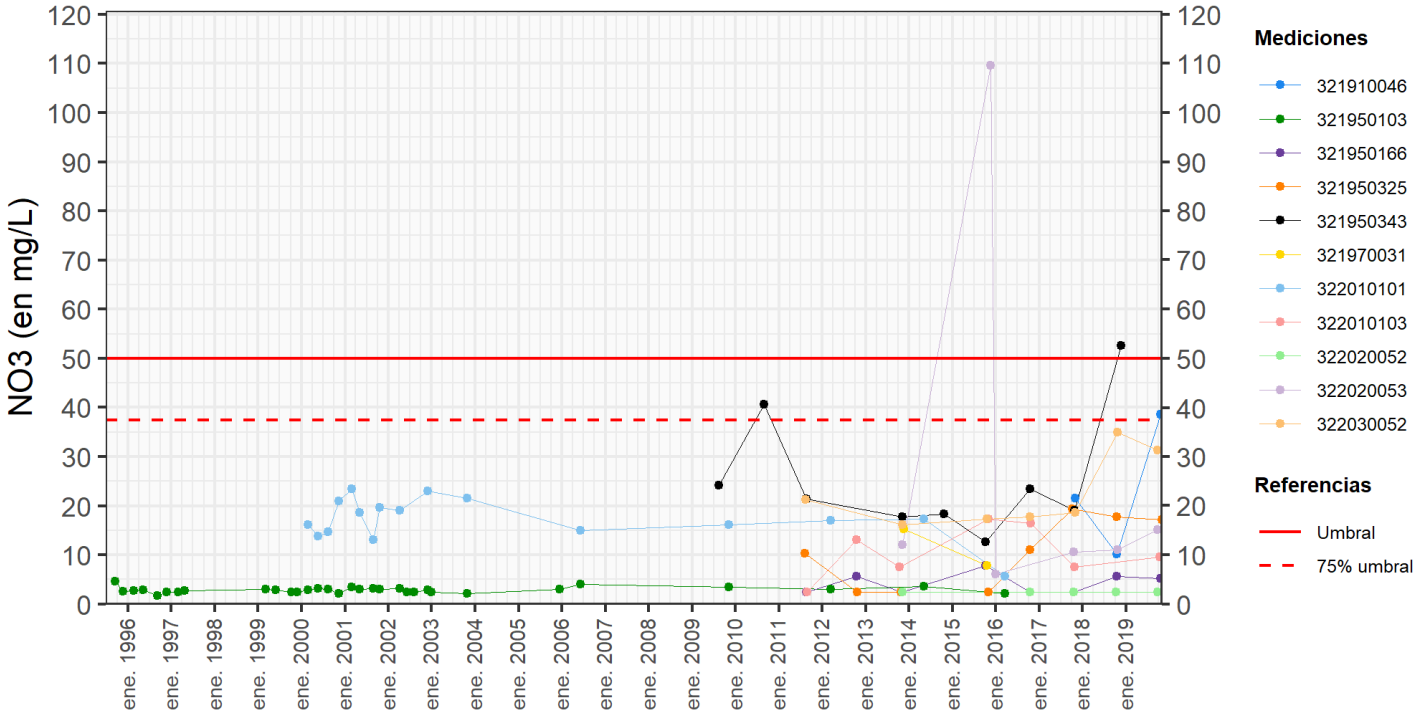
9.4 SUSTANCIAS O INDICADORES DEL RIESGO EN LA MSBT

Parámetro	Unidad	Nivel Referencia (NR)	Uso/Receptor	Valor criterio	Valor umbral/Norma de calidad
Nitrato (NO_3^-)	mg/L				50,00

9.5 ANÁLISIS DE PARÁMETROS Y SUSTANCIAS CAUSANTES DEL RIESGO

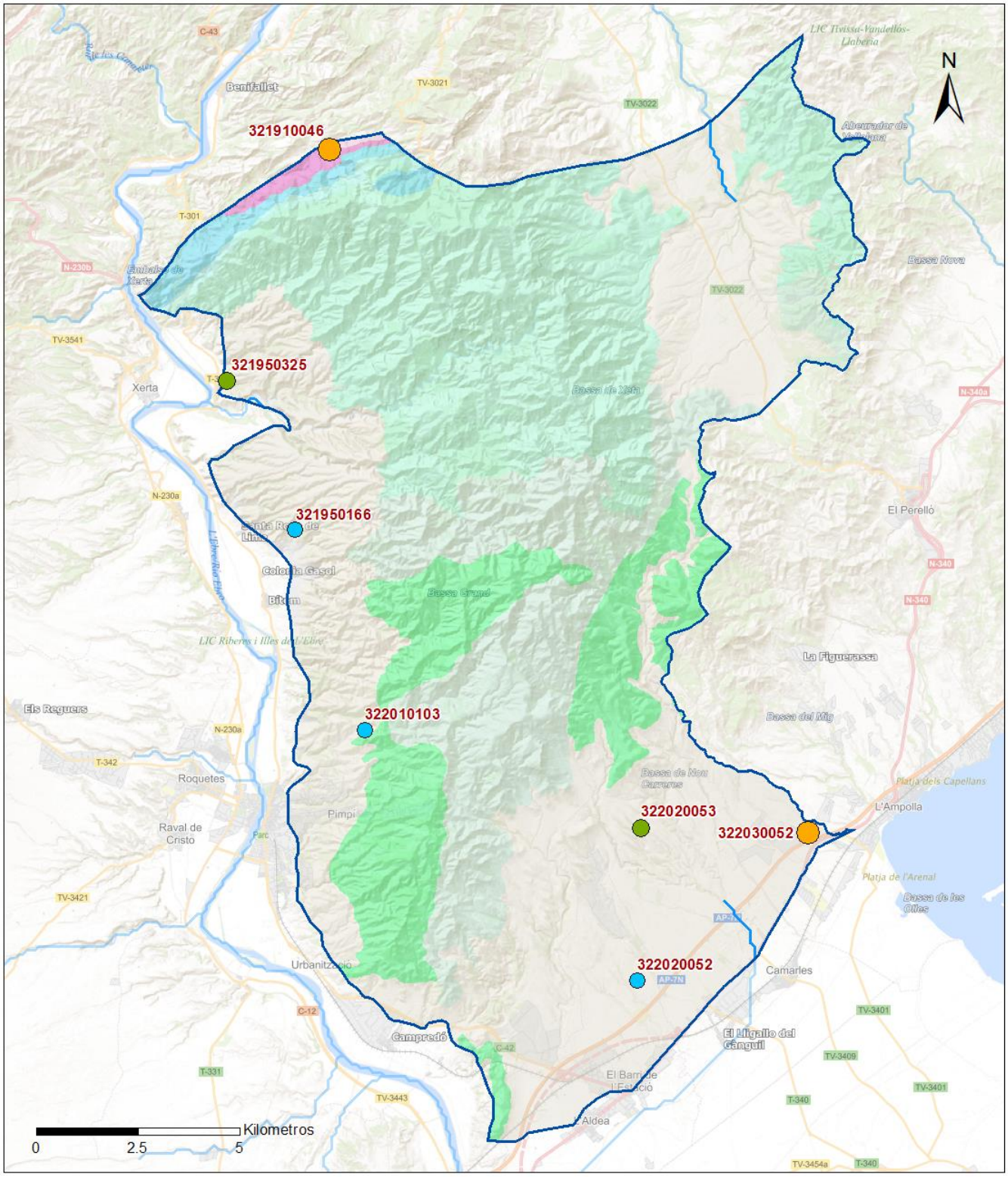
SUSTANCIA O INDICADOR RIESGO	Nº 1	Nitrato (NO_3^-)

Gráficas de Evolución



ES091MSBT100 - NO3 (en mg/L)

Mapa de distribución actual



LEYENDA

MSBT:

Red hidrográfica

ES091MSBT100

Boix-Cardó

NITRATOS (mg/l) 2019

- **0 - 10**
- **10 - 25**
- **25 - 50**
- **50 - 100**
- **> 100**

Norma de Calidad: 50 mg/l

Concentración Natural de Nitratos en las Aguas Subterráneas < 10 mg/l

EVALUACIÓN DE TENDENCIAS

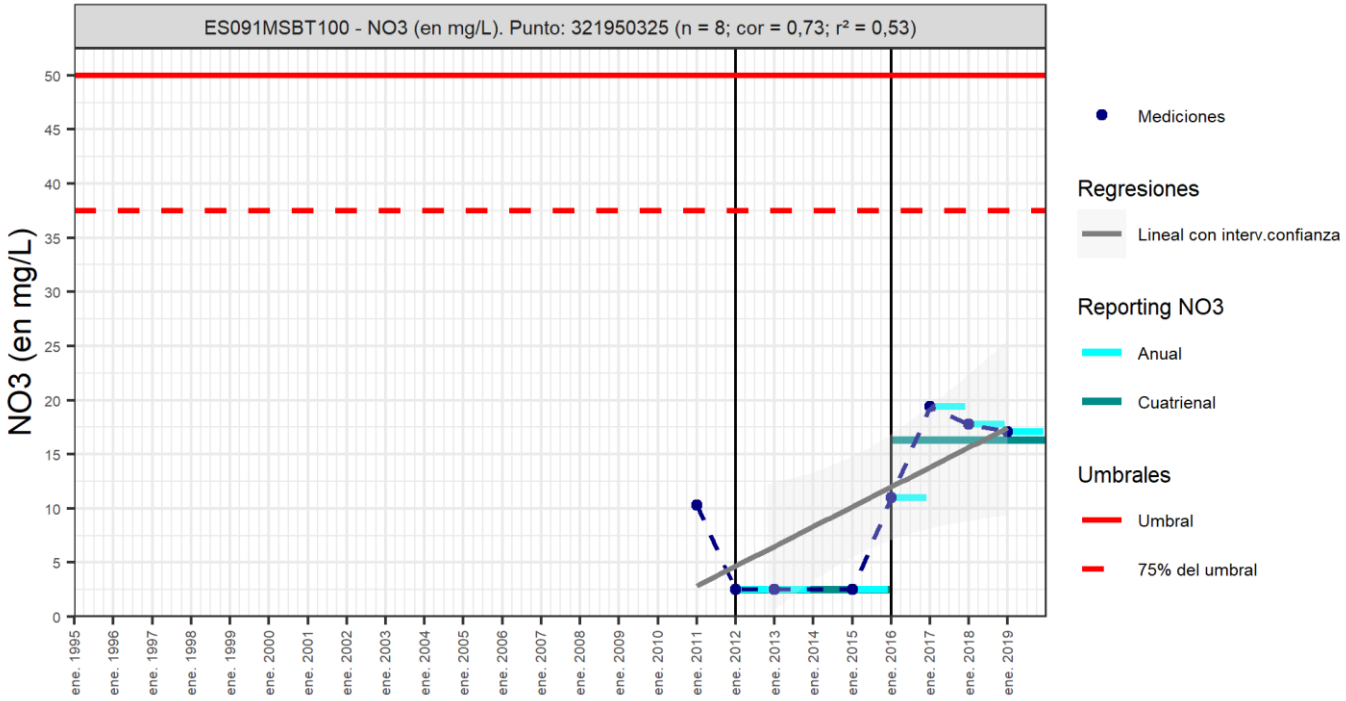
Selección de puntos para evaluación de tendencias

Los puntos seleccionados para la evaluación de tendencia en nitrato son reportados en el informe cuatrienal 2016-2019 y forman parte de la red de nitratos. Se ha seleccionado un punto (IPA_321950343) localizado en los niveles calcáreos del Cretácico inferior que cumple con la serie histórica (mínimo 8 datos anuales) y continuidad temporal para evaluar la tendencia por método básico de regresión lineal y avanzado de Test-Mann Kendall. Otros tres puntos seleccionados para el análisis cuatrienal, IPA_321950325, IPA_322020053 y IPA_322010101, se localizan en el Ac. Cuaternario Piedemonte, aunque sus concentraciones no superan la Norma de Calidad (50 mg/L).

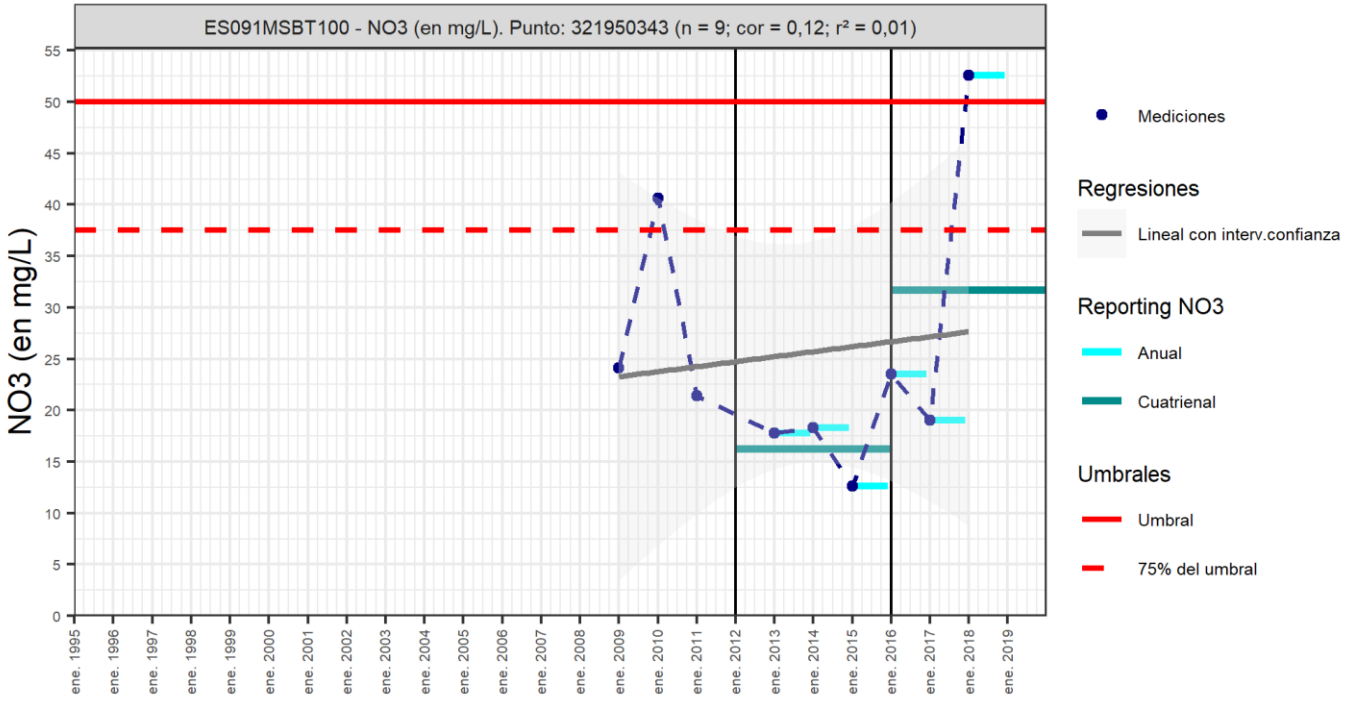
Gráfico de evaluación de tendencia

Nitrato (NO_3^-)

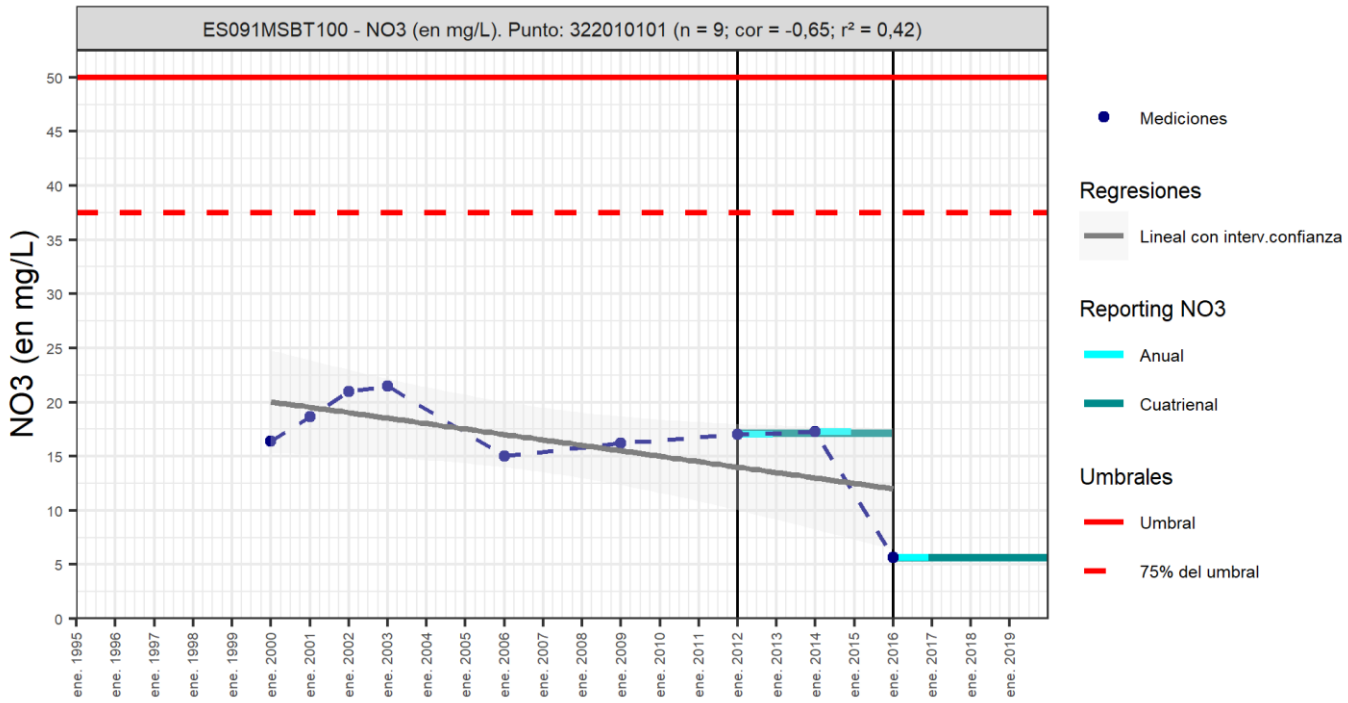
Código Punto 321950325



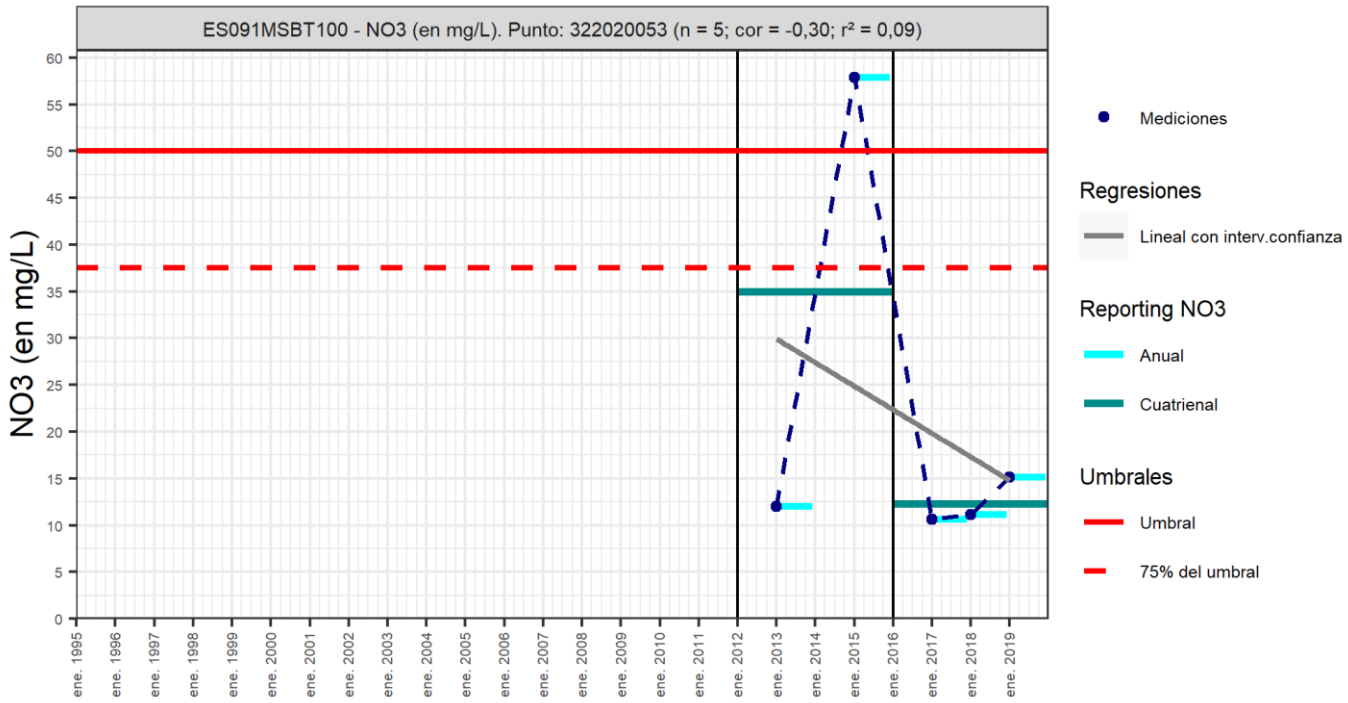
Código Punto 321950343



Código Punto 322010101



Código Punto 322020053



Análisis de tendencias

El análisis de tendencia en la concentración de nitrato se ha realizado en un punto seleccionado de la red control, mediante el método de regresión simple y el estadístico avanzando de Mann–Kendall. La serie histórica de medición (mínimo de 8 datos anuales) se inicia en 1995, y es a partir de 2009 cuando se amplía el número de puntos de la red de control.

Los resultados obtenidos por el método de regresión lineal con valores de R2<0,3 indican una baja correlación y no puede establecerse tendencia (R2>0,5), creciente o decreciente, debido a la heterogeneidad de los datos. El análisis estadístico realizado sobre la serie histórica (min.8 y max.15 datos anuales) no permite identificar tendencias significativas crecientes o decrecientes, obteniéndose valores de GS<90% (tendencia dudosa). El valor de la pendiente indica que la concentración en nitrato desciende en el punto seleccionado (IPA_321950343), aunque la concentración es muy baja a lo largo de la serie temporal, el valor máximo alcanzado en la serie histórica es de 52 mg/L en 2018.

Respecto al análisis de los resultados cuatrienales 2012-2016 y 2016-2019, las variaciones son poco significativas, el aumento o disminución de la concentración varía en el rango entre 11 a 23 mg/L. Las presencias de nitrato en el último cuatrienio están por debajo de los 50 mg/L (Norma de Calidad). La tendencia es a descender en los puntos IPA_322010101 IPA_322020053, y crece en IPA_321950325 y IPA_321950343.

Resultados del análisis de tendencias								Nitrato (NO_3^-)			
Código Punto	Unidad	Serie	Año inicio	Año Fin	Agregación	N total	N test	Valor Mín.	Valor Máx.	V. Base 2007-2008	75% NC./ V.Umbral
321950325	mg/L	Histórica	2011	2019	Anual	8					
321950343	mg/L	Histórica	2009	2018	Anual	9	9	12,60	52,60		37,50
322010101	mg/L	Histórica	2000	2016	Anual	9					
322020053	mg/L	Histórica	2013	2019	Anual	9					

Resultados del análisis de tendencias							
	Método estadístico						
Código Punto	Regresión Lineal Simple			Test de Mann-Kendall			
	R2	Tendencia	NCF Cualitativa	Tend.	p-value	GS (%)	NCF Cuantitativa
321950325							
321950343	0,01437	**Sin Tendencia**	**MEDIO**	**Sin Tendencia**	9,17E-01	8,30	**MEDIO**
322010101							
322020053							

Resultado análisis de tendencias Informe Cuatrienal: Nitratos ($NO_3^=$) en mg/L													
Código Punto	Serie	Año inicio	Año Fin	Agregación	N total	Valor Min.	Valor Máx.	V. Base 2007-2008	75% NC (mg/L)	3º Cuatrienio (2012-2015)	4º Cuatrienio (2016-2019)	(Δ)Valor de Tendencia (mg/L)	Tendencia
321950325	Histórica	2012	2019	Cuatrienal	2	2,50	16,33		37,50	2,50	16,33	13,82	**Ascendente**
321950343	Histórica	2012	2019	Cuatrienal	2	16,23	31,70		37,50	16,23	31,70	15,47	**Ascendente**
322010101	Histórica	2012	2019	Cuatrienal	2	5,63	17,15		37,50	17,15	5,63	-11,52	**Descendente**
322020053	Histórica	2012	2019	Cuatrienal	2	12,27	34,95		37,50	34,95	12,27	-22,68	**Descendente**

10.- CONCLUSIONES

La MSBT Boix Cardó, se ubica en la zona suroriental de la Demarcación Hidrográfica del Ebro y pertenece al Dominio Hidrogeológico del Maestrazgo-Catalanides. Con una extensión de 276 km² se encuentra dentro de la provincia de Tarragona (C.C.A.A Cataluña), y las poblaciones más importantes dentro de sus límites son Tortosa, Camarles, L´Aldea y L´Ampolla.

La MSBT Boix Cardo se encuentra en el dominio geoestructural de las Catalanides, delimitada entre el río Ebro hacia el Oeste y la divisoria con las Cuencas Internas Catalanas hacia el Este. Se encuentra en el macizo de Cardó-Vandellos, entre las Cordilleras Ibérica y las Catalanides.

Los materiales que afloran en la MSBT corresponden a los materiales Mesozoicos comprendidos entre el Muschelkalk (Triásico) y Aptiense que configuran los relieves de las sierras de Cardó y Tivissa. Los depósitos cuaternarios están representados por los piedemontes que enlazan las sierras con la costa en L'Ampolla y con el aluvial del río Ebro.

El Jurásico inferior está formado por una serie calizo-dolomítica con un espesor entre 250 y 300 m. Su extensión de afloramiento es reducida a los sectores septentrionales de Benifallet – Rasquera y Tivissa – Vandellòs. El nivel Jurásico superior - Cretácico está formado por unos 800 m de calizas y dolomías. Aflora en casi todo el ámbito del área hidrogeológica.
La litología de los materiales mesozoicos que afloran, de forma sintética, son los siguientes:

- Triásico: facies germánicas. Conglomerados y areniscas en la base. Dolomía, arcillas con yesos, calizas dolomíticas y margas hacia el techo. Corresponden a las formaciones carbonatadas del Muschelkalk (inferior y superior) y el término medio del Muschelkalk que corresponde a un paquete de arcillas, margas y yesos.
  En la base las facies conglomeráticas del Buntsandstein y en el techo las arcillas y yesos de la Fm.Keuper.
- Jurásico Inferior: fundamentalmente calizo-dolomítico con facies que van desde aguas profundas a someras. Se corresponden con el Lias inferior (Grupo Renales) integrado por las Fms. Dolomías tableadas de Imón, Carniolas de Cortes de Tajuña y Dolomías de Cuevas Labradas.
- Jurásico Superior: dolomías y calizas del Malm-Neocomiense.
- Cretácico Inferior: corresponde a las calizas y calizas margosas (Facies Weald) del Necomiense y las calizas arrecifales, dolomías y margas del Aptiense-Cenomaniense.

Las características hidrogeológicas y edafológicas del acuífero, clasificado como carbonatado, le confieren un grado de vulnerabilidad intrínseco a la contaminación según el método COP de Muy Bajo a Bajo al 54,9 %, Moderado al 19,5% y Alto a Muy Alto al 30,9 % de la superficie de la MSBT Boix-Cardó.

En la masa de agua subterránea se identifican tres límites abiertos con flujo de salida: al Oeste, hacia la MSBT Aluvial del Ebro a través de los materiales cuaternarios del aluvial actual y antiguo; al Sureste, hacia la MSBT contigua del Delta del Ebro; y al Este, donde la descarga se produce hacia las cuencas internas catalanas a través de la MSBT L´Ametlla de Mar-Perello (ES100MSBT55).

En la MSBT Boix Cardó se identifican dos acuíferos. Un acuífero multicapa constituido por una potente serie calizo-dolomítica, con intercalaciones margosas, de unos 1.000 m de potencia media. Y otro acuífero que incluye los depósitos cuaternarios de los piedemontes y aluviales del Ebro.

Los niveles permeables calcáreos del Trias y Jurásico inferior (Fm Cortes de Tajuña) afloran en el límite norte de la masa de agua subterránea. En el resto de su extensión están confinados a gran profundidad. En el resto, los afloramientos más extensos se identifican con el Jurásico superior (Malm-Neocomiense) y Cretácico inferior (Aptiense-Cenomaniense).

El aluvial del Ebro se identifica con las terrazas altas de la margen izquierda en la zona de Tortosa. Estos materiales están en continuidad hidráulica con el acuífero Mesozoico subyacente. Desde las estribaciones montañosas del Cardó y hacia el delta del Ebro se extiende una llanura aluvial formada por piedemontes (abanicos aluviales y depósitos coluviales) de elevada permeabilidad y régimen hidráulico libre. Estos piedemontes tienen un espesor medio del orden de 100 m, con valores máximos del orden de 150 m. En líneas generales su espesor aumenta de oeste a este. Bajo ellos se sitúa la serie arcillosa del Plioceno con un espesor medio de unos 200 m, que dificultan la posible conexión hidráulica de este acuífero con el subyacente Mesozoico.

Los parámetros hidráulicos característicos de las diferentes formaciones permeables carbonatadas y detríticas en la MBST han sido reportados en actividades realizadas por el IGME.
A partir de los datos procedentes de ensayos de bombeo en sondeos y pozos se estimó un valor de la transmisividad para el Jurásico inferior entre 400 y 6.000 m²/día, con un valor medio de 700 m²/día. El coeficiente de almacenamiento para este nivel varía entre 0,008 y 0,01. Para la serie Jurásico superior – Cretácico inferior se obtienen valores de transmisividad según esta misma fuente entre 30 y 500 m²/día, con un coeficiente de almacenamiento de 0,005.

Otros ensayos realizados en las calizas del Cretácico inferior en Tortosa apuntan valores de transmisividad entre 40 y 200 m²/día. El nivel Barremiense superior-Aptiense, identificado en la zona de L´Aldea con espesores de 200 y 160 m para el Aptiense, la transmisividad obtenida es del orden de 100 m2/día. A partir de los datos piezométricos recopilados de las actividades del IGME, para el nivel del Jurásico superior – Cretácico inferior, se ha estimado un gradiente hacia la zona costera de 0,003, muy constante durante todo el periodo disponible. En la zona costera de Ametlla y Perelló, los gradientes son más tendidos, con un promedio del

orden de 0,002 con respecto al nivel de descarga que define la línea de costa.

En el acuífero de Piedemonte, los valores de transmisividad obtenidos indirectamente a través de caudales específicos en pozos varían entre 50 m²/día y 750 m²/día, con un promedio de 500 m²/día. No se dispone de datos sobre el coeficiente de almacenamiento. Las terrazas antiguas del Ebro se encuentran conectados hidráulicamente a los piedemontes cuaternarios, en algunos puntos alcanzan hasta 180 m de espesor (zona de Campredó), reciben la descarga de los niveles permeables calcáreos mesozoicos de borde y la transmisividades son muy altas variando entre 10.000 y 15.000 m/día.

El funcionamiento hidrogeológico de la MSBT Boix Cardo está condicionado por la topografía local y las directrices estructurales. En el sector NO, los afloramientos de materiales de baja permeabilidad del Keuper en el sinclinal de Benifallet provocan la presencia de una zona formada por calizas del Jurásico inferior, desconectada hidráulicamente del resto del área hidrogeológica. El drenaje se realiza hacia el río Ebro.

En el resto del acuífero, la existencia de dos niveles de drenaje, el río Ebro y el mar, condicionan la formación de una divisoria hidrogeológica transversal al acuífero mesozoico. Se trata de una divisoria de carácter dinámico cuya posición no es muy precisa a falta de información más concreta. El área de recarga del acuífero mesozoico está constituida por toda su extensión de afloramiento (incluidos los rellenos cuaternarios del Pla de Burgans).

Sobre este acuífero se emplaza una divisoria hidrogeológica que, a falta de información más precisa, se supone que coincide aproximadamente con la hidrográfica. Esta divisoria determina la presencia de dos áreas de descarga diferenciadas, hacia el mar en la vertiente oriental del macizo mesozoico y hacia el Ebro en sus vertientes septentrional y occidental.

En la MSBT se han identificado dos recintos. Uno de ellos es el denominado El Cardo (ES091MSBT100S01), en el que no se identifican ningún cauce principal, los cauces superficiales son barrancos y curso no permanente, la descarga principal se realiza al Aluvial de Tortosa (ES091MSBT101) y a la costa a través del recinto hidrogeológico ES091MSBT105S00 Delta del Ebro. El otro recinto hidrogeológico es el denominado La Riera (ES091MSBT100S02), no hay descargas significativas por manantiales o relaciones río–acuífero, su principal descarga es lateral hacia las Cuencas Internas Catalanas, a través de la MSBT L´Ametlla de Mar-Perelló (ES100MSBT55) la descarga se produce al mar Mediterráneo.

En el tercer ciclo de planificación hidrológica se establecieron, para la MSBT Boix-Cardó, unos recursos disponibles de 11,04 hm³/año, sobre unos recursos renovables de 7,74 hm³/año. La salida de agua subterránea más importante se corresponde con las extracciones por bombeo que se estimaron en 9,46 hm³/año, lo que tiene como consecuencia que el índice de explotación de esta masa sea de 0,86.

La MSBT Boix Cardó tiene un único piezómetro en la red de control cuantitativo. El punto IPA_322010264 registra el nivel piezométrico en el nivel permeable del Cretácico Inferior (Barremiense-Aptiense) desde 1989. El nivel piezométrico promedio se encuentra en cota promedio de 0,9 m.s.n.m y rango de variación 6 m entre máximos y mínimos. Se observa oscilaciones estacionales de invierno con ascenso del NP y descenso en verano.

La masa de agua subterránea se encuentra en riesgo cuantitativo (LOWT) por extracción directa de agua requerida principalmente para actividad agrícola, industrial y abastecimiento público de agua. El nivel piezométrico (NP) es un parámetro fundamental indicador del impacto generado sobre la MSBT.

El punto seleccionado para evaluar la tendencia piezométrica a largo plazo corresponden al único punto de la red de control cuantitativo (IPA_322010264) en el que se miden valores del nivel piezométrico de la formación permeable calcárea del Cretácico (Barremiense-Aptiense). Este punto tiene representatividad temporal, histórica desde el año 1989, y reciente (dos últimos ciclos de planificación, 12 años). La serie temporal es suficientemente extensa como para abarcar distintos ciclos interanuales con estaciones húmeda, seca e intermedia, y en caso de situaciones excepcionales de sequía o gran pluviosidad.

El resultado obtenido del análisis estadístico con el método de Test Mann –Kendall y Sen´s Slope, aplicado a la serie histórica y reciente, no permite identificar tendencia significativa en el punto seleccionado, con un valor de GS de 61,0 %, aunque la cota del nivel piezométrico desciende (valor negativo de Sen Slope).

La red de control del estado químico de la MSBT tiene 11 puntos de control (pozos) distribuidos en los diferentes niveles calcáreos del Cretácico inferior y en los detríticos cuaternarios de piedemonte. Las características generales fisicoquímicas de la MSBT corresponden a un agua ligeramente ácida a básica, con un pH entre 6,0 y 9,3. Los valores de conductividad eléctrica varían entre 283 y 2.467 µS/cm, con un valor promedio del percentil 50 (P50) de 789 µS/cm, se consideran aguas naturales poco mineralizadas y dulces (< 2000 µS/cm Custodio y Llamas, 1983). La dureza del agua expresada en mg/L CaCO3 varía entre 207 a 2.467 mg/L y se clasifica por su dureza como agua dura a muy dura.

Las facies hidrogeoquímicas identificadas en la MSBT Boix Cardó son variadas en función de la litología del acuífero principal. Se diferencian el tipo CaHCO3 en la formación calcárea del Cretácico inferior, el tipo CaMg HCO3 en el acuífero de cuaternarios de piedemonte al Oeste de la MSBT, y el tipo SO4Ca al Norte de la MSBT donde afloran los niveles superiores del Trias y del Jurásico inferior (Ac.Suprakeuper Lias del Jurásico). La frecuencia de muestreo durante el periodo 2015-2019 fue irregular temporalmente,

no se dispone de Línea Base 2007-2008 (Diagramas de columna), no se observan variaciones interanuales destacables en los puntos seleccionados.

La masa de agua subterránea está en riesgo químico (NUT) de no alcanzar los objetivos medioambientales por la concentración en nitrato (NO_3^-), debido principalmente a la actividad agrícola. La concentración de nitrato en la serie histórica varía en un rango entre 4 y 109 mg/L, con un valor promedio del percentil 50 (P50) de 12,8 mg/L para la MSBT y que no supera el valor de 50 mg/L establecido en la Norma de Calidad. La gráfica de evolución de nitrato, en la que se representa la red de control químico, muestra que todos los puntos tienen concentraciones por debajo de la NC, excepto valores puntuales que superan la NC.

Los puntos seleccionados para la evaluación de tendencia en nitrato son reportados en el informe cuatrienal 2016-2019 y forman parte de la red de nitratos. Se ha seleccionado un punto (IPA_321950343) localizado en los niveles calcáreos del Cretácico inferior que cumple con la serie histórica (mínimo 8 datos anuales) y continuidad temporal para evaluar la tendencia por método básico de regresión lineal y avanzado de Test-Mann Kendall. Otros tres puntos seleccionados para el análisis cuatrienal, IPA_321950325, IPA_322020053 y IPA_322010101, se localizan en el Ac. Cuaternario Piedemonte, aunque sus concentraciones no superan la Norma de Calidad (50 mg/L). La serie histórica de medición (mínimo de 8 datos anuales) se inicia en 1995, y es a partir de 2009 que se amplía el número de puntos de la red de control.

Los resultados obtenidos por el método de regresión lineal con valores de $R2<0,3$ indican una baja correlación y no puede establecerse tendencia ($R2>0,5$), creciente o decreciente, debido a la heterogeneidad de los datos. El análisis estadístico realizado sobre la serie histórica (min.8 y max.15 datos anuales) no permite identificar tendencias significativas crecientes o decrecientes, obteniéndose valores de GS<90% (tendencia dudosa). El valor de la pendiente indica que la concentración en nitrato desciende en el punto seleccionado (IPA_321950343), aunque la concentración es muy baja a lo largo de la serie temporal, el valor máximo alcanzado en la serie histórica es de 52 mg/L en 2018.

Respecto al análisis de los resultados cuatrienales 2012-2016 y 2016-2019, las variaciones son poco significativas, el aumento o disminución de la concentración varía en el rango entre 11 a 23 mg/L. Las presencias de nitrato en el último cuatrienio están por debajo de los 50 mg/L (Norma de Calidad). La tendencia es a descender en los puntos IPA_322010101 IPA_322020053, y crece en IPA_321950325 y IPA_321950343.

11.- PLAN DE ACCIÓN

El objeto del Plan de Acción en las fichas de Caracterización Adicional pretende orientar los trabajos necesarios para impulsar las necesidades de mejora del conocimiento en materia de aguas subterráneas que han sido detectadas. La Ley de Cambio Climático y Transición Energética, bajo el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), señala la necesidad de abordar desde la planificación hidrológica estudios específicos de adaptación a los efectos del cambio climático a escala de cada demarcación hidrográfica. También, el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia contempla, como uno de sus ejes, el impulso a la modelización numérica y digital del ciclo hidrológico.

Resultado del trabajo de Caracterización Adicional en las MSBT en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales, y detectadas las necesidades en cada una de ellas, se propone una serie de actuaciones prioritarias de acuerdo a sus características hidrogeológicas y tipología de presiones e impactos.

	Actividad	
A01	TRATAMIENTO DE DATOS E INFORMACIÓN DE CARACTERIZACIÓN	
	Subactividad/Herramienta	
S01	Recopilación y análisis de antecedentes	☑
S02	Diseño y creación del sistema de almacenamiento de la información	☑
S03	Inventario de puntos de agua en gabinete y diseño de campañas de campo	☑
S04	Inventario de puntos de agua en campo	☑
S05	Recopilación y/o Generación de coberturas y Creación de proyecto SIG y Base de Datos	☐
	Actividad	
A02	ESTUDIOS GEOLÓGICOS	
	Subactividad/Herramienta	
S06	Prospección geofísica (diseño, realización e interpretación)	☐
S07	Realización de sondeos de reconocimiento	☑
S08	Cartografía Geológica	☐
S09	Generación de cortes geológicos	☑
S10	Estudios estructurales	☑
S11	Informe geológico	☑
	Actividad	
A03	ESTUDIO DE LA ZONA NO SATURADA	
	Subactividad/Herramienta	
S12	Diseño de estrategia de investigación de la ZNS	☑
S13	Ensayos y recogida de muestras en campo y análisis en laboratorio. Aplicación de métodos de investigación directos.	☐
S14	Estimación de parámetros de la ZNS a través de métodos indirectos.	☐
S15	Modelización de la ZNS	☐
S16	Diseño y creación de un sistema de almacenamiento de la información de los parámetros de la ZNS	☐
S17	Planteamiento de los estudios de vulnerabilidad	☑
S18	Métodos de estimación de la vulnerabilidad	☑
S19	Generación de mapas de vulnerabilidad y análisis de datos	☑
	Actividad	
A04	ESTUDIO DE LA PIEZOMETRÍA	
	Subactividad/Herramienta	
S20	Diseño de campañas de piezometría e hidrometría	☑
S21	Realización de campañas de piezometría e hidrometría. Interpretación de resultados (Isopiezas).	☑
S22	Análisis de series termopluviométricas	☑
S23	Análisis de tendencias piezométricas	☑
S24	Situación piezométrica en condiciones naturales	☑
S25	Informe de situación piezométrica	☑
S26	Estudio de los flujos profundos	☐
	Actividad	
A05	DEFINICIÓN DE ACUÍFEROS Y PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS	
	Subactividad/Herramienta	
S27	Diseño de metodología de determinación de parámetros hidráulicos	☑

Actividad		
A05	DEFINICIÓN DE ACUÍFEROS Y PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS	
	Subactividad/Herramienta	
S28	Realización de sondeos hidrogeológicos	☑
S29	Análisis granulométricos	☑
S30	Ejecución e interpretación de ensayos de bombeo	☑
S31	Diseño, ejecución e interpretación de ensayos de permeabilidad en sondeos	☑
S32	Análisis y definición de detalle de las FGP y los acuíferos dentro de las MSBT	☐
Actividad		
A06	ESTUDIOS DE CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA	
	Subactividad/Herramienta	
S33	Diseño de campañas de muestreo y solicitud de permisos	☑
S34	Realización de campañas de muestreo	☑
S35	Analíticas hidrogeoquímicas	☑
S36	Analíticas isotópicas	☑
S37	Análisis, interpretación y caracterización hidrogeoquímica	☑
S38	Análisis de tendencias hidrogeoquímicas	☑
S39	Determinación del Nivel de Referencia o Nivel de Fondo	☑
Actividad		
A07	ESTUDIOS DE CONTAMINACIÓN PUNTUAL	
	Subactividad/Herramienta	
S40	Diseño del plan de actuaciones	☐
S41	Trabajos de campo y análisis de muestras en emplazamientos contaminados	☐
S42	Elaboración de perfiles geológicos e hidrogeológicos a escala de emplazamiento	☐
S43	Análisis de la contaminación vs oscilación del nivel freático	☐
S44	Análisis de tendencia de contaminantes	☐
S45	Modelo conceptual del emplazamiento contaminado	☐
S46	Estudio de viabilidad y remediación de acuíferos	☐
Actividad		
A08	ESTUDIOS DE CONTAMINACIÓN DIFUSA	
	Subactividad/Herramienta	
S47	Campañas de muestreo	☑
S48	Construcción de puntos de control	☑
S49	Análisis hidroquímicos	☑
S50	Análisis isotópicos	☑
S51	Interpretación de resultados	☑
S52	Análisis de tendencias de nitrato	☑
S53	Estudios de atenuación natural de la contaminación difusa dentro del acuífero	☑
Actividad		
A09	ESTIMACIÓN DE LA RECARGA	
	Subactividad/Herramienta	
S54	Estimación de la recarga por métodos directos: instalación de lisímetros o infiltrómetros	☐
S55	Estimación de la recarga por métodos de balance hídrico	☑
S56	Estimación de la recarga por Métodos Hidrodinámicos (Ley de Darcy)	☑
S57	Estimación de la recarga por métodos hidroquímicos o de trazadores	☑
S58	Estimación de la recarga por otros métodos	☐
Actividad		
A10	RELACIÓN RÍO ACUÍFERO Y ESTUDIO DE NECESIDADES AMBIENTALES DE LOS EDAS	
	Subactividad/Herramienta	
S59	Cuantificación de la relación río-acuífero. Tratamiento y análisis de datos hidrométricos y foronómicos	☑
S60	Identificación y validación de EDAS	☑
S61	Diseño y realización de campañas campo en EDAS	☑

Actividad		
A10	RELACIÓN RÍO ACUÍFERO Y ESTUDIO DE NECESIDADES AMBIENTALES DE LOS EDAS	
	Subactividad/Herramienta	
S62	Caracterización hidrodinámica de EDAS	☑
S63	Caracterización hidrogeoquímica de EDAS	☑
S64	Estudios de contaminación de EDAS	☑
Actividad		
A11	ANÁLISIS Y DIAGNOSIS DE LAS REDES DE MONITOREO. PROPUESTAS DE MEJORA	
	Subactividad/Herramienta	
S65	Análisis y Diagnosis de las redes de estado cuantitativo	☑
S66	Análisis y Diagnosis de las redes de estado químico	☑
S67	Propuestas de mejora y ampliación de las redes. Proyectos constructivos/acondicionamiento/rehabilitación	☑
S68	Determinación del peso de los puntos de muestreo de los PDS para la mejora en la aplicación de la evaluación de estado	☑
Actividad		
A12	MODELIZACIÓN GEOLÓGICA 3D	
	Subactividad/Herramienta	
S69	Procesado y Parametrización de la información geológica: modelo conceptual geológico	☑
S70	Elaboración Modelo Geológico 3D	☑
Actividad		
A13	MODELIZACIÓN DE FLUJO SUBTERRÁNEO	
	Subactividad/Herramienta	
S71	Procesado y Parametrización de la información hidrogeológica: modelo conceptual hidrogeológico	☑
S72	Elaboración del Modelo de Flujo	☑
Actividad		
A14	MODELIZACIÓN DE TRANSPORTE DE REACTIVOS Y SOLUTOS	
	Subactividad/Herramienta	
S73	Procesado y Parametrización de la información hidrogeoquímica: modelo conceptual hidrogeoquímico	☑
S74	Elaboración del Modelo hidrogeoquímico	☑
Actividad		
A15	MODELOS DE GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS (GIRH)	
	Subactividad/Herramienta	
S75	Procesado y Parametrización de la información	☐
S76	Elaboración Modelo Uso Conjunto	☐
Actividad		
A16	EVALUACIÓN DEL RECURSO DISPONIBLE Y RESERVAS	
	Subactividad/Herramienta	
S77	Situación actual RD y Reservas	☑
S78	Evolución RD y Reservas según diferentes escenarios de recarga	☑
S79	Evolución RD y Reservas según diferentes escenarios de presiones	☑
Actividad		
A17	GEOTERMIA E HIDROTERMALISMO	
	Subactividad/Herramienta	
S80	Geotermia	☐
S81	Hidrotermalismo	☐
Actividad		
A18	IDENTIFICACIÓN DE INTRUSIÓN MARINA	
	Subactividad/Herramienta	
		☐
Actividad		
A19	ANÁLISIS DE EFECTIVIDAD DE MEDIDAS O ALTERNATIVAS DE GESTIÓN EN EL SISTEMA HIDROGEOLÓGICO	
	Subactividad/Herramienta	
S82	Diseño específico de estrategias de seguimiento y análisis hidrogeológico para evaluación de medidas o repercusiones del cambio climático	☐

Actividad	
A19	ANÁLISIS DE EFECTIVIDAD DE MEDIDAS O ALTERNATIVAS DE GESTIÓN EN EL SISTEMA HIDROGEOLÓGICO

Subactividad/Herramienta		
S83	Diseño específico de estrategias de análisis de respuesta de los sistemas acuíferos ante diversas alternativas de gestión	☐

A continuación, se proponen actuaciones específicas consideradas prioritarias para la mejora del conocimiento de la ES091MSBT100 Boix Cardó:

Tratamiento de datos e información de caracterización: Se consideran trabajos necesarios para valorar el alcance final, planificación y ejecución de cada una de las distintas actividades propuestas.

Estudios geológicos: Se plantea la generación de cortes geológicos que se ajusten a los límites y geometría de la MSBT, fundamentales para abordar los modelos conceptuales y el desarrollo de modelos 3D.La MSBT es compleja estructuralmente en algunas zonas, con cabalgamientos y fracturación, que podrían condicionar el funcionamiento hidrogeológico y las directrices de flujo. Se considera necesario nuevas investigaciones para ampliar este conocimiento y la realización de estudios estructurales, utilización de técnicas geofísicas, sondeos de investigación o mejora de la cartografía geológica.

Zona no saturada y vulnerabilidad: Los estudios de mejora del conocimiento de la zona no saturada definen los principales parámetros que condicionan la entrada y transporte de contaminantes hasta alcanzar el nivel freático. En el caso de la MSBT la superficie está formada mayoritariamente por carbonatos y por tanto no es necesario realizar estudio de ZNS, pero sí realizar las actividades relacionadas a la vulnerabilidad, habiéndose detectado contaminación difusa por nitrato. La realización de estos trabajos va a permitir diseñar la protección de los acuíferos y establecer perímetros de protección.

Estudios piezométricos: corresponden a uno de los aspectos hidrogeológicos básicos para comprender el funcionamiento hidrodinámico de esta MSBT. La generación de isopiezas de forma generalizada y continuada en el tiempo a escala de MSBT se considera una actividad prioritaria de cara a la consecución de los siguientes objetivos: conocer la situación piezométrica actual y comprobar periódicamente su evolución, lo que refleja si existe o no la necesidad de adoptar medidas de protección, y su ubicación; constituir un instrumento de calibración para las propias redes oficiales, facilitando la toma de decisiones (puntos de la red representativos, se captan niveles localizados o colgados, etc..), así como mejorar el nivel de confianza en la evaluación del estado cuantitativo; y proporcionar información básica para la calibración de modelos numéricos y su correcta implementación de forma que se puedan abordar escenarios predictivos.

Definición de acuíferos y parámetros hidrogeológicos: En esta MSBT se detecta falta de información respecto a la determinación de los parámetros hidráulicos en los acuíferos identificados, por lo que se propone mejorar la obtención de los parámetros de transmisividad y coeficiente de almacenamiento. Estos trabajos constituyen uno de las principales entradas en el desarrollo de modelos numéricos, tanto el número de datos como su distribución en el espacio influyen directamente en una mejor y más fiable aproximación a la realidad.

Estudios de caracterización hidrogeoquímica: Se efectuarán analíticas distribuidas y posterior interpretación de datos para la mejora del modelo conceptual en las MSBT. También la realización de “barridos” para identificar impactos previamente no detectados. Además, como apoyo a los trabajos de planificación hidrológica, se pretende desarrollar un sistema estandarizado para la mejora del análisis de tendencias en todas las MSBT, así como su vinculación automatizada con NABIA. Por último, en aquellas MSBT con carencias de información, se efectuarán estudios para la determinación de niveles de fondo.

Estudios de contaminación difusa: Esta MSBT, se encuentra en riesgo químico por contaminación difusa por nitratos en el extremo sureste en las proximidades de L´Ampolla. Se trata de una contaminación que suele afectar a amplias zonas donde, en ocasiones, resulta difícil determinar su origen y alcance. En este sentido se plantea, como mejora del conocimiento, estudios específicos origen y evolución en el tiempo.

Estimación de la recarga: En esta MSBT se propone el uso de métodos adicionales para la estimación de la recarga (balance hídrico, hidrodinámico e hidroquímico) en función de la información disponible y la naturaleza de la masa, con objeto de comparar y contrastar los resultados y efectuar los análisis de sensibilidad pertinentes.

Relación río acuífero y estudio de necesidades ambientales de los EDAS: A pesar de que se han establecido unos candidatos a EDAS, se proponen trabajos para su identificación/validación (incluyendo trabajos de campo), así como trabajos para su caracterización y estimación de sus necesidades ambientales. Se ha identificado un ETDAS de la RN2000 (Serres de Cardó-El Boix) en mal estado de conservación, por tanto, sería conveniente el estudio de su afección, y las causas pueden estar relacionados con las aguas subterráneas (cantidad y calidad).

Análisis y diagnosis de las redes de monitoreo. **Propuestas de mejora:** Con el fin de mejorar la evaluación del estado de las MSBT e incrementar el nivel de confianza (NCF), se considera imprescindible el análisis y diagnosis de las redes de muestreo. Estos trabajos permiten conocer el grado de representatividad que tienen tanto los puntos de control, como las propias redes. En base a los resultados de este análisis y diagnosis de las redes y sus puntos, se podrán efectuar propuestas de mejora para el cumplimiento de

los objetivos específicos de cada una de estas redes.

Modelización geológica 3D: Dado el interés, y con el objetivo de impulsar la modelización numérica como herramienta para la gestión del recurso hídrico, se propone como prioritario en todas las MSBT la mejora del modelo geológico 3D que sirva como base para la generación o mejora de modelos de flujo subterráneo, en el caso de que hubiera antecedentes de modelación numérica. Se aconseja considerar las MSBT limítrofes para su posible integración.

Modelización de flujo subterráneo: En esta MSBT se plantea crear un modelo de flujo subterráneo que permita establecer reglas y escenarios de gestión y evaluar con mayor exactitud los recursos disponibles a medio y largo plazo, y frente al cambio climático. Se aconseja considerar las MSBT limítrofes para su posible integración.

Modelización de transporte de reactivos y solutos: Se propone crear un modelo de transporte que permita comprender el origen y la causa de las variaciones espaciales y temporales, así como definir la dimensión de la contaminación detectada en el o los acuíferos, así como plantear escenarios para la mejora de la gestión y facilitar la toma de decisiones (reducir presiones en zonas concretas, etc.).

Evaluación del recurso disponible y reservas: Con el apoyo de trabajos previos o actividades planteadas previamente (cálculo de necesidades ambientales en EDAS, mejora de valores obtenidos de recarga, determinación de reservas a partir de modelos geológicos, etc.) se cuantificará el recurso disponible y reservas de la MSBT. Una vez calibrados los modelos numéricos se podrán efectuar simulaciones y análisis según distintos escenarios, tanto de recarga como de presiones y mejorar la planificación y gestión de los recursos hídricos subterráneos en la MSBT.

El conocimiento adquirido en cada una de las actividades aquí propuestas ira acompañada de divulgación social, con el objetivo de desarrollar la formación y la cultura en materia de aguas subterráneas. Para ello se realizarán, acorde a la naturaleza de la actividad y público receptor, jornadas formativas, publicaciones de artículos científicos, difusión en redes sociales, conferencias, exposiciones etc.

12.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

• CHE( ) Fichas de caracterización de las masas de agua subterránea en Información de Planificación Hidrológica de la CHE (www.chebro.es).

• CHE (2005) Proyecto de Construcción de Sondeos Instalación de la Red Oficial de Control de Aguas Subterráneas de la Cuenca del Ebro. Informe Piezómetro Tortosa-Barranco (09.821.02).

• CHE (2015). Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Ebro. Segundo ciclo de planificación: 2015 – 2021. Memoria y anejos.

• CHE (2019). Documentos iniciales: programa, calendario, estudio general sobre la demarcación y fórmulas de consulta. Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Ebro. Revisión de tercer ciclo de planificación (2021-2027). Memoria y anejos.

• DGA (2012). Diagnosis de las estaciones de seguimiento del estado cuantitativo de las masas de agua subterránea de las cuencas intercomunitarias, construidas y operativas antes del año 2.002. Apoyo Técnico a la Confederación Hidrográfica del Ebro. Memoria y anejos.

• DGA (2020). Guía metodológica para la determinación de las necesidades ambientales asociadas a los ecosistemas dependientes de las aguas subterráneas. En: Actuaciones para gestión de las aguas subterráneas y los ecosistemas asociados ante el impacto del cambio climático. Plan PIMA ADAPTA 2017.

• DGA (2020). Guía para la evaluación del estado de las aguas superficiales y subterráneas. Secretaría de estado de medio ambiente, Dirección General del Agua. Versión 2, julio 2020.

• DGA (2010). Actividad 4: Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico. Demarcación Hidrográfica 091 Ebro, Dominio Maestrazgo-Catalanides, Masa de agua subterránea 090.100 Boix Cardo. En: Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas.

• IGME, DGA y UMA (2010). Actividad 9: Protección de las aguas subterráneas empleadas para consumo humano según los requerimientos de la Directiva Marco del Agua. Evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de las masas de agua subterránea intercomunitarias masas detríticas y mixtas. En: Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Madrid.

• IGME (1983). Cardo–Vandellos: Calidad química y piezometría evolución cronoespacial (1983-1993).

• IGME, DGA (2019). Fichas de datos de los recintos hidrogeológicos de la demarcación hidrográfica del Ebro para su implementación en el modelo simpa. En: Encomienda de gestión para desarrollar diversos trabajos relacionados con el inventario de recursos hídricos subterráneos y con la caracterización de acuíferos compartidos entre demarcaciones hidrográficas.

• MARM (2008). ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica. Boletín Oficial del Estado número 229, Gobierno de España.

ANEXO 1: ZONAS PROTEGIDAS RELACIONADAS CON LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

ECOSISTEMAS DEPENDIENTES DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS (EDAS)

MSBT: ES091MSBT100 - BOIX-CARDÓ

Código espacio RN2000	Nombre espacio RN2000	Tipo RN2000	Código hábitat	Nombre hábitat dependiente de aguas subterráneas	Grado conservación
ES5140006	Serres de Cardó - El Boix	ZEC/ZEPA	6420	Prados húmedos mediterráneos de hierbas altas del Molinion-Holoschoenion	C

ANEXO 2: CARACTERIZACIÓN HIDROGEOQUÍMICA Y EVOLUCIÓN QUÍMICA.

INDICADORES DE LA CALIDAD QUÍMICA DE LA MSBT.

MSBT: ES091MSBT100 - BOIX-CARDÓ

Parámetro Unidad	T (In situ) ºC	pH Ud. pH	C.E. (20ºC) (In situ) µS/cm	O_2 (In situ) mg/L	DQO mg/L O_2	Dureza mg/L $CaCO_3$	Alcalinidad mg/L $CaCO_3$
Código Punto	**321910046**						
Valor							
Máx.	17,1	<LQ	2.467	<LQ	<LQ	2.213,40	<LQ
Mín.	15,1	<LQ	283	<LQ	<LQ	1.700,70	<LQ
P50	16,0	<LQ	2.350	<LQ	<LQ	1.860,90	<LQ
N reg.	3		3			3	
Código Punto	**321950103**						
Valor							
Máx.	22,5	8	709	10,30	<LQ	<LQ	233,0
Mín.	14,8	7	345	5,60	<LQ	<LQ	173,0
P50	19,3	8	417	8,60	<LQ	<LQ	225,0
N reg.	31	31	28	32	4		25
Código Punto	**321950166**						
Valor							
Máx.	21,6	9	756	<LQ	<LQ	388,10	<LQ
Mín.	18,1	8	510	<LQ	<LQ	229,50	<LQ
P50	20,7	8	635	<LQ	<LQ	283,50	<LQ
N reg.	4	2	5			6	
Código Punto	**321950325**						
Valor							
Máx.	19,7	7	681	<LQ	<LQ	317,00	<LQ
Mín.	16,0	6	483	<LQ	<LQ	207,10	<LQ
P50	18,9	7	675	<LQ	<LQ	286,40	<LQ
N reg.	4	2	5			6	
Código Punto	**321950343**						
Valor							
Máx.	18,7	9	670	<LQ	<LQ	343,40	<LQ
Mín.	16,4	8	452	<LQ	<LQ	232,70	<LQ
P50	17,5	9	566	<LQ	<LQ	256,00	<LQ
N reg.	2	2	5			5	
Código Punto	**321970031**						
Valor							
Máx.	21,2	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	588,60	<LQ
Mín.	21,2	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	481,80	<LQ
P50	21,2	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	535,20	<LQ
N reg.	1					2	
Código Punto	**322010101**						
Valor							
Máx.	22,5	8	1.109	9,50	<LQ	<LQ	238,0
Mín.	13,3	7	804	6,60	<LQ	<LQ	211,0
P50	16,1	7	866	7,15	<LQ	<LQ	222,5
N reg.	15	15	14	16	3		12
Código Punto	**322010103**						
Valor							
Máx.	22,9	8	751	<LQ	<LQ	343,50	<LQ
Mín.	18,1	8	617	<LQ	<LQ	243,20	<LQ
P50	19,4	8	671	<LQ	<LQ	260,50	<LQ
N reg.	3	1	4			5	
Código Punto	**322020052**						
Valor							

Parámetro	T (In situ)	pH	C.E. (20ºC) (In situ)	O_2 (In situ)	DQO	Dureza	Alcalinidad
Unidad	ºC	Ud. pH	µS/cm	mg/L	mg/L O_2	mg/L $CaCO_3$	mg/L $CaCO_3$
Máx.	18,9	7	621	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Mín.	18,9	7	612	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
P50	18,9	7	617	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
N reg.	1	1	2				
Código Punto	**322020053**						
Valor							
Máx.	18,8	9	1.869	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Mín.	18,8	6	484	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
P50	18,8	7	517	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
N reg.	1	3	4				
Código Punto	**322030052**						
Valor							
Máx.	20,4	<LQ	580	<LQ	<LQ	258,40	<LQ
Mín.	20,0	<LQ	580	<LQ	<LQ	212,70	<LQ
P50	20,2	<LQ	580	<LQ	<LQ	248,40	<LQ
N reg.	2		1			3	

Nota: Los valores <LQ corresponden a valores por debajo Límite Cuantificación (LQ).

Parámetro	HCO_3^-	$CO_3^=$	Cl^-	$SO_4^=$	NO_3^-	NO_2^-	PO_4^{3-}	Na^+	K^+
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Código Punto	**321910046**								
Valor									
Máx.	364,4	<LQ	31,20	1.500,0	38,6	<LQ	<LQ	14,0	5,0
Mín.	305,0	<LQ	29,00	1.319,0	10,1	<LQ	<LQ	11,0	4,0
P50	355,0	<LQ	29,00	1.500,0	21,6	<LQ	<LQ	12,0	5,0
N reg.	3		3	3	3	3	3	3	3
Código Punto	**321950103**								
Valor									
Máx.	284,3	<LQ	14,00	15,6	4,6	<LQ	<LQ	7,5	0,7
Mín.	211,1	<LQ	9,60	7,0	<LQ	<LQ	<LQ	0,5	<LQ
P50	274,5	<LQ	10,40	9,6	2,9	<LQ	<LQ	5,9	<LQ
N reg.	29	29	29	29	32	6	3	28	28
Código Punto	**321950166**								
Valor									
Máx.	416,4	<LQ	44,00	29,0	7,8	0,06	<LQ	32,0	2,0
Mín.	296,0	<LQ	16,60	10,0	<LQ	<LQ	<LQ	10,0	<LQ
P50	338,0	<LQ	31,60	17,0	2,6	<LQ	<LQ	15,0	<LQ
N reg.	7		7	7	8	7	7	7	7
Código Punto	**321950325**								
Valor									
Máx.	315,5	<LQ	34,10	41,0	19,4	<LQ	<LQ	16,0	1,0
Mín.	265,9	<LQ	11,10	13,0	<LQ	<LQ	<LQ	8,0	<LQ
P50	282,3	<LQ	25,90	25,0	10,6	<LQ	<LQ	12,0	<LQ
N reg.	7		7	7	8	7	7	7	7
Código Punto	**321950343**								
Valor									
Máx.	290,4	<LQ	29,00	35,0	52,6	<LQ	0,40	14,0	2,0
Mín.	230,0	<LQ	<LQ	20,0	12,6	<LQ	<LQ	7,1	1,0
P50	279,9	<LQ	21,00	25,0	21,4	<LQ	<LQ	11,0	1,0
N reg.	9		9	9	9	9	9	9	9
Código Punto	**321970031**								
Valor									
Máx.	277,1	<LQ	683,90	80,0	15,2	<LQ	<LQ	352,0	6,0
Mín.	270,5	<LQ	482,20	61,0	7,8	<LQ	<LQ	230,0	5,0
P50	273,8	<LQ	583,05	70,5	11,5	<LQ	<LQ	291,0	5,5
N reg.	2		2	2	2	2	2	2	2

Parámetro	HCO_3^-	$CO_3^=$	Cl^-	$SO_4^=$	NO_3^-	NO_2^-	PO_4^{3-}	Na^+	K^+
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Código Punto	**322010101**								
Valor									
Máx.	290,4	<LQ	192,00	68,0	23,4	<LQ	<LQ	82,6	3,7
Mín.	221,0	<LQ	121,00	55,9	5,6	<LQ	<LQ	57,6	1,5
P50	270,5	<LQ	153,00	60,7	17,1	<LQ	<LQ	74,1	1,8
N reg.	16	16	16	16	16	2	2	15	15
Código Punto	**322010103**								
Valor									
Máx.	307,0	<LQ	58,90	29,0	17,3	<LQ	0,45	30,0	2,0
Mín.	227,0	<LQ	49,00	21,0	<LQ	<LQ	<LQ	22,0	1,0
P50	272,3	<LQ	52,25	23,0	9,6	<LQ	<LQ	25,5	1,0
N reg.	6		6	6	7	6	6	6	6
Código Punto	**322020052**								
Valor									
Máx.	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Mín.	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
P50	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
N reg.					5	5	5		
Código Punto	**322020053**								
Valor									
Máx.	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	109,7	0,09	<LQ	<LQ	<LQ
Mín.	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	6,1	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
P50	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	11,6	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
N reg.					6	6	6		
Código Punto	**322030052**								
Valor									
Máx.	265,0	<LQ	29,00	8,0	34,9	<LQ	<LQ	15,0	1,0
Mín.	260,3	<LQ	20,30	<LQ	16,1	<LQ	<LQ	11,0	<LQ
P50	260,5	<LQ	26,40	8,0	18,6	<LQ	<LQ	12,0	1,0
N reg.	3		3	3	7	6	6	3	3

Nota: Los valores <LQ corresponden a valores por debajo Límite Cuantificación (LQ).

Parámetro	Ca^{2+}	Mg^{2+}	As	Cd^{2+}	Hg	NH_4^+ Total	∑ Plaguicidas	PER	TRI
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L
Código Punto	**321910046**								
Valor									
Máx.	734,0	117,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Mín.	552,0	62,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
P50	579,0	93,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
N reg.	3	3	2	2		3			
Código Punto	**321950103**								
Valor									
Máx.	74,0	27,0	1,0000	1,0000	<LQ	0,03	<LQ	<LQ	<LQ
Mín.	37,6	19,4	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
P50	58,0	24,0	0,5000	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
N reg.	28	28	2	3	1	29		1	1
Código Punto	**321950166**								
Valor									
Máx.	101,0	34,0	<LQ	<LQ	<LQ	0,20	<LQ	<LQ	<LQ
Mín.	52,0	24,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
P50	64,0	29,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
N reg.	7	7	5	5		7			
Código Punto	**321950325**								
Valor									

Parámetro	Ca^{2+}	Mg^{2+}	As	Cd^{2+}	Hg	NH_4^+ Total	∑ Plaguicidas	PER	TRI
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L
Código Punto	**321950325**								
Valor									
Máx.	69,0	35,0	<LQ	<LQ	<LQ	0,50	<LQ	<LQ	<LQ
Mín.	45,0	23,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
P50	58,0	30,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
N reg.	7	7	5	5		7			
Código Punto	**321950343**								
Valor									
Máx.	80,0	35,0	<LQ	<LQ	<LQ	0,50	<LQ	<LQ	<LQ
Mín.	47,0	26,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
P50	63,0	28,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
N reg.	9	9	7	7		9			
Código Punto	**321970031**								
Valor									
Máx.	145,0	55,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Mín.	127,0	40,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
P50	136,0	47,5	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
N reg.	2	2	1	1		2			
Código Punto	**322010101**								
Valor									
Máx.	148,0	30,0	3,0000	1,0000	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Mín.	87,8	22,3	3,0000	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
P50	102,0	24,6	3,0000	0,5000	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
N reg.	15	15	1	2		13			
Código Punto	**322010103**								
Valor									
Máx.	98,0	24,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Mín.	69,0	16,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
P50	71,0	21,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
N reg.	6	6	4	4		6			
Código Punto	**322020052**								
Valor									
Máx.	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,20	<LQ	<LQ	<LQ
Mín.	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
P50	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
N reg.						5			
Código Punto	**322020053**								
Valor									
Máx.	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	1,40	<LQ	<LQ	<LQ
Mín.	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
P50	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,10	<LQ	<LQ	<LQ
N reg.						6			
Código Punto	**322030052**								
Valor									
Máx.	87,0	10,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Mín.	72,0	8,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
P50	83,0	10,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
N reg.	3	3	1	1		6			

Nota: Los valores <LQ corresponden a valores por debajo Límite Cuantificación (LQ).