

# Avaluació dels nitrats a les fonts naturals de la província de Barcelona

Desembre de 2025

Exp 2025-46296



**Diputació  
Barcelona**

**Àrea d'Acció Climàtica  
i Transició Energètica**

# Avaluació dels nitrats a les fonts naturals de la província de Barcelona

Per:



**Diputació  
Barcelona**

**IDAEA-CSIC  
Patricia Sigoña León  
Sonia Valdivielso Mijangos  
Enric Vázquez-Suñé**

**Desembre de 2025**

## Índex

1	Introducció.....	5
1.1	Context i justificació de l'estudi .....	5
1.2	Ubicació de l'estudi.....	6
1.3	Marc normatiu.....	13
2	Objectius .....	14
3	Metodologia .....	14
3.1	Recopilació de dades .....	14
3.2	Tractament de dades.....	14
4	Resultats.....	15
4.1	Anàlisi estadística general dels nitrats (2016 – 2024) .....	15
4.2	Evolució temporal de nitrats (2016 – 2024) .....	16
4.3	Distribució espacial actual (2024) dels nitrats: situació general .....	18
4.4	Anàlisi de zones crítiques .....	19
4.4.1	Fonts amb concentracions superiors a 50 mg/L: relació amb zones vulnerables 19	
4.4.2	Fonts amb concentracions superiors a 37,5 mg/L: relació amb masses d'aigua	24
4.4.3	Anàlisi detallada: Massa 69.....	27
4.4.4	Síntesi de resultats: Nitrats .....	28
4.5	Anàlisi complementària: Nitrit i Amoni .....	29
4.5.1	Nitrit .....	29
4.5.2	Amoni .....	31
5	Discussió .....	35
5.1	Tendències generals i evolució temporal.....	35
5.2	Coherència entre dades puntuals i classificació oficial de masses d'aigua.....	35
5.3	Diferenciació de orígens: natural versus antròpic .....	36
5.3.1	Origen natural: cas de la MAS05.....	36
5.3.2	Origen antròpic: cas de la MAS69 i altres masses .....	36
5.4	Implicacions per la gestió i el monitoreig.....	37
6	Proposta d'anàlisi complementàries .....	38
6.1	Isòtops de nitrogen i oxigen en nitrat ( $\delta^{15}\text{N}$ i $\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$ ).....	38

6.1.1	Fonament i objectius .....	38
6.1.2	Zones prioritàries de mostreig.....	39
6.1.3	Protocol de mostreig .....	39
7	Conclusions .....	41
8	Referències .....	43
ANNEXOS.....		44
Annex I.....		44
Annex II.....		49

# 1 Introducció

## 1.1 Context i justificació de l'estudi

La contaminació per nitrats en aigües subterrànies constitueix un dels principals problemes de qualitat de l'aigua a Europa i Catalunya, sent especialment rellevant en zones amb activitat agrícola i ramadera intensiva. Els nitrats ( $\text{NO}_3^-$ ) poden tenir diversos orígens, principalment associats a l'aplicació de fertilitzants en agricultura, la gestió de residus ramaders, les aigües residuals urbanes i els sistemes de sanejament deficients.

La província de Barcelona presenta una diversitat hidrogeològica notable (Figura 1), amb diferents masses d'aigua subterrània que abasteixen nombroses fonts naturals utilitzades tradicionalment per la població. Tanmateix, la pressió antròpica derivada de les activitats agrícoles, ramaderes i urbanes ha generat preocupació sobre la qualitat d'aquestes aigües, particularment en relació amb les concentracions de nitrats.

El present estudi sorgeix de la necessitat d'avaluar de manera sistemàtica l'estat de les fonts naturals de la província de Barcelona pel que fa al seu contingut en nitrats, identificar les zones més afectades i proporcionar informació tècnica que permeti orientar mesures de gestió i protecció d'aquests recursos hídrics, utilitzant la base de dades de paràmetres fisicoquímics, hidroquímica i cabals de les fonts de la província de què disposa l'Oficina Tècnica de la Diputació de Barcelona. L'avaluació s'emmarca en el compliment de la normativa europea i estatal sobre protecció de les aigües contra la contaminació per nitrats procedents de fonts agràries, així com en els objectius de qualitat establerts per a les masses d'aigua subterrània, segons el Tercer Cicle del Pla de Gestió Hídrica (2022-2027), elaborat per l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA, 2021).

Aquest treball es desenvolupa en el context de les competències de l'IDAEA-CSIC en recerca hidrogeològica i gestió de recursos hídrics, aportant una base científica per a la presa de decisions en matèria de protecció de l'aigua i salut pública.



Figura 1. Localització del àrea de estudi. EMA: Estació Meteorològica Automàtica.

## 1.2 Ubicació de l'estudi

L'àrea d'estudi comprèn la província de Barcelona (Figura 1), situada al nord-est de la península Ibèrica, a la comunitat autònoma de Catalunya. La província presenta una gran diversitat geològica i hidrogeològica, amb diferents unitats morfoestructurals que inclouen sistemes muntanyosos (Serralada Prelitoral i Litoral), depressions (Depressió del Vallès-Penedès) i sistemes al·luvials associats als principals rius (Figura 2).

Segons l'Agència Estatal de Meteorologia (AEMET), des del 2016 en endavant, Catalunya ha experimentat una tendència creixent cap a condicions més seques i càlides, que van culminar en la intensa sequera del període 2021-2023 (Figura 3). Aquest període es va caracteritzar per precipitacions excepcionalment baixes, situant especialment l'any 2023 com el més sec de tota la sèrie històrica des del 1920 (Télez et al., 2024). A aquest dèficit pluviomètric s'hi van sumar temperatures persistentment elevades, amb anomalies superiors als 2 °C en diversos mesos, cosa que va incrementar l'evaporació i va agreujar l'estrès hídric.

Entre el 2020 i el 2023, prop de dos terços dels mesos van registrar pluges per sota de la normalitat, destacant tardors molt seques i estius extremadament càlids. A més, es van produir llargs períodes sense pluja significativa, com els 106 dies consecutius de l'hivern 2021-2022 o els 63 dies de la primavera del 2023, juntament amb una reducció notable de dies de pluja intensa que en anys anteriors ajudaven a recuperar part del dèficit.



La província presenta una gran heterogeneïtat hidrogeològica amb diferents tipus d'aqüífers (Figura 4). S'hi identifiquen aquífers en medis fissurat i carstificat (calcàries i gresos), en medis porosos (dipòsits al·luvials de les conques fluvials del Llobregat, Besòs i Ter), així com zones de baixa permeabilitat amb aquífers locals en materials metamòrfics i granítics. Aquesta diversitat geològica condiona tant la disponibilitat com la vulnerabilitat dels recursos hídrics subterranis davant de potencials fonts de contaminació.

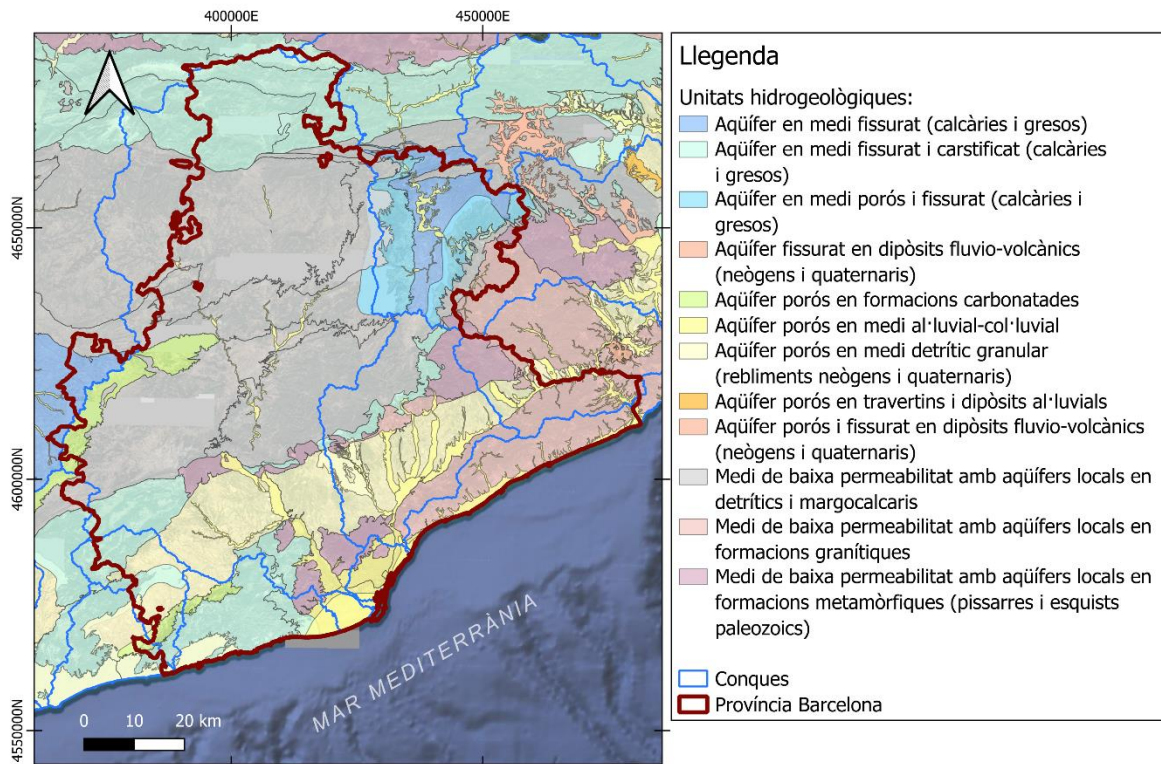


Figura 4: Distribució de les Unitats Hidrogeològiques a escala 1:50.000 a la província de Barcelona (ICGC, 2012).

La província de Barcelona compta amb 24 masses d'aigua subterrània (Figura 5), la classificació oficial de les quals segons l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA, 2021) revela una situació heterogènia pel que fa a la seva qualitat química. Del total de masses, 10 es troben en bon estat químic (43,5%) i 14 en mal estat químic (56,5%).

Les masses en bon estat (MAS01, MAS05, MAS13, MAS20, MAS35, MAS37, MAS66, MAS68, MAS69, MAS70) es distribueixen principalment en zones muntanyoses del nord i centre de la província, així com en algunes àrees costaneres del sud. Aquestes masses es caracteritzen per presentar una menor pressió antròpica, el predomini d'àrees forestals i una ubicació freqüent en zones de capçalera.

Per contra, les masses en mal estat químic se concentren a la franja central, sud i a les zones costaneres de la província (MAS10, MAS11, MAS12, MAS16, MAS17, MAS18, MAS19, MAS21, MAS22, MAS23, MAS34, MAS36, MAS38, MAS39), coincidint amb àrees de major densitat

poblacional, activitat agrícola intensiva i industrialització. El deteriorament químic d'aquestes masses està associat principalment a pressions antròpiques derivades de la fertilització agrícola, la gestió de purins ramaders, la urbanització i la contaminació històrica acumulada.

L'avaluació de l'estat químic per part de l'ACA es basa en l'anàlisi de 18 paràmetres fisicoquímics, incloent-hi elements traça (As, B, Cd, Cr, Pb), ions majors ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), nutrients i compostos nitrogenats ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ), i altres indicadors com la conductivitat elèctrica. D'aquests paràmetres, 12 són monitoritzats regularment per la Diputació de Barcelona en la seva xarxa de control de fonts naturals.

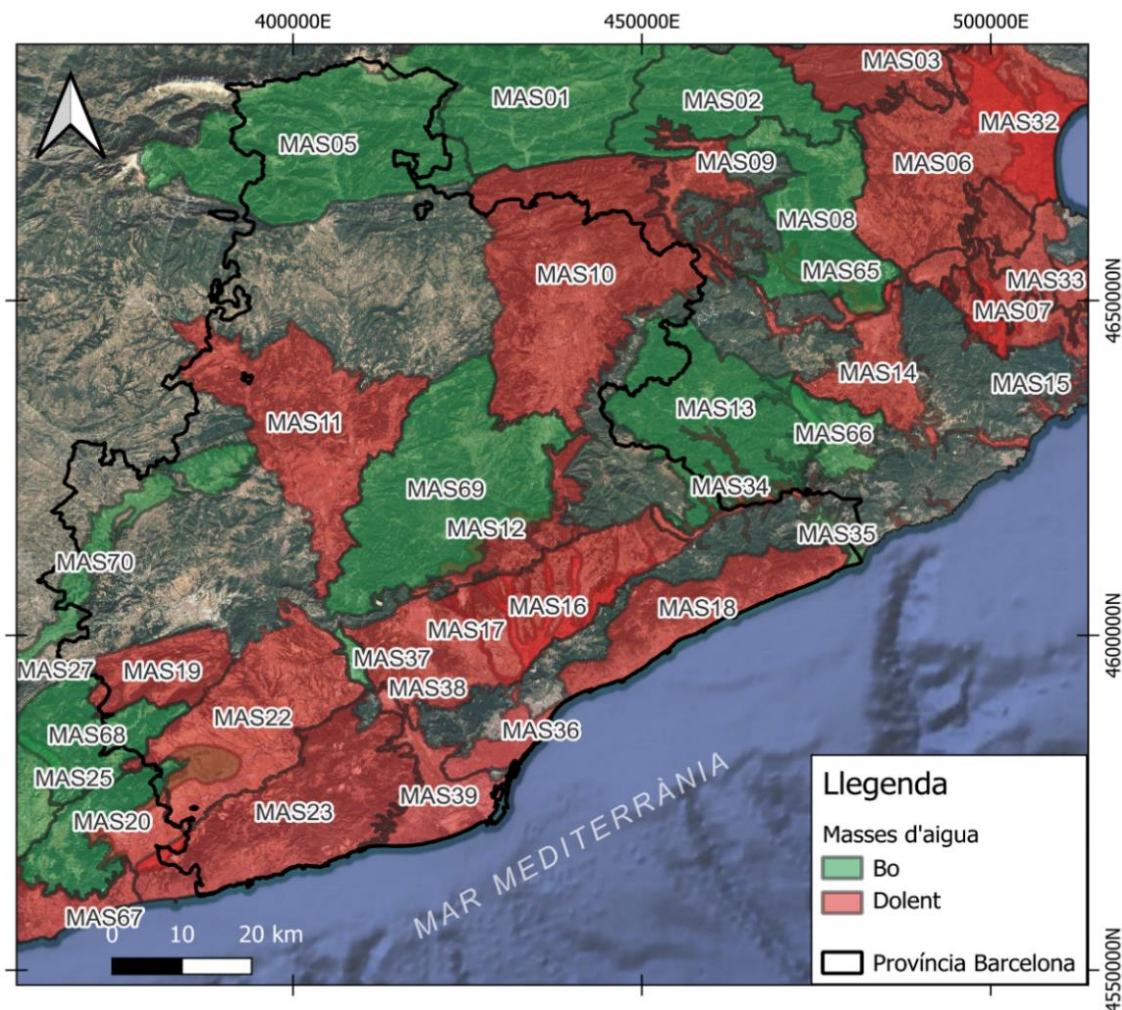


Figura 5: Masses d'Aigua de la província de Barcelona i la classificació química segons l'ACA (2021).

El territori provincial presenta zones amb activitat agrícola i ramadera d'intensitat variable, particularment concentrades en determinades comarques de l'interior, que constitueixen potencials fonts difuses d'aportació de nitrats a les aigües subterrànies, a més dels abocaments de aigües residuals, que corresponen a les principals fonts puntuals d'aportació de nitrats (Figura 6). La interacció entre aquestes activitats i les característiques hidrogeològiques del territori determina el grau d'afectació de les diferents fonts naturals.

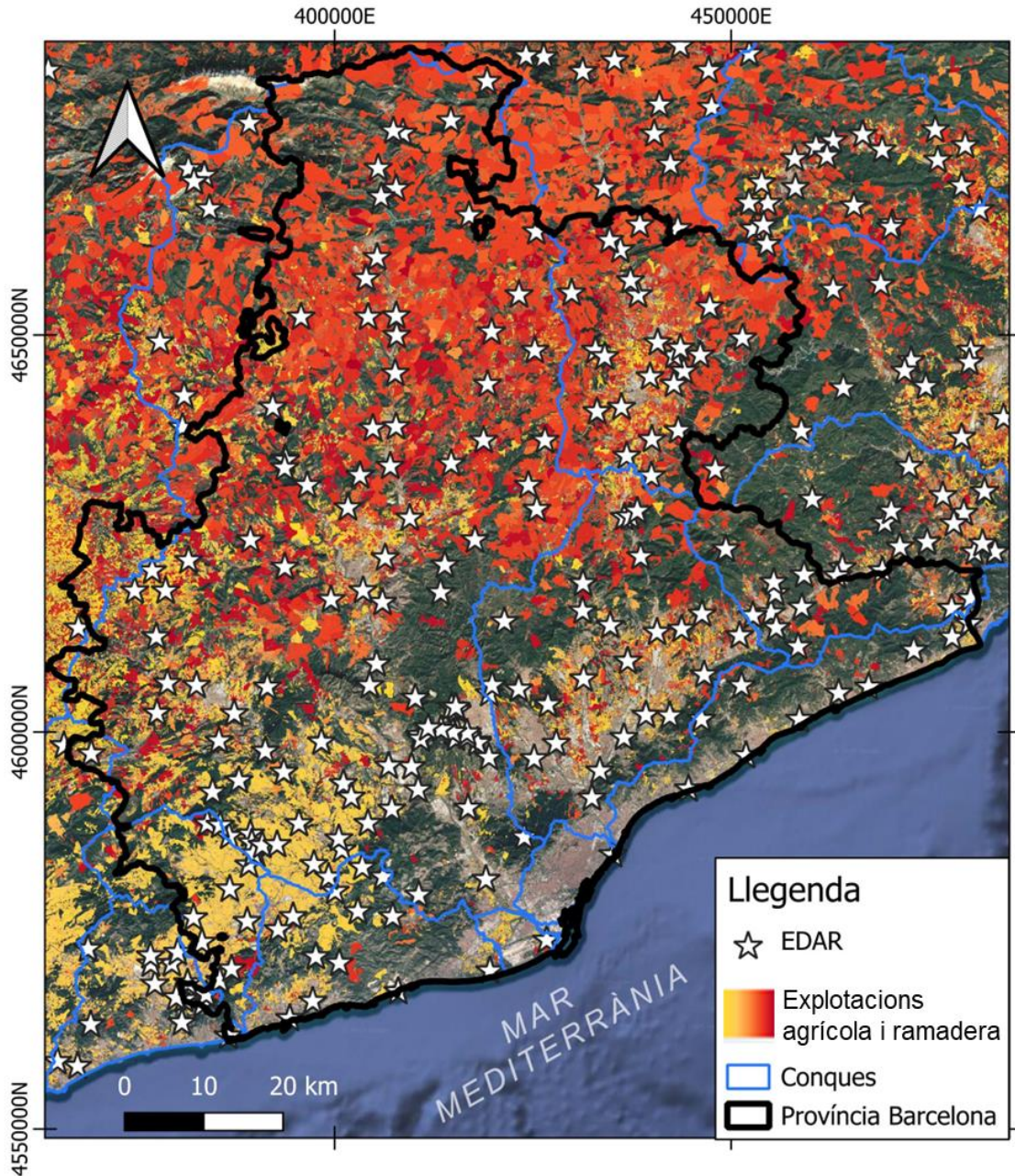


Figura 6: Mapa de les pressions antròpiques difuses i puntuals de nitrats.

En aquest sentit, la contaminació per nitrats constitueix el principal problema de contaminació difusa de les aigües subterrànies a Catalunya i el responsable principal del mal estat químic de les masses d'aigua (ACA, 2021). En el context de les conques internes de Catalunya, el 45% de les masses d'aigua subterrània presenten incompliments per nitrats, superant l'objectiu de qualitat de 50 mg/L establert en la normativa. A escala de tot Catalunya, el 35% de les masses d'aigua subterrània s'han declarat en mal estat químic per superar aquest llindar.

En aplicació de la Directiva 91/676/CEE (Directiva Nitrats) i del Reial decret 47/2022, la Generalitat de Catalunya ha designat 13 zones vulnerables que representen el 33,8% de la superfície total de Catalunya i el 45% de tots els municipis catalans (Figura 7). Aquestes zones vulnerables són superfícies territorials on el drenatge pot originar contaminació per nitrats a les aigües subterrànies, epicontinentals o costaneres, i on s'apliquen mesures específiques de protecció i programes d'actuació.

El Reial decret 153/2019 introdueix el concepte d'Índex de Càrrega Ramadera (ICR), calculat a partir de les dades de bestiar, dejeccions ramaderes i usos del sòl. En la línia d'aplicar mesures reforçades on hi ha més càrrega ramadera, la nova norma defineix, dins de la zona vulnerable designada com a tal, una zona vulnerable A (ZV-A) i una zona vulnerable B (ZV-B), a efectes de l'aplicació de les mesures previstes en determinats articles pel que fa a l'increment en la generació i aplicació de dejeccions ramaderes i altres fertilitzants nitrogenats. La ZV-A inclou els municipis amb un ICR superior a 0,8, així com aquells que, tenint un ICR entre 0,5 i 0,8, presenten una elevada contaminació per nitrats, de manera que està constituïda pels municipis on s'ha d'aplicar un programa d'acció reforçat per assolir els objectius fixats. La ZV-B inclou la resta de municipis de la zona vulnerable: en aquests municipis no són d'aplicació certes mesures que sí ho són a la ZV-A (Figura 7).

Com s'ha esmentat anteriorment, l'origen dels nitrats en el medi híbrid s'atribueix principalment a pràctiques relacionades amb l'activitat agrícola i ramadera, com l'aplicació excessiva de fertilitzants nitrogenats i amoniacals, i la gestió de dejeccions ramaderes. La majoria de les masses d'aigua subterrània afectades per nitrats coincideixen espacialment amb les zones vulnerables designades. En menor mesura, l'excés de nitrogen pot ser provocat per abocaments urbans, especialment en zones amb elevada aglomeració urbana.

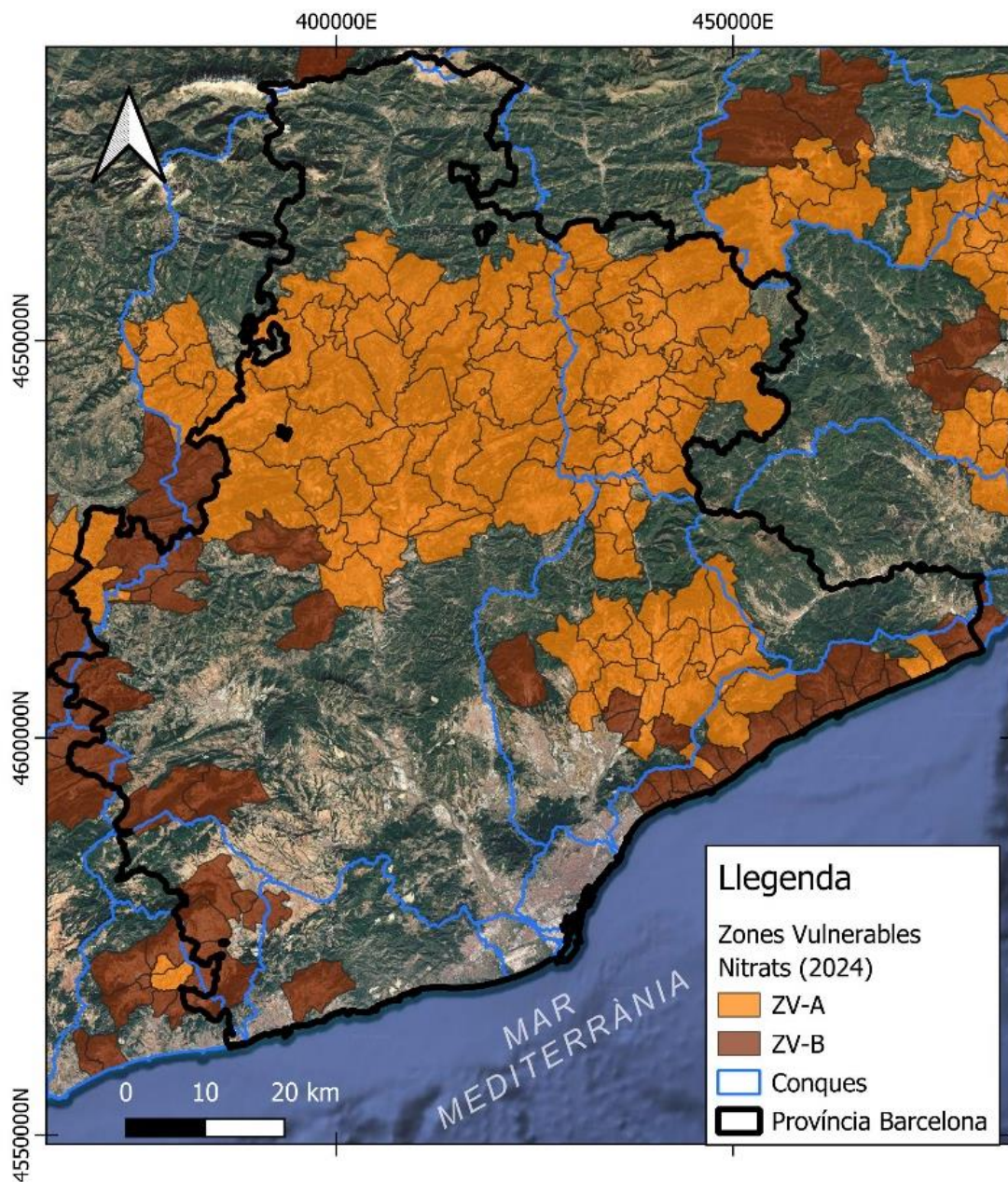


Figura 7: Delimitació de les zones vulnerables a nitrats d'origen agrícola-ramader a la província de Barcelona.

### 1.3 Marc normatiu

L'avaluació de nitrats en aigües subterrànies s'emmarca en diversos instruments normatius a nivell europeu i estatal:

1. **Directiva 91/676/CEE (Directiva Nitrats):** relativa a la protecció de les aigües contra la contaminació produïda per nitrats d'origen agrari, que estableix el llindar de 50 mg/L de nitrats per a aigües destinades al consum humà.
2. **Directiva 2000/60/CE (Directiva Marc de l'Aigua):** estableix un marc comunitari en l'àmbit de la política d'aigües, incloent-hi objectius de qualitat per a les masses d'aigua subterrània.
3. **Directiva 2006/118/CE (Directiva d'Aigües Subterrànies):** estableix normes de qualitat ambiental per a les aigües subterrànies, amb un valor llindar de 37,5 mg/L de nitrats com a indicador de bon estat químic.
4. **Decret 153/2019, de 3 de juliol:** de gestió de la fertilització del sòl i de les dejeccions ramaderes i d'aprovació del programa d'actuació a les zones vulnerables en relació amb la contaminació per nitrats procedents de fonts agràries.
5. **Reial decret 47/2022:** sobre protecció de les aigües contra la contaminació difusa produïda pels nitrats procedents de fonts agràries.
6. **Legislació de la Comunitat Autònoma de Catalunya:** que desenvolupa la designació de zones vulnerables a nitrats i els programes d'actuació corresponents

## 2 Objectius

L'objectiu general d'aquest estudi és avaluar la qualitat de les fonts naturals de la província de Barcelona segons les concentracions de nitrats durant el període 2016-2024, identificant patrons espacials i temporals de contaminació, i proposar anàlisis complementaris que permetin determinar l'origen dels nivells elevats de nitrats per tal d'orientar mesures de gestió i protecció d'aquests recursos hídrics.

Per a això, s'han plantejat els següents objectius específics:

1. Recopilar la informació de les fonts de la província de Barcelona referent als valors de nitrats i fer una anàlisi general estadístic.
2. Fer un estudi de la distribució espacial i temporal de les dades de nitrats de les fonts.
3. Elaborar mapes indicant les fonts amb valors superiors a 50 mg/L i indicar les zones declarades vulnerables per nitrats.
4. Elaborar mapes indicant les fonts amb valors superiors a 37,5 mg/L i relacionar-ho també amb la qualitat de les masses d'aigua.
5. Fer una proposta d'anàlisi complementaris per poder esbrinar en una 2<sup>a</sup> fase les causes del nivells elevats de nitrats.

## 3 Metodologia

### 3.1 Recopilació de dades

Dades històriques, del període 2016–2024, de la concentració de Nitrat (mg/L), Nitrit (mg/L) i Amoni (mg/L) de les fonts de Barcelona van ser obtingudes de la base de dades de la Diputació de Barcelona (<https://gisportal.diba.cat/sitac/fonts>).

### 3.2 Tractament de dades

L'anàlisi estadística de les dades es va realitzar utilitzant Python.

Els mapes de distribució espacial es van elaborar amb QGis. Per elaborar els mapes indicant les fonts amb valors superiors a 50 mg/L, incloent les zones vulnerables a nitrats, es van utilitzar els mapes de vulnerabilitat elaborats per l'ACA per als anys 2018, 2019, 2021 i 2024, incloent, en aquest últim, l'índex de càrrega ramadera (ZV-A i ZV-B). Es van escollir aquests anys per la disponibilitat de dades de zones vulnerables. La resta d'anys s'adjunten a l'Annex I. Per als anys 2016 i 2017, s'utilitza la Zona Vulnerable del 2018; per al 2020, la del 2019; i per al 2022 i 2023, la del 2021.

Per a l'anàlisi de distribució espacial de nitrats amb valors superiors a 37,5 mg/L, en relació amb les característiques de les masses d'aigua de l'ACA, es van utilitzar els valors de referència del tercer cicle del Pla de Gestió Hídrica (2023-2027), llistats a la Taula 3. Els líndars de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  i  $\text{NH}_4^+$  són idèntics per a cada massa d'aigua (37,5 mg/L, 0,5 mg/L i 0,5 mg/L,

respectivament). Per a aquest cas, es presentaran els mapes de distribució dels anys 2023 i 2024. La resta de mapes s'adjunten a l'Annex II.

## 4 Resultats

### 4.1 Anàlisi estadística general dels nitrats (2016 – 2024)

Durant el període d'estudi 2016-2024 es va analitzar la concentració de nitrats en un total de 3.004 mostres procedents de 558 fonts naturals de la província de Barcelona. El nombre de mostres per any va variar considerablement, des d'un mínim de 218 mostres (de 218 fonts mostrejades) el 2024 fins a un màxim de 517 (de 298 fonts mostrejades) el 2021, amb una mitjana de 334 mostres anuals (Taula 1).

L'anàlisi estadística de la sèrie completa revela una concentració mitjana de nitrats de 33,71 mg/L, amb una mediana de 12,92 mg/L. La diferència entre aquests dos valors indica una distribució asimètrica amb presència de valors elevats que incrementen la mitjana. El rang de concentracions és molt ampli, des de valors mínims de 0-1 mg/L fins a un màxim de 411,60 mg/L registrat el 2021, reflectint la gran heterogeneïtat en la qualitat de les fonts monitoritzades (Taula 1 i Figura 8).

La desviació estàndard del conjunt de dades és de 49,22 mg/L, confirmant l'alta variabilitat de les concentracions. Els quartils mostren que el 25% de les mostres presenten concentracions inferiors a 2,08 mg/L ( $Q_{25}$ ), mentre que el 75% se situen per sota de 45 mg/L ( $Q_{75}$ ) (Taula 1 i Figura 8). Això indica que aproximadament una quarta part de les fonts analitzades presenten concentracions superiors a 45 mg/L, acostant-se o superant els llindars normatius establerts (37,5 mg/L com a llindar ambiental i 50 mg/L per a aigua potable).

Pel que fa als llindars de referència, cal destacar que:

1. Un 30% de les mostres (873 mostres de 3.004 mostres totals, corresponents a 219 fonts) supera els 37,5 mg/L (llindar de bon estat químic segons la Directiva d'Aigües Subterrànies).
2. Un 23,4% de les mostres (702 mostres de 3.004 mostres totals, corresponents a 169 fonts) excedeix els 50 mg/L (llindar per a consum humà segons la Directiva Nitrats).

Els valors extrems (màxims superiors a 300 mg/L en diversos anys) indiquen situacions de contaminació severa en determinades fonts, probablement associades a pressions antròpiques locals intensives.

Taula 1: Resum estadístic de la concentració de nitrats (mg/L), entre 2016 i 2024.

Nitrat (mg/L)								
Període	N	Min	Q <sub>25</sub>	Mediana	Mitjana	Q <sub>75</sub>	Max	Std
2016	226	0	3.38	17.84	39.82	45.05	388.87	59.52
2017	346	0	5.00	13.75	31.78	42.75	321.00	44.16
2018	399	1	2.10	13.90	36.96	46.25	346.00	55.32
2019	357	0	2.11	9.22	33.79	43.20	334.48	53.15
2020	246	0	2.18	15.38	39.68	55.06	323.40	57.57
2021	517	1	1.38	11.06	32.53	44.70	411.60	48.24
2022	461	1	1.50	12.40	30.57	39.20	262.40	41.97
2023	234	1	1.70	11.00	31.16	47.50	312.00	42.94
2024	218	1	1.80	12.00	29.84	45.00	166.00	36.85
<b>TOTS</b>	<b>3004</b>	<b>0</b>	<b>2.08</b>	<b>12.92</b>	<b>33.71</b>	<b>45.00</b>	<b>411.60</b>	<b>49.22</b>

## 4.2 Evolució temporal de nitrats (2016 – 2024)

L'anàlisi de l'evolució temporal de les concentracions de nitrats durant el període 2016-2024 permet identificar tendències generals i variacions interanuals en la qualitat de les fonts naturals de la província (Figura 8).

Al llarg de la sèrie temporal s'observa una tendència general de disminució en les concentracions mitjanes de nitrats. La concentració mitjana anual ha disminuït des de 39,82 mg/L el 2016 fins a 29,84 mg/L el 2024, cosa que representa una reducció del 25% en el període analitzat. Aquesta tendència positiva es reflecteix també en la mediana, que ha disminuït des de 17,84 mg/L el 2016 fins a 12 mg/L el 2024.

La mediana de les concentracions mostra oscil·lacions moderades al llarg del període, mantenint-se majoritàriament en el rang de 11-17 mg/L, amb valors lleugerament superiors el 2016 (17,84 mg/L) i el 2020 (15,38 mg/L). Els anys 2021, 2022, 2023 i 2024 presenten medianes notablement més baixes (11-12 mg/L), suggerint una consolidació de la millora en la qualitat de l'aigua en els anys recents.

La desviació estàndard també ha mostrat una tendència general a la reducció, disminuint des de valors propers a 60 mg/L el 2016 fins a 36,85 mg/L el 2024. Aquesta disminució de la variabilitat suggereix una major homogeneïtzació de les concentracions, tot i que persisteix una dispersió considerable que reflecteix l'existència de fonts amb diferents graus d'afectació.

Els valors màxims registrats cada any es mantenen elevats al llarg de tot el període, amb concentracions superiors a 260 mg/L en la majoria dels anys. El màxim absolut de 411,60 mg/L es va registrar el 2021. Aquests valors extrems indiquen la persistència de fonts amb contaminació severa, malgrat la millora observada en les concentracions mitjanes i les medianes.

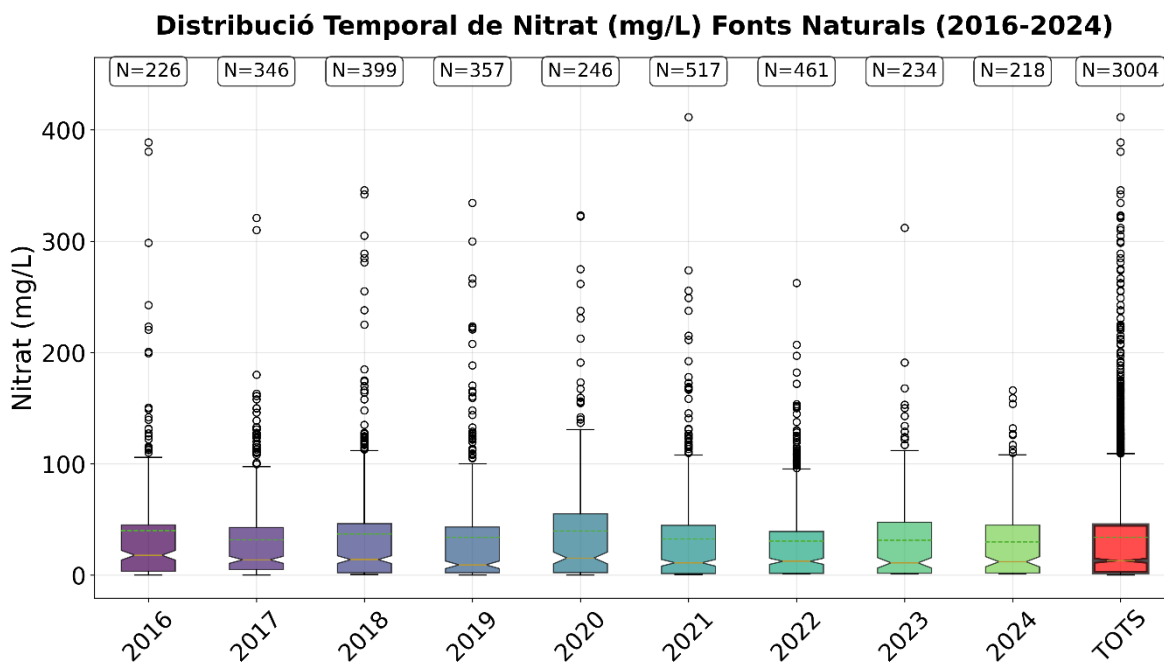


Figura 8: Distribució temporal de la concentració de nitrats (mg/L) a les Fonts Naturals durant el període 2016–2024.

L'any 2020 constitueix una excepció en aquesta tendència general, registrant la mitjana més elevada del període (39,68 mg/L) i el valor del quartil superior més alt (55,06 mg/L). Aquest increment puntual podria estar relacionat amb condicions climàtiques particulars (menor pluviometria que afavoreix la concentració de contaminants) o amb canvis en la distribució espacial del mostreig.

L'any 2018 va ser extremadament humit, mentre que el 2019 va presentar condicions normals. Al gener del 2020 es va produir l'episodi Gloria, un temporal de llevant que va aportar precipitacions molt elevades (160 mm de mitjana per a Catalunya, sent el tercer gener més plujós dels últims 104 anys), fet que va fer que el 2020 fos globalment un any molt humit (Téllez et al., 2024).

Tanmateix, a partir de finals de l'estiu del 2020 va començar una sequera que es va prolongar durant el període 2021-2023, constituint una de les sequeres més intenses de les últimes dècades a Catalunya, sent el 2023 l'any més sec de la sèrie històrica des del 1920, amb precipitacions que no van assolir els 450 mm (430 mm de mitjana per a Catalunya) (Téllez et al., 2024).

El comportament de les concentracions de nitrats durant aquest període reflecteix aquesta variabilitat climàtica. L'any 2020, malgrat ser globalment molt humit a causa de l'episodi Gloria, registra la mitjana més elevada del període (39,68 mg/L) i el valor del quartil superior més alt (55,06 mg/L). Aquest aparent contrasentit es pot explicar perquè l'episodi Gloria va ocórrer al gener, i la resta de l'any (especialment a partir de finals d'estiu) ja va començar el període sec, a més que les pluges intenses inicials poden haver mobilitzat contaminants acumulats al sòl cap als aqüífers.

Durant el trienni de sequera 2021-2023, s’observa que les concentracions mitjanes continuen la tendència descendent (32,53 mg/L el 2021, 30,57 mg/L el 2022, 31,16 mg/L el 2023). La reducció de la recàrrega dels aqüífers durant la sequera pot tenir efectes contraposats: d’una banda, menor dilució dels contaminants presents; de l’altra, reducció de la infiltració de nitrats des de la zona no saturada cap a l’aqüífer. La millora observada suggereix que aquest segon efecte podria haver estat més rellevant, o que les mesures de gestió agrària implementades a les zones vulnerables van començar a mostrar resultats efectius.

L’anàlisi de la distribució de mostres segons els l·lindars normatius per a 4 anys representatius del període (2018, 2019, 2021 i 2024) mostra la següent evolució (Taula 2):

Taula 2: Resum de la distribució de mostres segons els l·lindars normatius per al 2018, 2019, 2021 i 2024

Any	Nº total de mostres	Nº de fonts	<37.5 mg/L	37.5-50 mg/L	>50 mg/L
2018	399	226	269 (67%)	33 (8%)	97 (24%)
2019	379	233	260 (69%)	18 (5%)	101 (26%)
2021	517	298	368 (71%)	25 (5%)	124 (24%)
2024	218	218	146 (68%)	19 (9%)	51 (24%)

La proporció de fonts que superen el l·lindar de 50 mg/L s’ha mantingut relativament estable al voltant del 24% durant el període analitzat, indicant que, si bé les concentracions mitjanes han millorat, persisteix un grup de fonts amb contaminació elevada que requereix atenció prioritària. El percentatge de fonts amb concentracions inferiors a 37,5 mg/L (bon estat químic) es situa entre el 67-71%, mostrant també una certa estabilitat.

La millora observada en les concentracions mitjanes i les medianes suggereix que les mesures de protecció implementades a les zones vulnerables i els programes de gestió agrària podrien estar tenint un efecte positiu. No obstant això, la persistència de valors extrems elevats i l’estabilitat en la proporció de fonts que superen els l·lindars normatius indica que existeixen zones o fonts específiques on la contaminació per nitrats continua sent un problema important. Aquesta situació justifica la necessitat d’un anàlisi espacial detallat per identificar les zones crítiques i les seves característiques particulars.

### 4.3 Distribució espacial actual (2024) dels nitrats: situació general

L’anàlisi de la distribució espacial de nitrats corresponent a l’any 2024 es basa en 218 mostres procedents de 218 fonts naturals distribuïdes per tota la província de Barcelona (Figura 9). Els resultats mostren una concentració mitjana de 29,84 mg/L, la més baixa registrada en tot el període d’estudi, amb una mediana de 12 mg/L i un valor màxim de 166 mg/L (màxim més baix de tot el període d’estudi).

La classificació de les fonts segons els l·lindars normatius mostra que el 68% de les mostres (146 fonts) presenten concentracions inferiors a 37,5 mg/L, complint amb el l·lindar de bon estat químic establert per la Directiva d’Aigües Subterrànies. El 9% de les mostres (19 fonts)

es situen en el rang intermig entre 37,5 i 50 mg/L, mentre que el 24% restant (51 fonts) superen el límit de 50 mg/L establert per a aigua de consum humà.

Des del punt de vista espacial, s'observa una clara diferenciació territorial. Les zones pirinenca i prepirinenca del nord de la província presenten majoritàriament fonts amb concentracions baixes de nitrats, igual que algunes zones de la Serralada Prelitoral, mentre que les fonts amb valors més elevats tendeixen a concentrar-se a la franja central (Depressió Central) i al sud del territori (Depressió Prelitoral i Serralada Litoral). Aquesta distribució suggereix una relació amb les característiques de l'ús del sòl i les pressions antròpiques, que serà analitzada en detall a l'apartat següent.

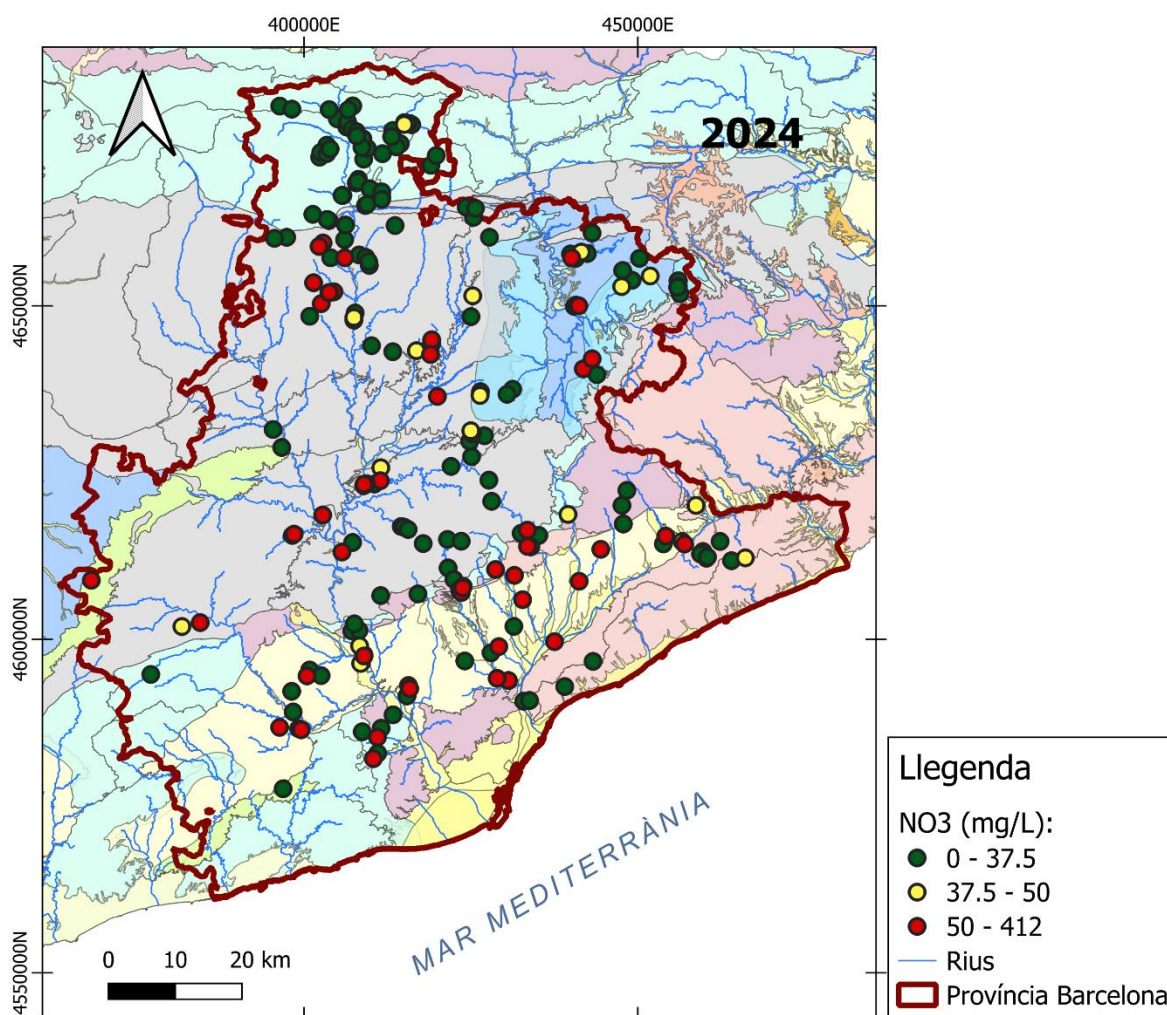


Figura 9: Distribució espacial de concentració de nitrats (mg/L) de les fonts analitzades el 2024.

## 4.4 Anàlisi de zones crítiques

### 4.4.1 Fonts amb concentracions superiors a 50 mg/L: relació amb zones vulnerables

L'anàlisi de les fonts que superen el límit de 50 mg/L establert per la Directiva Nitrats per a aigua de consum humà permet identificar les zones més afectades per contaminació i avaluar

la seva correspondència amb les zones vulnerables designades per la Generalitat de Catalunya (Figura 10).

Abans de l'any 2024, la classificació de les Zones Vulnerables a Nitrats per tipus es realitzava considerant les àrees declarades com a vulnerables a la contaminació per nitrats procedents de l'activitat agrària, aplicant un programa d'actuació complet o parcial en la protecció de les aigües. Aquestes zones es defineixen segons la normativa europea i espanyola (Directiva 91/676/CEE i Reial decret 47/2022), i la designació de cada zona i el tipus d'actuació (completa o parcial) depèn de la comunitat autònoma corresponent.

La Taula 3 mostra l'evolució del nombre de fonts que superen el líndar de 50 mg/L durant el període d'estudi, així com la seva localització respecte a les zones vulnerables:

*Taula 3: Distribució de fonts amb concentracions superiors a 50 mg/L segons la ubicació en zones vulnerables (ZV).*

Any	Nº mostres totals	Mostres >50 mg/L	% del total	Dins de ZV	Fora de ZV
2018	399	97	24%	63	34
2019	357	79	22%	45	34
2021	517	124	24%	86	38
2024	218	51	24%	33	18

L'anàlisi comparativa dels mapes de distribució espacial per als anys 2018, 2019, 2021 i 2024 (Figura 10-13) permet identificar que la majoria de les fonts amb concentracions superiors a 50 mg/L es localitzen dins dels límits de les zones vulnerables designades, principalment a la franja central de la província. S'observa una concentració especialment notable de fonts afectades a les comarques del Bages, Moianès, Osona i el sector nord del Vallès Oriental, coincidint amb àrees d'elevada activitat agrícola i ramadera

No obstant això, existeix un nombre significatiu de fonts que superen el líndar normatiu situades fora de les zones vulnerables oficialment designades. Aquests casos es localitzen principalment al sector occidental de la província (entorn de l'Anoia i l'Alt Penedès) i en algunes zones de la depressió central i prelitoral i del litoral. Aquesta situació suggereix que les pressions antròpiques que afecten aquestes fonts podrien no estar adequadament contemplades en la delimitació actual de zones vulnerables, o bé que existeixen fonts puntuals de contaminació no associades directament a l'activitat agrícola-ramadera, com ara els abocaments urbans (Figura 6).

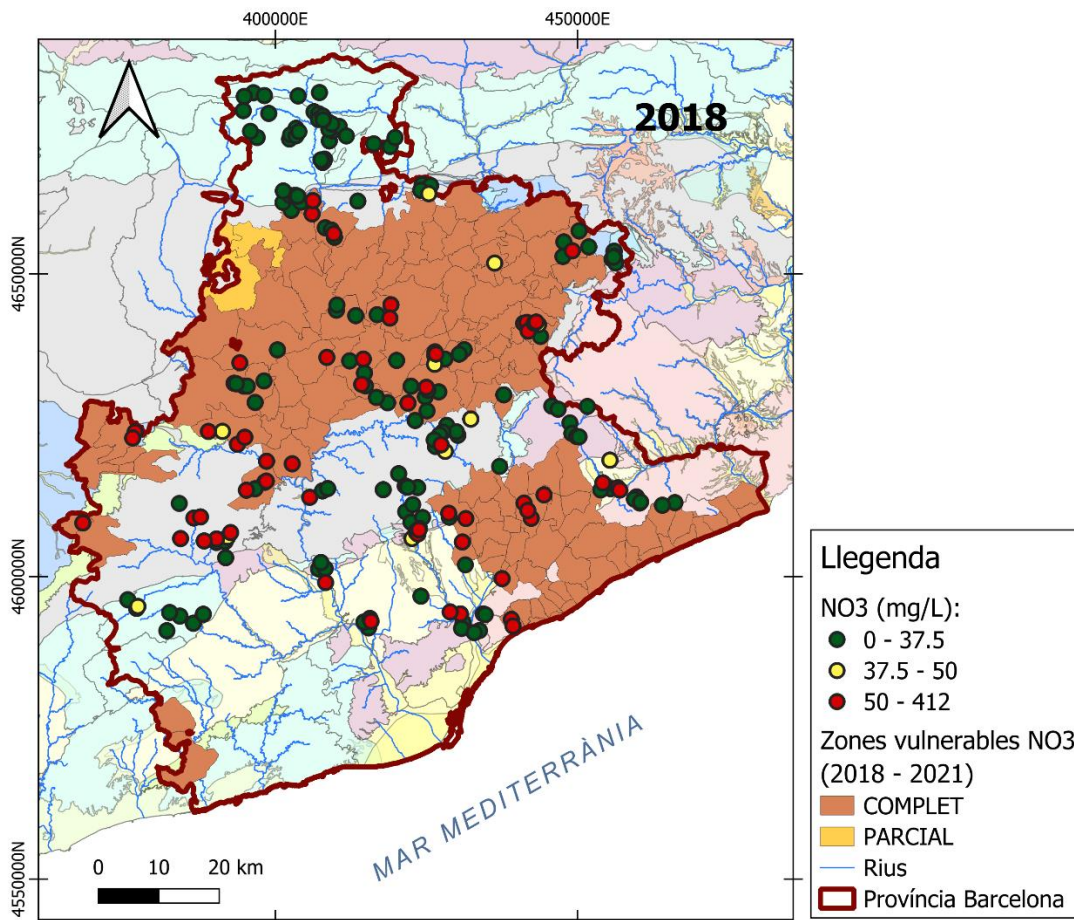


Figura 10: Distribució espacial de les concentracions de nitrat sobre 37.5 (mg/L) i 50 (mg/L) de les fonts analitzades el 2018.

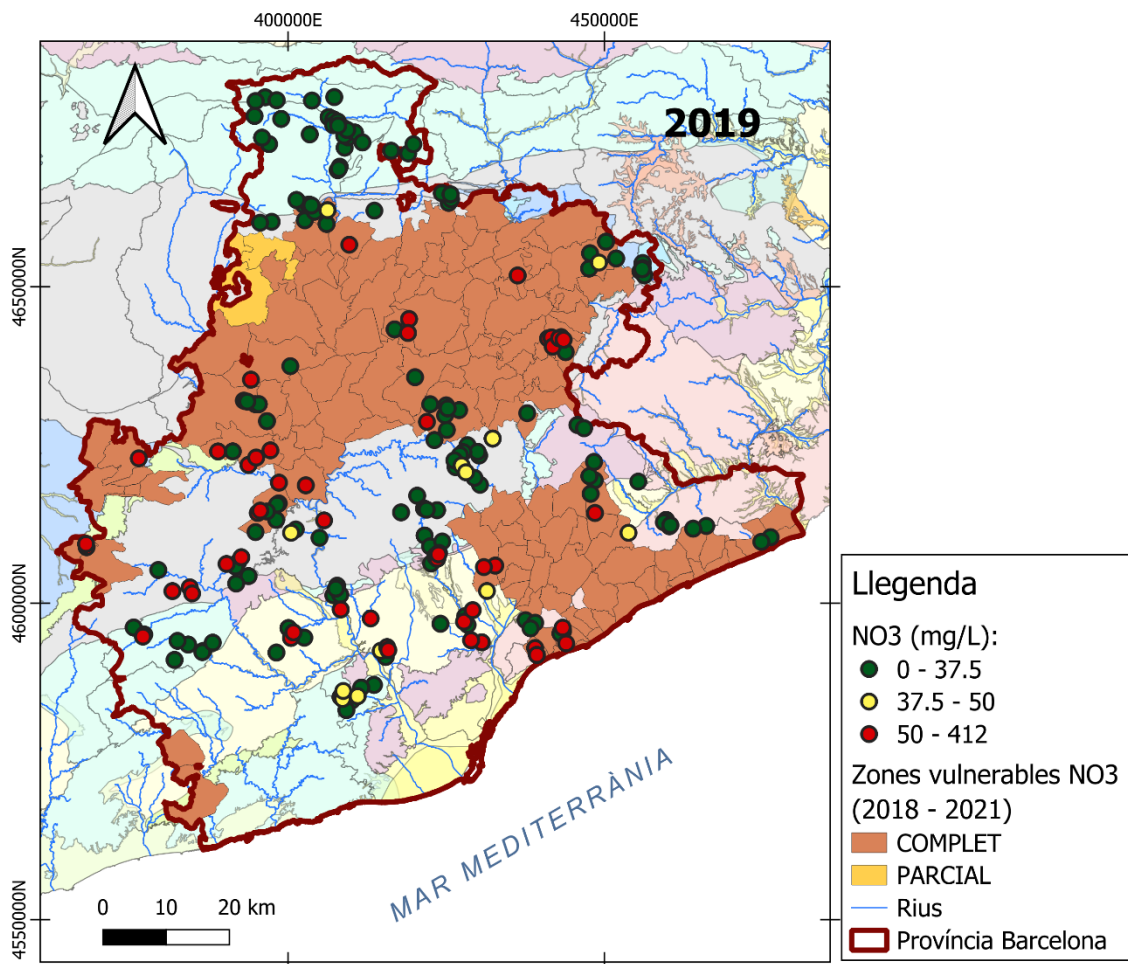


Figura 11: Distribució espacial de les concentracions de nitrat sobre 37.5 (mg/L) i 50 (mg/L) de les fonts analitzades el 2019.

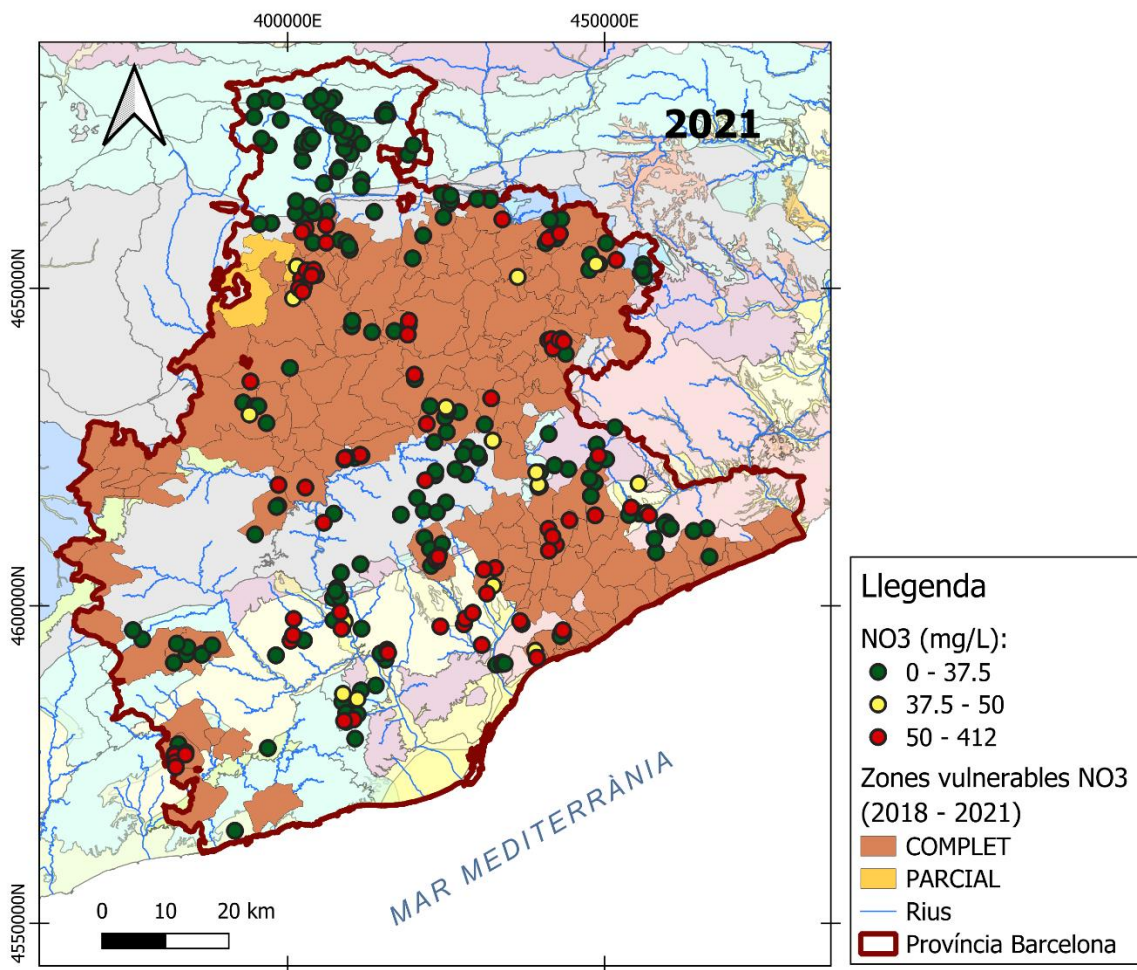


Figura 12: : Distribució espacial de les concentracions de nitrat sobre 37.5 (mg/L) i 50 (mg/L) de les fonts analitzades el 2021.

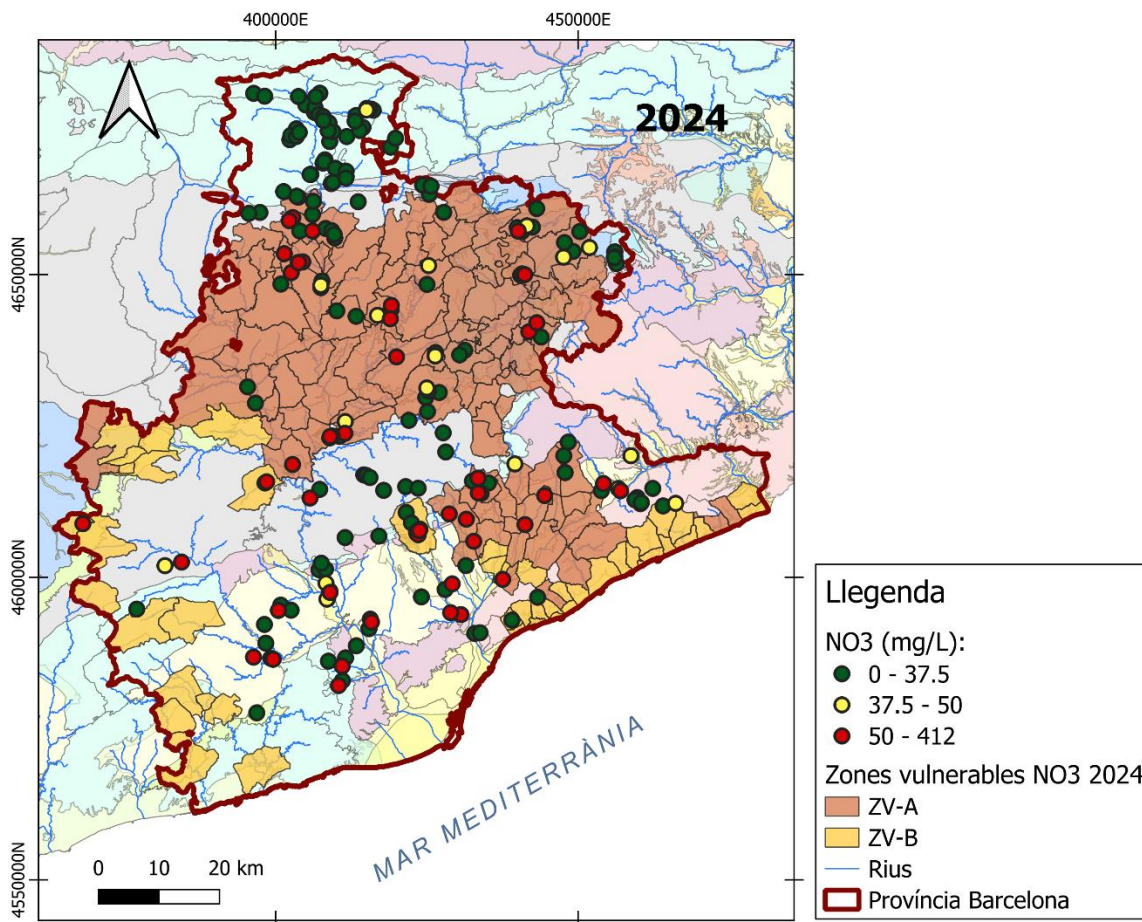


Figura 13: : Distribució espacial de les concentracions de nitrat sobre 37.5 (mg/L) i 50 (mg/L) de les fonts analitzades el 2024.

És destacable la modificació en la classificació de zones vulnerables introduïda el 2024, que distingeix entre zona vulnerable A (ZV-A) i zona vulnerable B (ZV-B) en funció de l'índex de càrrega ramadera (ICR). Aquesta nova classificació permet una gestió més ajustada a la intensitat de les pressions, aplicant mesures reforçades als municipis amb major càrrega ramadera (ZV-A).

Comparant els mapes de 2018-2021 amb el de 2024, s'observa que l'extensió total del territori classificat com a vulnerable s'ha ampliat, incorporant municipis que anteriorment només tenien designació parcial. Aquesta ampliació respon a l'evidència acumulada sobre l'afectació de les aigües subterrànies en aquestes àrees.

#### 4.4.2 Fonts amb concentracions superiors a 37,5 mg/L: relació amb masses d'aigua

El llindar de 37,5 mg/L establert per la Directiva 2006/118/CE d'Aigües Subterrànies constitueix el valor de referència per avaluar el bon estat químic de les masses d'aigua en relació amb els nitrats. L'anàlisi de les fonts que superen aquest llindar permet valorar la coherència entre les

dades puntuals de les fonts naturals i la classificació oficial de les masses d'aigua subterrània realitzada per l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA, 2021).

La Figura 14 y la Figura 15 presenta la distribució espacial de les fonts naturals classificades segons la seva concentració de nitrats, superposades a la classificació de les masses d'aigua per als anys 2023 i 2024. La Taula 4 resumeix el nombre de fonts que superen el llindar de 37,5 mg/L segons es localitzin en masses d'aigua classificades en bon o mal estat químic.

*Taula 4: Distribució de fonts amb concentracions superiors a 37,5 mg/l segons la classificació de les masses d'aigua.*

<b>Año</b>	<b>Fuentes &gt;37,5 mg/L</b>	<b>En MAS "Bo"</b>	<b>En MAS "Dolent"</b>
2023	69	14	45
2024	71	30	41

L'anàlisi comparativa revela que la majoria de les fonts amb concentracions elevades de nitrats es localitzen en masses d'aigua classificades en mal estat químic, la qual cosa indica una bona correspondència entre les dades puntuals de les fonts i l'avaluació regional realitzada per l'ACA. Les masses més afectades inclouen MAS10, MAS11, MAS12, MAS16, MAS17, MAS22, MAS23 i MAS38, totes elles situades a la franja central i sud de la província, on conflueixen pressions agrícoles, ramaderes i urbanes.

No obstant això, també s'identifiquen fonts amb concentracions superiors als llindars normatius localitzades en masses d'aigua classificades en bon estat químic. Aquest és el cas d'algunes fonts situades a les masses MAS05 i MAS13 i, de manera més notable, a la MAS69. Aquests casos poden correspondre a situacions de contaminació localitzada que no alteren l'avaluació global de la massa d'aigua, o bé a l'existència de tendències de deteriorament incipient que mereixen un seguiment específic, tenint en compte que la classificació de l'estat de qualitat química de les Masses d'Aigua es va realitzar el 2021.

La MAS69, classificada en bon estat químic segons l'ACA (2021), presenta 17 fonts de 74, amb concentracions que, entre el 2016 i el 2024, han superat tant el llindar ambiental de 37,5 mg/L com el límit de 50 mg/L per a consum humà. Aquesta situació requereix un anàlisi més detallat que es desenvolupa a l'apartat 4.4.3.

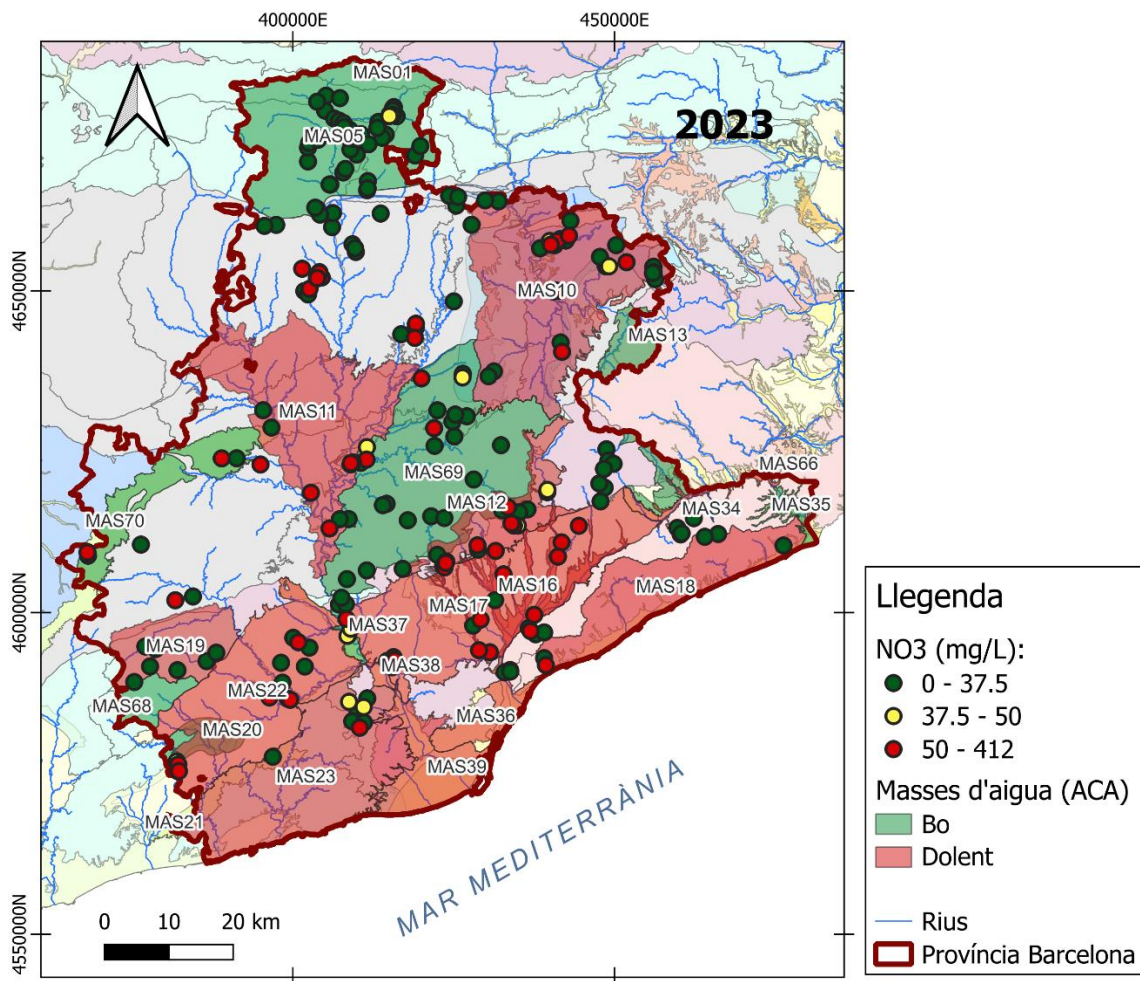


Figura 14: Distribució espacial de les concentracions de nitrat sobre 37.5 (mg/L) i 50 (mg/L) de les fonts analitzades 2023.

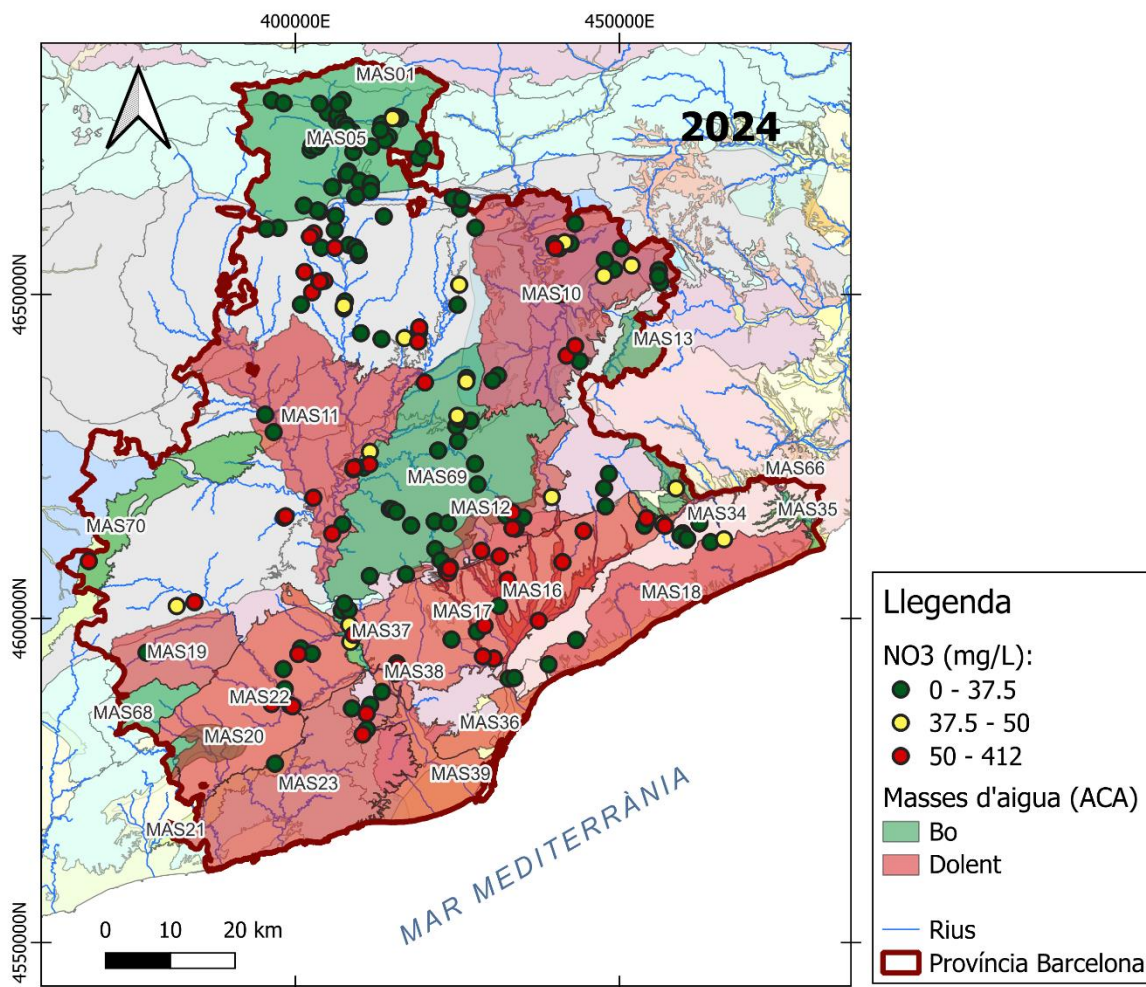


Figura 15: Distribució espacial de les concentracions de nitrat sobre 37.5 (mg/L) i 50 (mg/L) de les fonts analitzades 2024.

#### 4.4.3 Anàlisi detallada: Massa 69

La MAS69, situada a la zona central de la província i classificada en bon estat químic segons l'avaluació del tercer cicle de planificació hidrològica (ACA, 2021), constitueix un cas d'especial interès a causa de la detecció de 17 fonts amb concentracions de nitrats que superen els llindars normatius.

L'anàlisi de les fonts localitzades en aquesta massa d'aigua durant el període 2023-2024 revela diverses fonts amb valors que superen tant el llindar ambiental de 37,5 mg/L com el límit de 50 mg/L per a consum humà. Destaca especialment el cas del Pou de l'Hemalosa (Santa Maria d'Oló), que presenta una signatura hidroquímica característica de contaminació d'origen ramader, amb valors elevats simultanis de nitrats, sulfats i conductivitat elèctrica. Altres fonts de la mateixa massa, com la Font de l'Avi (Calders), Font de les Tàpies (Calders) i Font de l'Abellar (Monistrol de Calders), també presenten concentracions de nitrats per sobre del llindar de qualitat.

L'aparent contradicció entre la classificació oficial de bon estat i la detecció de contaminació en fonts específiques es pot explicar per diversos factors. En primer lloc, la xarxa de monitoratge de l'ACA, dissenyada per avaluar l'estat general de masses d'aigua d'extensió ampla, pot no captar deterioraments localitzats que sí detecten les fonts de la Diputació de Barcelona, gràcies a la seva major densitat espacial. En segon lloc, la contaminació detectada el 2023-2024 podria correspondre a pressions antròpiques desenvolupades posteriorment a l'avaluació oficial de 2021, relacionades amb la intensificació de l'activitat ramadera a la zona. Finalment, les fonts afectades podrien ubicar-se en sectors de major vulnerabilitat hidrogeològica dins d'una massa que, de mitjana, manté bon estat.

Els resultats suggereixen que la MAS69 està evolucionant cap a un deteriorament progressiu a causa de la intensificació de les pressions ramaderes. Aquesta massa constitueix una candidata potencial a reclassificació com a mal estat químic en el proper cicle de planificació (2027) si no s'implementen mesures correctores. La situació justifica tant un seguiment intensificat com la realització d'anàlisis isotòpiques complementàries ( $\delta^{15}\text{N}$  i  $\delta^{18}\text{O}$  en  $\text{NO}_3^-$ ) que permetin confirmar l'origen ramader de la contaminació i orientar les mesures de gestió més adequades.

#### 4.4.4 Síntesi de resultats: Nitrats

L'anàlisi de 3.004 mostres procedents de 558 fonts naturals de la província de Barcelona revela una concentració mitjana de nitrats de 33,71 mg/L i una mediana de 12,92 mg/L. La marcada diferència entre ambdós valors indica una distribució asimètrica, amb un grup majoritari de fonts amb concentracions baixes i un conjunt menor de fonts amb valors elevats que incrementen la mitjana. El rang de concentracions és molt ampli, des de valors propers a 0 mg/L fins a un màxim de 411,60 mg/L registrat el 2021.

S'observa una tendència general de millora durant el període d'estudi. La concentració mitjana anual ha descendit des de 39,82 mg/L el 2016 fins a 29,84 mg/L el 2024, cosa que representa una reducció del 25%. La mediana ha disminuït de 17,84 mg/L a 12 mg/L en el mateix període, i la desviació estàndard s'ha reduït de 59,52 mg/L a 36,85 mg/L, indicant una major homogeneïtzació de les concentracions.

No obstant això, la proporció de fonts que superen el llindar de 50 mg/L s'ha mantingut estable al voltant del 24% al llarg de tot el període, la qual cosa indica la persistència de focus de contaminació que no han experimentat una millora significativa.

Les fonts amb concentracions elevades de nitrats es concentren principalment a la franja central i sud de la província, coincidint amb les zones de major pressió agrícola i ramadera. Les zones muntanyoses del nord presenten, gairebé en la seva totalitat, concentracions inferiors als llindars normatius.

La majoria de les fonts amb concentracions superiors a 50 mg/L es localitzen dins de les zones vulnerables designades, la qual cosa indica una correcta delimitació d'aquestes àrees. No obstant això, existeix un nombre significatiu de fonts contaminades situades fora de les zones vulnerables oficials.

Pel que fa a les masses d'aigua, s'observa una bona correspondència general entre les fonts amb valors elevats i les masses classificades en mal estat químic. No obstant això, s'han identificat fonts amb concentracions superiors als líndars en masses classificades en bon estat, particularment a la MAS69, on es detecta una evolució cap a un deteriorament progressiu per la intensificació de pressions ramaderes, que podria anticipar una reclassificació en el proper cicle de planificació si no s'implementen mesures correctores.

L'any 2024 presenta els valors més favorables de tota la sèrie, amb una mitjana de 29,84 mg/L i el valor màxim més baix del període (166 mg/L). De les 218 fonts analitzades, el 68% presenta concentracions inferiors a 37,5 mg/L (bon estat químic), el 9% es situa entre 37,5 i 50 mg/L, i el 24% supera el límit de 50 mg/L establert per a consum humà.

La Taula 5 resumeix els resultats obtinguts en aquest estudi.

Taula 5: Resum de rangs de concentració de nitrats a les mostres de les fonts estudiades entre 2016 i 2024.

Any	Nº total mostres	<37.5 (mg/L)	37.5 (mg/L)- 50 (mg/L)	> 50 (mg/L)
2016	226	156	18	52
2017	346	251	23	72
2018	399	269	33	97
2019	357	260	18	79
2021	517	368	25	124
2022	461	342	13	106
2023	234	165	12	57
2024	216	146	19	51

## 4.5 Anàlisi complementària: Nitrit i Amoni

### 4.5.1 Nitrit

El nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) constitueix una forma intermèdia en el cicle del nitrogen, present tant en l'oxidació de l'amoni (nitrificació) com en la reducció dels nitrats (desnitrificació). La seva presència en concentracions elevades pot indicar contaminació recent o condicions redox particulars. El líndar de referència per al bon estat químic de les masses d'aigua és de 0,5 mg/L.

L'anàlisi de les mostres corresponents als anys 2023 i 2024 (únics anys disponibles; Taula 6, Figura 16) revela que les concentracions de nitrit a les fonts naturals de la província de Barcelona són, en general, molt baixes. La mediana se situa en 0,05 mg/L per a ambdós anys, amb una mitjana de 0,06 mg/L el 2023 i 0,05 mg/L el 2024, valors molt inferiors al líndar normatiu.

Taula 6: Estadístiques descriptives de la concentració de nitrit (mg/L) a les fonts naturals de Barcelona (2023-2024).

Nitrit (mg/L)								
Període	N	Min	Q <sub>25</sub>	Mediana	Mitjana	Q <sub>75</sub>	Max	Std
2023	234	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	1.1	0.08
2024	200	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.09	0
<b>TOTS</b>	<b>434</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>1.1</b>	<b>0.06</b>

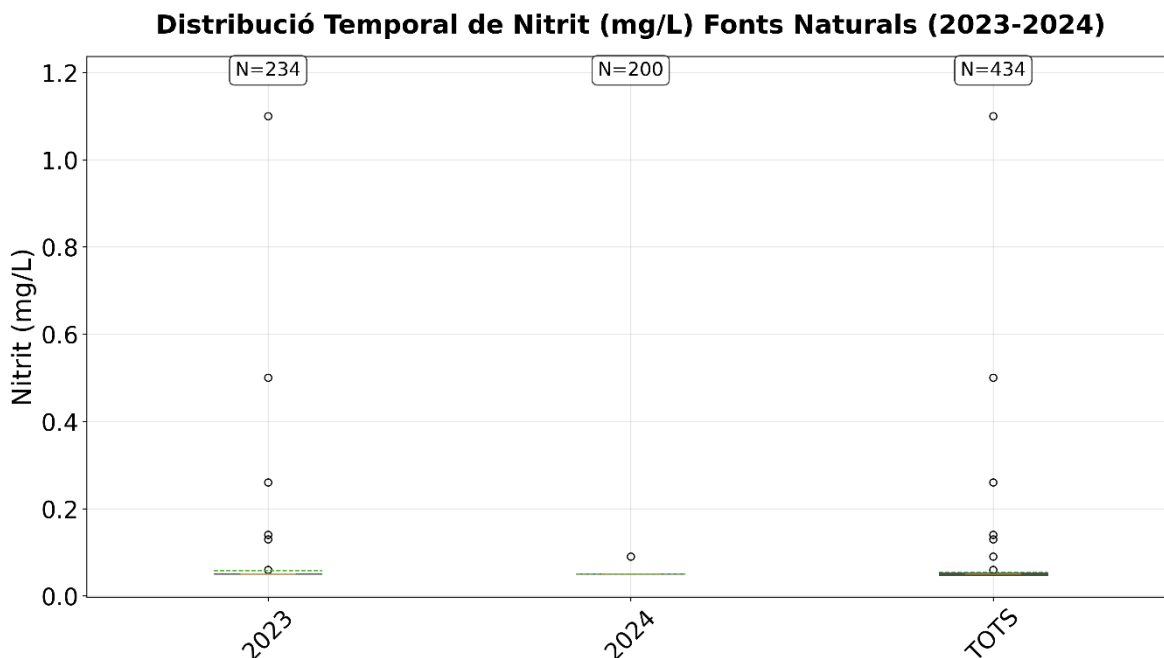


Figura 16: Distribució temporal de la concentració de nitrit (mg/L) a les Fonts Naturals durant el període 2023–2024.

L'any 2023 es va detectar un únic valor anòmal de 1,1 mg/L, que supera clarament el llindar de 0,5 mg/L i constitueix un outlier respecte al comportament general de la sèrie (Font de Sant Jaume de Vallhonesta a Sant Vicenç de Castellet, Figura 17), situada a la MAS69. És destacable que aquesta font no presenta concentracions elevades de nitrats, la qual cosa suggereix que l'origen del nitrit no està associat a la contaminació difusa per fertilització agrícola-ramadera que caracteritza les fonts amb nitrats elevats. La presència aïllada de nitrit sense correlació amb nitrats podria indicar: (1) una contaminació puntual molt recent on el nitrit encara no s'ha oxidat completament a nitrats, (2) condicions reductores locals que afavoreixen la reducció parcial de nitrats a nitrits, o (3) un aportament puntual de matèria orgànica nitrogenada en fase inicial de mineralització.

El 2024, cap de les 200 fonts analitzades va superar el llindar de 0,5 mg/L, amb un valor màxim de només 0,09 mg/L, confirmant el caràcter puntual i transitori de l'anomalia detectada el 2023.

A diferència dels nitrats, el nitrit no representa un problema generalitzat de qualitat a les fonts naturals de la província. Les concentracions es mantenen sistemàticament per sota del llindar de referència, amb excepció d'un únic cas puntual i aïllat que no configura un patró de contaminació difusa i que no s'ha repetit en el mostreig posterior.

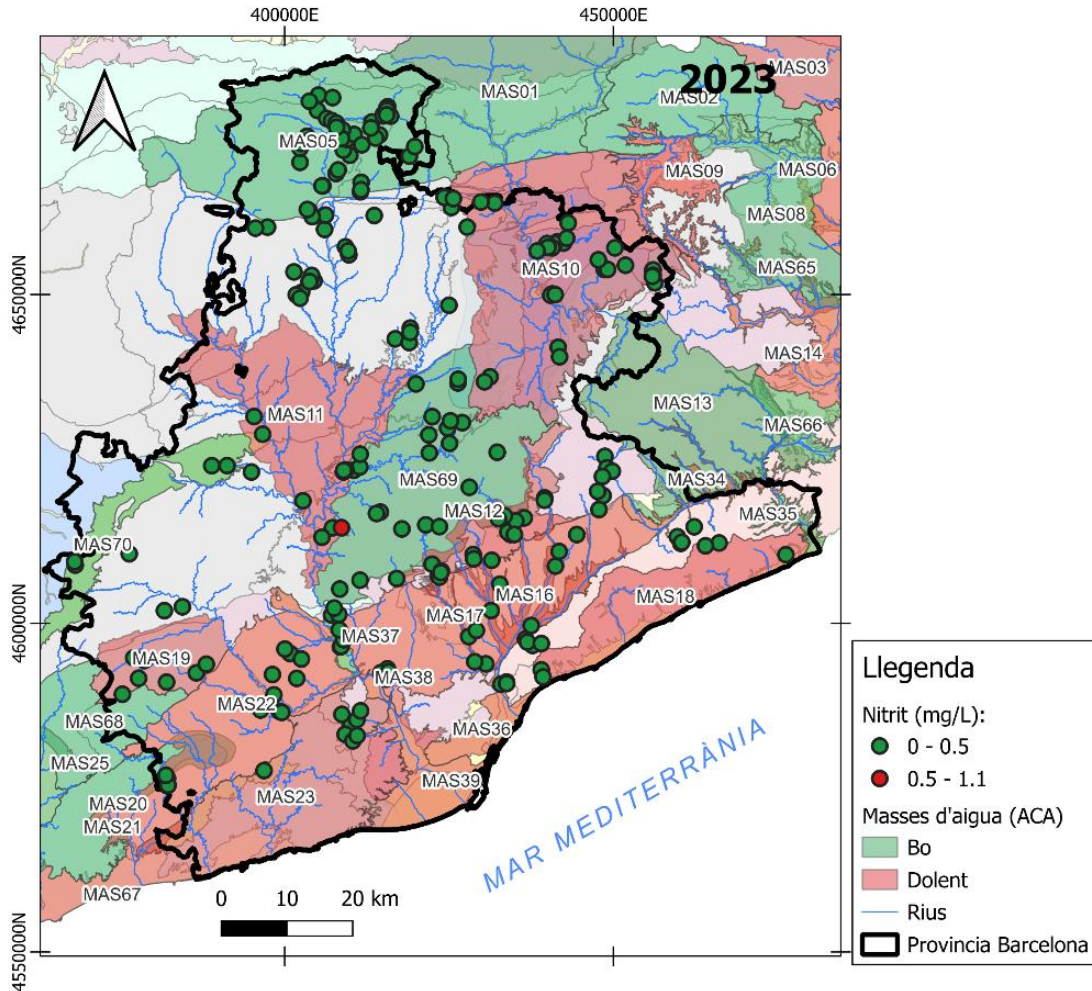


Figura 17: Distribució espacial de les concentracions de nitrit sobre 0.5 (mg/L) de les fonts analitzades 2023.

#### 4.5.2 Amoni

L'amoni ( $\text{NH}_4^+$ ) a les aigües subterrànies pot tenir un origen natural (descomposició de matèria orgànica, condicions reductores) o antròpic (abocaments d'aigües residuals, purins ramaders, fertilitzants amoniacals). La seva presència indica generalment condicions de

contaminació recent o ambients amb baix contingut d'oxigen. El llindar de referència per al bon estat químic de les masses d'aigua és de 0,5 mg/L.

L'anàlisi de les 2.977 mostres del període complet revela que les concentracions d'amoni són, en general, molt baixes i estables. La mediana es manté constant en 0,1 mg/L al llarg de tota la sèrie, amb una mitjana global de 0,11 mg/L, valors molt inferiors al llindar normatiu (Taula 7, Figura 18).

Taula 7: Estadístiques descriptives de la concentració d'amoni (mg/L) a les fonts naturals de Barcelona (2016-2024).

Amoni (mg/L)								
Período	N	Min	Q25	Mediana	Media	Q75	Max	Std
2016	226	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.26	0.01
2017	346	0.1	0.1	0.2	0.16	0.2	0.91	0.07
2018	399	0.1	0.1	0.1	0.11	0.1	0.74	0.05
2019	357	0.04	0.06	0.1	0.09	0.1	0.65	0.05
2020	246	0.04	0.06	0.1	0.1	0.1	2.48	0.16
2021	508	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.84	0.03
2022	461	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.43	0.02
2023	234	0.1	0.1	0.1	0.11	0.1	0.69	0.05
2024	200	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.12	0
<b>TODOS</b>	<b>2977</b>	<b>0.04</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.11</b>	<b>0.1</b>	<b>2.48</b>	<b>0.07</b>

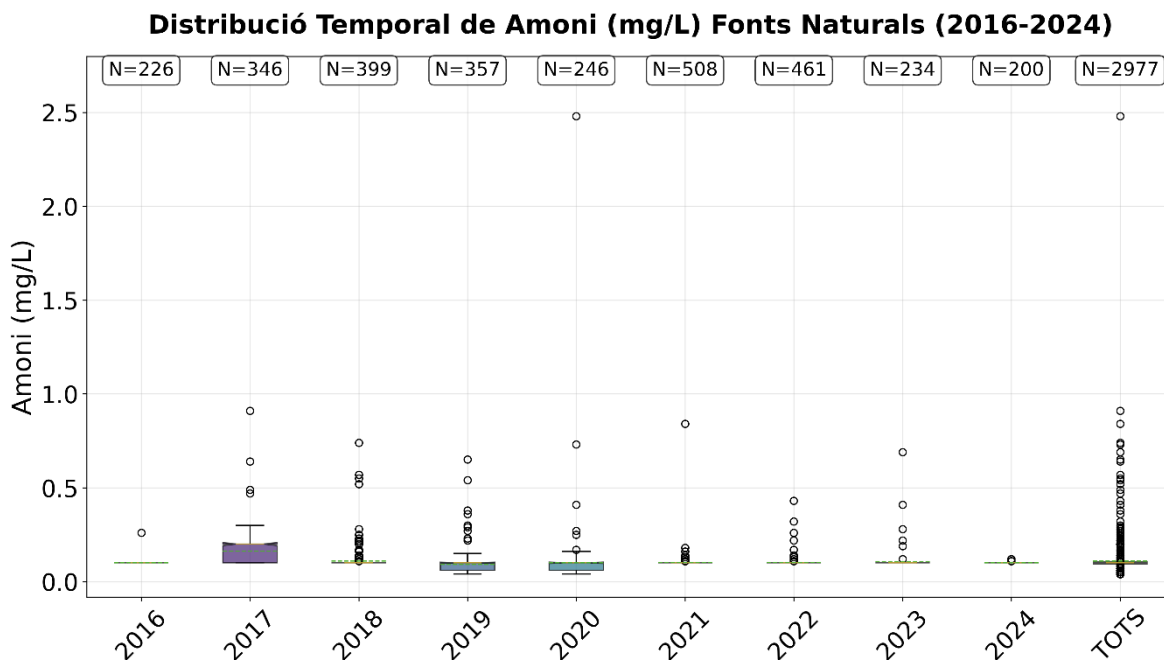


Figura 18: Distribució temporal de la concentració de amoni (mg/L) a les Fonts Naturals de Barcelona durant el període 2016-2024.

Malgrat el comportament general favorable, s'han identificat casos puntuals que superen el líndar de 0,5 mg/L al llarg del període d'estudi (Taula 8):

Taula 8: Fonts amb concentracions d'amoni superiors al líndar de 0.5 mg/l.

Any	Mostres totals	Mostres >0,5 mg/L	Valor màxim	Observacions
2018	399	4	0,74 mg/L	Casos dispersos
2020	246	1	2,48 mg/L	Outlier extrem
2021	508	1	0,84 mg/L	Cas aïllat
2023	234	1	0,69 mg/L	Cas aïllat
2024	200	0	0,12 mg/L	Sense excedències

L'any 2020 destaca per presentar el valor màxim de tota la sèrie (2,48 mg/L), gairebé cinc vegades superior al líndar normatiu. Aquest valor extrem constitueix un cas excepcional que incrementa significativament la desviació estàndard d'aquell any (0,16 mg/L front a valors típics de 0,02-0,07 mg/L).

D'altra banda, s'observa una tendència favorable en els darrers anys. Mentre que el 2018 es van detectar 4 fonts amb excedència del líndar, el 2021 i el 2023 només es va identificar un cas aïllat en cada any, i el 2024 cap de les 200 fonts analitzades va superar el líndar, amb un valor màxim de només 0,12 mg/L.

En particular, al llarg del període d'estudi s'han identificat 12 casos en què es supera el líndar de 0,5 mg/L, corresponents a 6 fonts diferents (Taula 9).

Taula 9: Inventari de fonts amb concentracions d'amoni superiors al líndar de 0,5 mg/l (2017-2023).

Any	Font	Municipi	Concentració (mg/L)	Massa d'aigua
2017	Font de la Riera	Castellar del Vallès	0,64	MAS12
	Font del Cosí	el Papiol	0,91	
2018	Font de la Riera	Castellar del Vallès	0,57	MA12
	Font de la Riera	Castellar del Vallès	0,74	MA12
	Font Can Mas Arnau	Òdena	0,55	
	Font d'en Titus	Sant Julià de Vilatorca	0,52	MA10
2019	Font de la Riera	Castellar del Vallès	0,65	MA12
	Font de la Riera	Castellar del Vallès	0,54	MA12
2020	Font del Sofre	Bagà	2,48	MA05
	Font de la Riera	Castellar del Vallès	0,73	MA12
2021	Font Santa	Sant Pere de Torelló	0,84	MA10
2023	Font Santa	Sant Pere de Torelló	0,69	MA10

L'anàlisi detallat de les excedències permet identificar tres situacions diferenciades:

1. La Font de la Riera (Castellar del Vallès, MAS12) presenta excedències repetides durant quatre anys consecutius (2017-2020), amb valors entre 0,54 i 0,74 mg/L. Aquesta

persistència suggereix una font de contaminació crònica a l'entorn de la font, possiblement associada a abocaments o infiltracions d'aigües residuals. De fet, la Font de la Riera es troba a la zona vulnerable B i aigües avall dels abocaments d'una depuradora. De manera similar, la Font Santa (Sant Pere de Torelló, MAS10) mostra excedències el 2021 i 2023, indicant també una afectació sostinguda (ZV-A).

2. La Font del Cosí (el Papiol), Font Can Mas Arnau (Òdena) i Font d'en Titus (Sant Julià de Vilatorrada) presenten excedències úniques que no es repeteixen en anys posteriors, suggerint episodis de contaminació transitoris.
3. La Font del Sofre (Bagà, MAS05) va registrar el 2020 el valor màxim de tota la sèrie (2,48 mg/L). Aquesta font es localitza a la MAS05, zona de capçalera amb característiques geoquímiques particulars. El topònim "Sofre" i la ubicació en un context hidrogeològic de muntanya suggereixen que aquest valor elevat podria tenir un origen natural associat a condicions reductores i mineralització específica de l'aquífer, més que a contaminació antròpica.

L'any 2024, cap de les 200 fonts analitzades va superar el lílindar de 0,5 mg/L, amb un valor màxim de només 0,12 mg/L. Aquest resultat representa el millor escenari de tota la sèrie temporal i suggereix una millora en les fonts que anteriorment presentaven contaminació recurrent.

L'amoní no constitueix un problema generalitzat de qualitat a les fonts naturals de la província de Barcelona. La contaminació es limita a casos puntuals, destacant dues fonts amb afectació recurrent (Font de la Riera (Castellar del Vallès) i Font Santa (Abrera)) que requeririen una investigació específica per identificar i controlar les fonts de contaminació. El cas excepcional de la Font del Sofre (Bagà) respon probablement a condicions geoquímiques naturals pròpies de la MAS05.

## 5 Discussió

### 5.1 Tendències generals i evolució temporal

Els resultats del present estudi mostren una tendència general favorable en la qualitat de les fonts naturals de la província de Barcelona pel que fa a la contaminació per compostos nitrogenats durant el període 2016-2024. La concentració mitjana de nitrats ha experimentat una reducció del 25%, passant de 39,82 mg/L el 2016 a 29,84 mg/L el 2024, mentre que la variabilitat de les dades, expressada com a desviació estàndard, ha disminuït de 59,52 mg/L a 36,85 mg/L, indicant una major homogeneïtzació de les concentracions.

Aquesta millora pot atribuir-se a diversos factors no excloents. En primer lloc, la implementació progressiva dels programes d'actuació en zones vulnerables, derivats de la Directiva Nitrats i desenvolupats per la Generalitat de Catalunya mitjançant el Decret 153/2019, ha establert restriccions en l'aplicació de fertilitzants i dejeccions ramaderes. En segon lloc, la sequera prolongada del període 2021-2023 podria haver reduït la infiltració de nitrats des de la zona no saturada cap als aqüífers, tot i que aquest efecte requeriria verificació mitjançant sèries temporals més llargues.

No obstant això, la proporció de fonts que superen el líndar de 50 mg/L s'ha mantingut estable al voltant del 24% al llarg de tot el període analitzat. Aquesta persistència indica que, tot i que les concentracions mitjanes han millorat, existeix un grup de fonts amb contaminació estructural que no ha respost a les mesures de gestió implementades. Aquestes fonts, localitzades principalment a la franja central de la província, requereixen atenció prioritària i, possiblement, intervencions específiques més enllà de les mesures generals aplicades a les zones vulnerables.

Pel que fa al nitrit i a l'amoni, els resultats mostren que aquests paràmetres no constitueixen un problema generalitzat de qualitat. Les excedències són puntuals, aïllades i, en el cas de l'amoni, concentrades en un nombre reduït de fonts amb afectació recurrent que suggereixen fonts de contaminació localitzades i potencialment identificables.

### 5.2 Coherència entre dades puntuals i classificació oficial de masses d'aigua

Un dels aspectes més importants d'aquest estudi és l'anàlisi de la correspondència entre les dades puntuals obtingudes a les fonts naturals i la classificació oficial de l'estat químic de les masses d'aigua subterrània realitzada per l'Agència Catalana de l'Aigua. En termes generals, s'observa una bona coherència, on la majoria de les fonts amb concentracions elevades de nitrats es localitzen en masses classificades en mal estat químic, i les zones amb millor qualitat coincideixen amb masses en bon estat.

No obstant això, s'han identificat discrepàncies significatives que mereixen un anàlisi detallat. Existeixen fonts amb concentracions superiors als líndars normatius localitzades en masses d'aigua oficialment classificades en bon estat, particularment a les masses MAS05, MAS69 i MAS20. Aquestes discrepàncies es poden explicar per quatre escenaris complementaris:

- 1) Resolució espacial diferenciada de les xarxes de vigilància: La xarxa de control de l'ACA, dissenyada per avaluar l'estat general de masses d'aigua de gran extensió, pot no detectar deterioraments localitzats. Les fonts monitoritzades per la Diputació de Barcelona, amb major densitat espacial, detecten aquests punts de contaminació que la xarxa oficial integra amb zones no afectades. Aquest fenomen és especialment rellevant en masses d'aigua extenses i heterogènies.
- 2) Pressions antròpiques posteriors a l'avaluació oficial: La classificació vigent correspon al tercer cicle de planificació (2022-2027) basat en dades anteriors a 2021. La contaminació detectada el 2023-2024 pot correspondre a pressions desenvolupades posteriorment, com la intensificació de l'activitat ramadera, canvis en els usos del sòl o ampliació d'urbanitzacions amb sistemes de sanejament deficients.
- 3) Vulnerabilitat hidrogeològica diferencial: Les fonts contaminades poden ubicar-se en sectors de major permeabilitat, menor temps de residència o proximitat a àrees de recàrrega dins de masses que, en mitjana, mantenen bon estat. Aquestes zones actuen com a indicadors d'alerta primerenca que avisen d'un deteriorament potencial abans que es generalitzi a la resta de la massa.
- 4) Evolució progressiva cap a deteriorament futur: La contaminació actual, encara que localitzada, pot ser predictiva d'un deteriorament generalitzat en els propers cicles si les pressions continuen o s'intensifiquen. La detecció primerenca mitjançant xarxes complementàries com la de la Diputació permet una intervenció preventiva abans que el problema arribi a escala regional.

### 5.3 Diferenciació de orígens: natural versus antròpic

L'anàlisi integrada dels resultats permet diferenciar dues situacions clarament distintes que requereixen respostes de gestió diferenciades.

#### 5.3.1 Origen natural: cas de la MAS05

La massa d'aigua MAS05, situada a la zona pirinenca de capçalera del Llobregat, presenta algunes fonts amb excedències que responen a condicions geoquímiques naturals més que a contaminació antròpica. El cas paradigmàtic és la Font del Sofre (Bagà), que va registrar el 2020 una concentració d'amoni de 2,48 mg/L, un valor excepcional que constitueix el màxim de tota la sèrie. El topònim de la font ("Sofre") i la seva ubicació en un context hidrogeològic de muntanya amb possibles condicions reductores suggereixen un origen natural associat a la mineralització específica de l'aquífer. En aquests casos, la resposta adequada no és la implementació de mesures de descontaminació, sinó la revisió tècnica dels llindars considerant el fons geoquímic natural del sistema.

#### 5.3.2 Origen antròpic: cas de la MAS69 i altres masses

La MAS69, classificada en bon estat químic, presenta múltiples fonts amb signatura hidroquímica característica de contaminació ramadera: valors elevats simultanis de nitrats, sulfats i conductivitat elèctrica. El Pou de l'Hemalosa (Santa Maria d'Oló) constitueix el cas

més evident, però altres fonts de la mateixa massa (Font de l'Avi (Calders), Font de les Tàpies (Calders), Font de l'Abellar (Monistrol de Calders)) també superen els límits de nitrats. La detecció d'aquesta contaminació el 2023-2024 suggereix una pressió recent o emergent posterior a la classificació oficial, probablement associada a la intensificació de la ramaderia a la zona. Aquesta massa constitueix una candidata a reclasseficació com a mal estat químic en el proper cicle de planificació (2027) si no s'implementen mesures correctores.

De manera similar, s'han identificat fonts amb contaminació recurrent per amoni que suggereixen afectacions antròpiques localitzades. La Font de la Riera (Castellar del Vallès) presenta excedències durant quatre anys consecutius (2017-2020), i la Font Santa (Sant Pere de Torelló) mostra valors superiors al límit el 2021 i 2023. Aquests patrons de persistència indiquen fonts de contaminació crònica, possiblement associades a abocaments o infiltracions d'aigües residuals, que requereixen investigació específica per a la seva identificació i control.

#### 5.4 Implicacions per la gestió i el monitoreig

Els resultats del present estudi tenen implicacions directes per a la gestió dels recursos hídrics subterrànies i el disseny d'estratègies de monitoratge:

- 1) Complementarietat de xarxes de vigilància: La xarxa de fonts naturals de la Diputació de Barcelona constitueix un complement valuós a la xarxa oficial de l'ACA, proporcionant major resolució espacial i permetent la detecció primerenca de deteriorament localitzat. Aquesta complementarietat hauria de formalitzar-se mitjançant protocols d'intercanvi d'informació i anàlisi conjunta de resultats.
- 2) Priorització d'actuacions: Els resultats permeten identificar zones i fonts prioritàries per a la intervenció. Les fonts amb contaminació persistent per nitrats superiors a 50 mg/L situades fora de zones vulnerables suggereixen la necessitat de revisar la delimitació oficial. Les fonts amb contaminació recurrent per amoni requereixen investigació de les fonts d'aportació per dissenyar mesures correctores específiques.
- 3) Seguiment de masses en risc: La MAS69 i altres masses amb indicis de deteriorament emergent (per exemple, MAS11) haurien de sotmetre's a un seguiment intensificat que permeti avaluar l'evolució temporal i generar propostes de reclasseficació per al proper cicle de planificació.
- 4) Anàlisis isotòpics complementaris: Per confirmar l'origen de la contaminació en les zones crítiques identificades i orientar les mesures de gestió més adequades, es proposa la realització d'anàlisis isotòpiques de  $\delta^{15}\text{N}$  i  $\delta^{18}\text{O}$  en la molècula de nitrats, que permetrien diferenciar entre orígens agrícoles (fertilitzants sintètics), ramaders (purins i fems) i urbans (aigües residuals).

## 6 Proposta d'anàlisi complementàries

### 6.1 Isòtops de nitrogen i oxigen en nitrat ( $\delta^{15}\text{N}$ i $\delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3^-$ )

Els resultats d'aquest estudi han permès caracteritzar l'estat de les fonts naturals de la província de Barcelona respecte a la contaminació per compostos nitrogenats i identificar zones crítiques que requereixen atenció prioritària. No obstant això, els paràmetres fisicoquímics i hidroquímics analitzats, tot i revelar la signatura actual de l'aigua, presenten limitacions per determinar l'origen de la contaminació i les característiques del flux subterrani.

Per avançar en la comprensió i distinció dels processos que controlen la qualitat de les fonts i orientar les mesures de gestió més adequades, es proposa la realització d'anàlisis isotòpiques complementàries en una segona fase de l'estudi. Es plantegen dues línies de treball complementàries:

1. Isòtops de  $\delta^{15}\text{N}$  i  $\delta^{18}\text{O}$  en la molècula de  $\text{NO}_3^-$ , orientats a identificar l'origen de la contaminació.
2. Isòtops de  $\delta^2\text{H}$  i  $\delta^{18}\text{O}$  en la molècula d'aigua, orientats a caracteritzar les zones de recàrrega i els sistemes de flux (anàlisi complementari de l'estudi *Caracterització de les fonts a la província de Barcelona*).

D'altra banda, seria d'interès disposar de l'anàlisi isotòpica de  $\delta^{34}\text{S}$  i  $\delta^{18}\text{O}$  en la molècula de  $\text{SO}_4^{2-}$ ; no obstant això, es prioritza la proposta de  $\delta^{15}\text{N}$  i  $\delta^{18}\text{O}$  en la molècula de  $\text{NO}_3^-$ , per avaluar posteriorment un següent anàlisi complementari

#### 6.1.1 Fonament i objectius

L'anàlisi de la composició isotòpica dels nitrats ( $\delta^{15}\text{N}$  i  $\delta^{18}\text{O}$  a la molècula de  $\text{NO}_3^-$ ) constitueix una eina consolidada per a la identificació de l'origen de la contaminació per nitrats en aigües subterrànies (Vitòria et al., 2004). Les diferents fonts de nitrats presenten signatures isotòpiques característiques (Figura 19) que permeten diferenciar entre:

1. Fertilitzants sintètics:  $\delta^{15}\text{N}$  entre -4 i +4‰,  $\delta^{18}\text{O}$  entre +17 i +25‰
2. Fertilitzants amoniacals:  $\delta^{15}\text{N}$  entre -6 i +6‰,  $\delta^{18}\text{O}$  entre 0 i +10‰
3. Matèria orgànica del sòl:  $\delta^{15}\text{N}$  entre +3 i +8‰,  $\delta^{18}\text{O}$  entre 0 i +10‰
4. Purins, fems i fosses sèptiques:  $\delta^{15}\text{N}$  entre +10 i +25‰,  $\delta^{18}\text{O}$  entre 0 i +10‰.

Aquesta diferenciació és crítica per orientar les mesures de gestió, ja que la contaminació d'origen ramader requereix intervencions diferents a la d'origen agrícola o urbà.

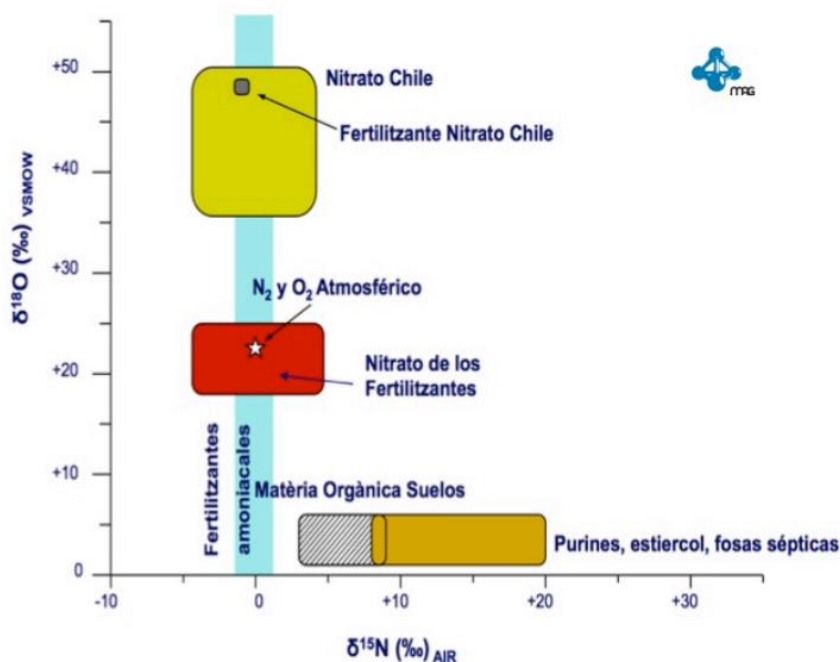


Figura 19: Signatures isotòpiques característiques de les diferents fonts de nitrat. Pres de Vitòria et al. (2004).

### 6.1.2 Zones prioritàries de mostreig

Es proposa centrar l'anàlisi isotòpic de nitrats a les zones identificades com a crítiques en el present estudi:

1. Fonts amb concentracions >50 mg/L en zones d'explotació ramadera intensiva: per confirmar l'origen ramader de la contaminació i quantificar-ne la contribució (aproximadament 33 mostres).
2. Fonts a la MAS69 amb indicis de deteriorament emergent: per verificar la hipòtesi d'intensificació ramadera com a causa del deteriorament (aproximadament 5 mostres).
3. Fonts amb concentracions elevades fora de zones vulnerables: per identificar si l'origen és agrícola, ramader, urbà (EDAR, fosses sèptiques) o un altre (aproximadament 26 mostres).
4. Fonts amb contaminació recurrent per amoni: per avaluar si existeix relació amb les fonts de nitrats (~2 mostres).

Es proposa l'anàlisi d'aproximadament 66 mostres.

### 6.1.3 Protocol de mostreig

1. Volum de mostra: ~7 mL (x2 rèpliques).
2. Recipient: 2 vials de poliestirè de 10 mL.
3. Obtenció de la mostra: Esbandir la xeringa de 20 mL dues vegades amb l'aigua de la font abans d'omplir els vials. Filtrar la mostra amb filtre de 0,2 µm. Omplir el vial deixant un petit espai superior per evitar problemes durant la congelació. Segellar el tap amb parafilm.
4. Conservació: Refrigerat a 4°C durant el transport. Congelació al laboratori MAiMA fins a l'anàlisi.

5. Condicions d'enviament: Si les mostres no poden arribar al laboratori en 24-48 h des del mostreig, cal congelar-les per garantir la correcta preservació durant el transport. En qualsevol cas, enviar les mostres en recipient de material aïllant (caixes de poliestirè, nevera tipus càmping) juntament amb blocs de gel. Un cop al laboratori MAiMA, les mostres es conservaran congelades fins al seu anàlisi.

## 7 Conclusions

L'anàlisi de 3.004 mostres procedents de 558 fonts naturals de la província de Barcelona, durant el període 2016-2024, ha permès caracteritzar de manera exhaustiva l'estat d'aquestes aigües respecte a la contaminació per compostos nitrogenats. Els resultats obtinguts revelen una tendència general favorable en la qualitat de les aigües respecte a la contaminació per nitrats, amb una reducció del 25% en la concentració mitjana (de 39,82 mg/L el 2016 a 29,84 mg/L el 2024) i una major homogeneïtzació de les concentracions al llarg del territori, reflectida en la disminució de la mediana (de 17,84 mg/L a 12 mg/L) i en la reducció de la desviació estàndard (de 59,52 mg/L a 36,85 mg/L). Aquesta millora en la qualitat química de les fonts es pot atribuir a la implementació progressiva dels programes d'actuació en zones vulnerables derivats de la Directiva Nitrats i desenvolupats per la Generalitat de Catalunya mitjançant el Decret 153/2019, que ha establert restriccions en l'aplicació de fertilitzants i dejeccions ramaderes.

No obstant això, malgrat aquesta millora general en els valors mitjans, la proporció de fonts que superen el lílndar de 50 mg/L establert per al consum humà s'ha mantingut estable al voltant del 24%, evidenciant la persistència de focus de contaminació estructural que no han respost a les mesures de gestió implementades i que requereixen atenció prioritària. Aquestes fonts, localitzades principalment a la franja central i sud de la província, representen situacions de contaminació crònica que necessiten atenció prioritària i, possiblement, intervencions específiques més enllà de les mesures generals aplicades a les zones vulnerables.

Espacialment, l'estudi mostra una clara diferenciació territorial en la distribució de la contaminació per nitrats. Les fonts amb concentracions elevades es concentren a la franja central i sud de la província, coincidint amb les zones de major pressió agrícola i ramadera, particularment a les comarques del Bages, Moianès, Osona i el sector nord del Vallès Oriental. En canvi, les zones muntanyoses del nord, corresponents a la zona pirinenca i prepirinenca, així com sectors de la Serralada Prelitoral, presenten en la seva pràctica totalitat concentracions inferiors als lílndars normatius, reflectint la menor pressió antròpica i el predomini d'usos forestals en aquests territoris.

L'anàlisi de la correspondència entre les dades puntuals de les fonts naturals i la classificació oficial de l'estat químic de les masses d'aigua subterrània realitzada per l'Agència Catalana de l'Aigua mostra, en termes generals, una bona coherència. La majoria de les fonts amb concentracions superiors a 50 mg/L es localitzen dins de les zones vulnerables designades per la Generalitat de Catalunya, confirmant la correcta identificació de les àrees de risc. No obstant això, s'han detectat fonts contaminades situades fora dels límits de les zones vulnerables oficials, principalment al sector central i occidental de la província (entorn de l'Anoia i Alt Penedès) i en algunes zones del litoral, la qual cosa suggereix que les pressions antròpiques que afecten aquestes fonts podrien no estar adequadament contemplades en la delimitació actual, o bé que existeixen fonts puntuals de contaminació no associades directament a l'activitat agrícola-ramadera.

Un descobriment particularment rellevant és la identificació d'una evolució cap al deteriorament progressiu en la massa d'aigua MAS69, actualment classificada en bon estat químic segons l'avaluació del tercer cicle de planificació hidrològica feta per l'ACA. En aquesta massa s'han detectat múltiples fonts amb concentracions que superen tant el líndar ambiental de 37,5 mg/L com el límit de 50 mg/L per a consum humà, presentant una signatura hidroquímica característica de contaminació d'origen ramader, amb valors elevats simultanis de nitrats, sulfats i conductivitat elèctrica. Aquesta situació suggereix una pressió recent o emergent posterior a la classificació oficial, probablement associada a la intensificació de la ramaderia a la zona, i constitueix la MAS69 com a candidata potencial a reclasseficació com a mal estat químic en el proper cicle de planificació (2027) si no s'implementen mesures correctores.

Pel que fa als paràmetres complementaris analitzats, el nitrit i l'amoni no constitueixen un problema generalitzat de qualitat a les fonts naturals de la província de Barcelona. Les concentracions d'ambdós paràmetres es mantenen sistemàticament per sota dels líndars de referència (0,5 mg/L) a pràcticament totes les fonts analitzades. Les excedències detectades corresponen a casos puntuals i aïllats, destacant la Font de la Riera (Castellar del Vallès) amb contaminació recurrent per amoni durant quatre anys consecutius, i la Font Santa (Sant Pere de Torelló) amb excedències el 2021 i el 2023, situacions que suggereixen punts de contaminació localitzats que requeririen investigació específica. El cas excepcional de la Font del Sofre (Bagà), amb una concentració d'amoni de 2,48 mg/L el 2020, respon probablement a condicions geoquímiques naturals pròpies de la zona de capçalera on es localitza, més que a contaminació antròpica.

El present estudi demostra el valor de la xarxa de fonts naturals de la Diputació de Barcelona com a complement a la xarxa oficial de l'Agència Catalana de l'Aigua. La major densitat espacial de punts de mostreig permet la detecció primerenca de deteriorament localitzat que podria no ser capturat per xarxes de vigilància dissenyades per avaluar l'estat general de masses d'aigua de gran extensió. Aquesta complementarietat és molt rellevant per a la identificació de zones crítiques i l'orientació de mesures de gestió preventives abans que els problemes de contaminació assoleixin escala regional.

Finalment, per avançar en la comprensió dels processos que controlen la qualitat de les fonts i orientar les mesures de gestió més adequades, es recomana la realització d'anàlisis isotòpiques complementàries de  $\delta^{15}\text{N}$  i  $\delta^{18}\text{O}$  en la molècula de nitrats en les zones crítiques identificades. Aquests anàlisis permetrien diferenciar de manera inequívoca entre orígens agrícoles (fertilitzants sintètics), ramaders (purins i fems) i urbans (aigües residuals), informació essencial per al disseny d'intervencions específiques i efectives que permetin revertir les situacions de contaminació persistent identificades en el present estudi.

## 8 Referències

Agència Catalana de l'Aigua. (2021). *Plan de gestión del distrito de cuenca fluvial de Cataluña 2022–2027*. Generalitat de Catalunya.

Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC). (2012). *Delimitación y caracterización de las Unidades Hidrogeológicas de Cataluña a escala 1:50.000*. ICGC.

Mas-Pla, J., & Menció, A. (2019). Groundwater nitrate pollution and climate change: learnings from a water balance-based analysis of several aquifers in a western Mediterranean region (Catalonia). *Environmental Science and Pollution Research*, 26(3), 2184-2202.

McKinney, W. (2010). Data structures for statistical computing in Python. *Proceedings of the 9th Python in Science Conference*, 445, 51-56.

Téllez, B., Ripoll, O. & Pascual, R. (2024, 10 agosto). *2021-2023: Análisis de la sequía en Cataluña*. AEMET blog. <https://aemetblog.es/2024/08/10/2021-2023-analisis-de-la-sequia-en-cataluna/>

Vitòria, L., Otero, N., Soler, A., & Canals, A. (2004). Fertilizer characterization: isotopic data (N, S, O, C, and Sr). *Environmental science & technology*, 38(12), 3254-3262.

## ANNEXOS

### Annex I

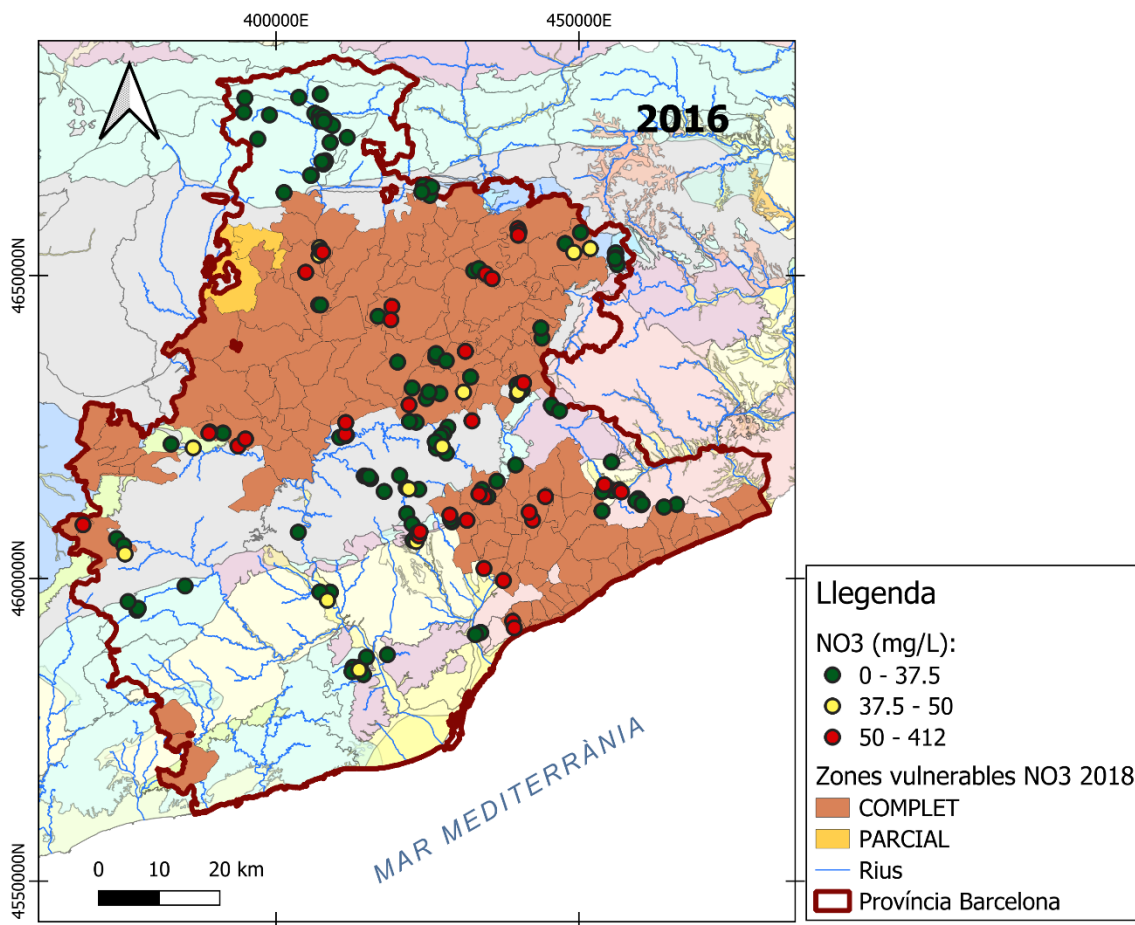


Figura I - 1: Mapes de distribució espacial de nitrats i zones vulnerables 2016.

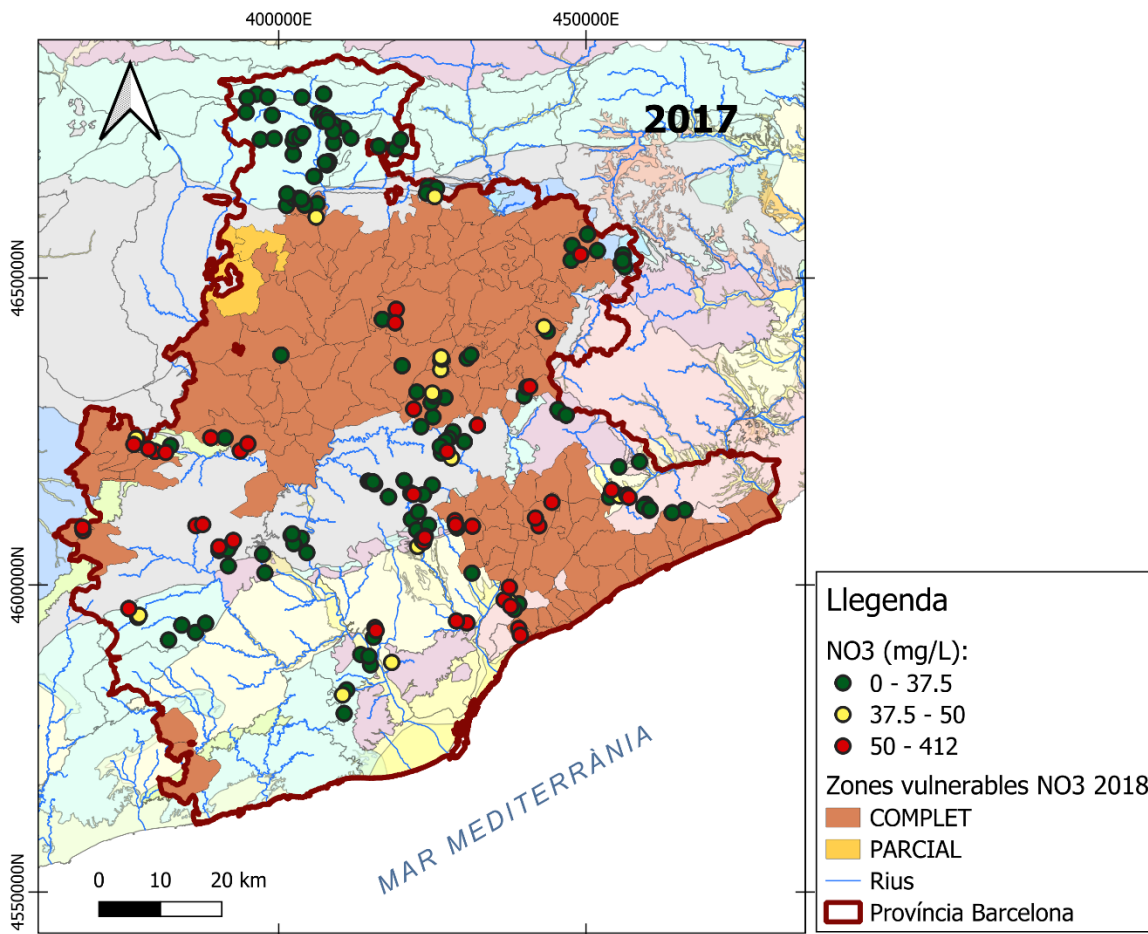


Figura I - 2: Mapes de distribució espacial de nitrats i zones vulnerables 2017.

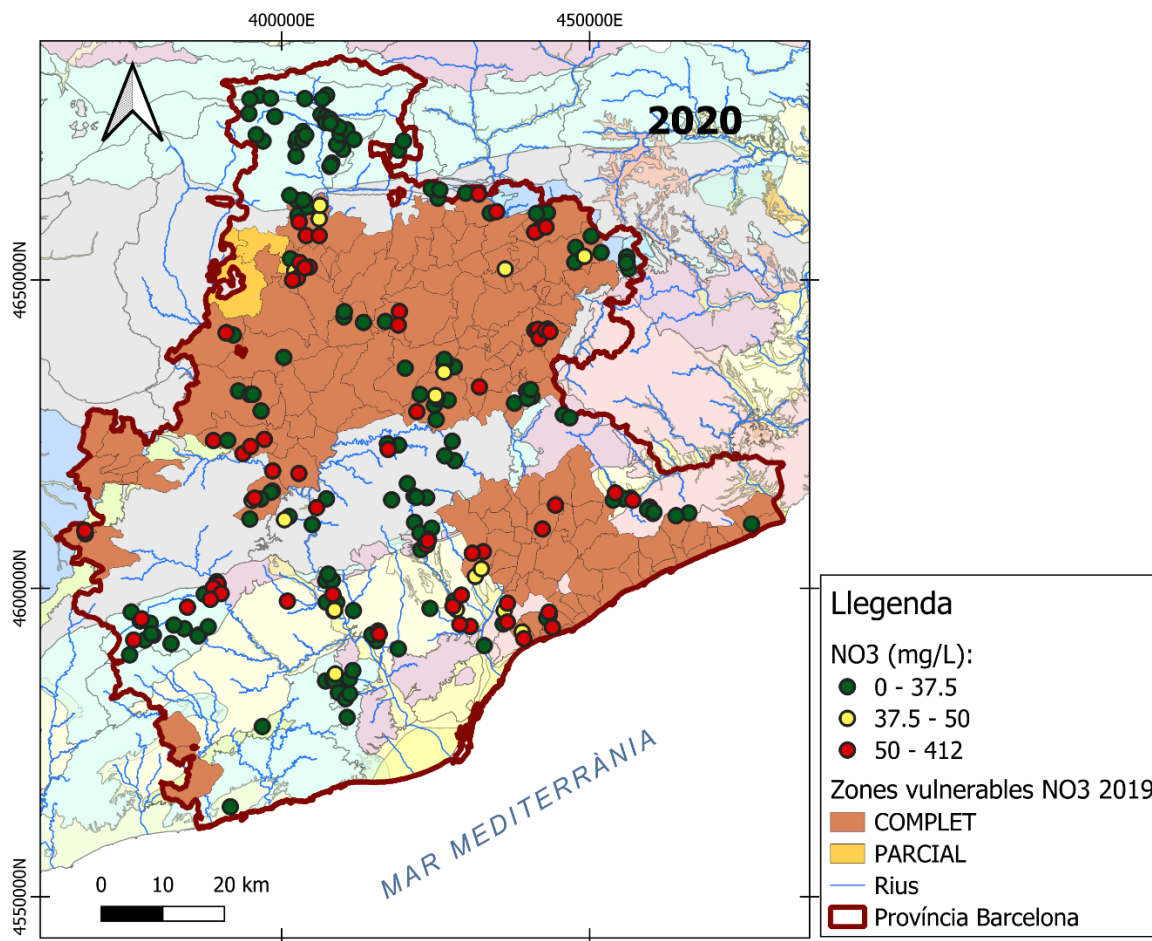


Figura I - 3: Mapes de distribució espacial de nitrats i zones vulnerables 2020.

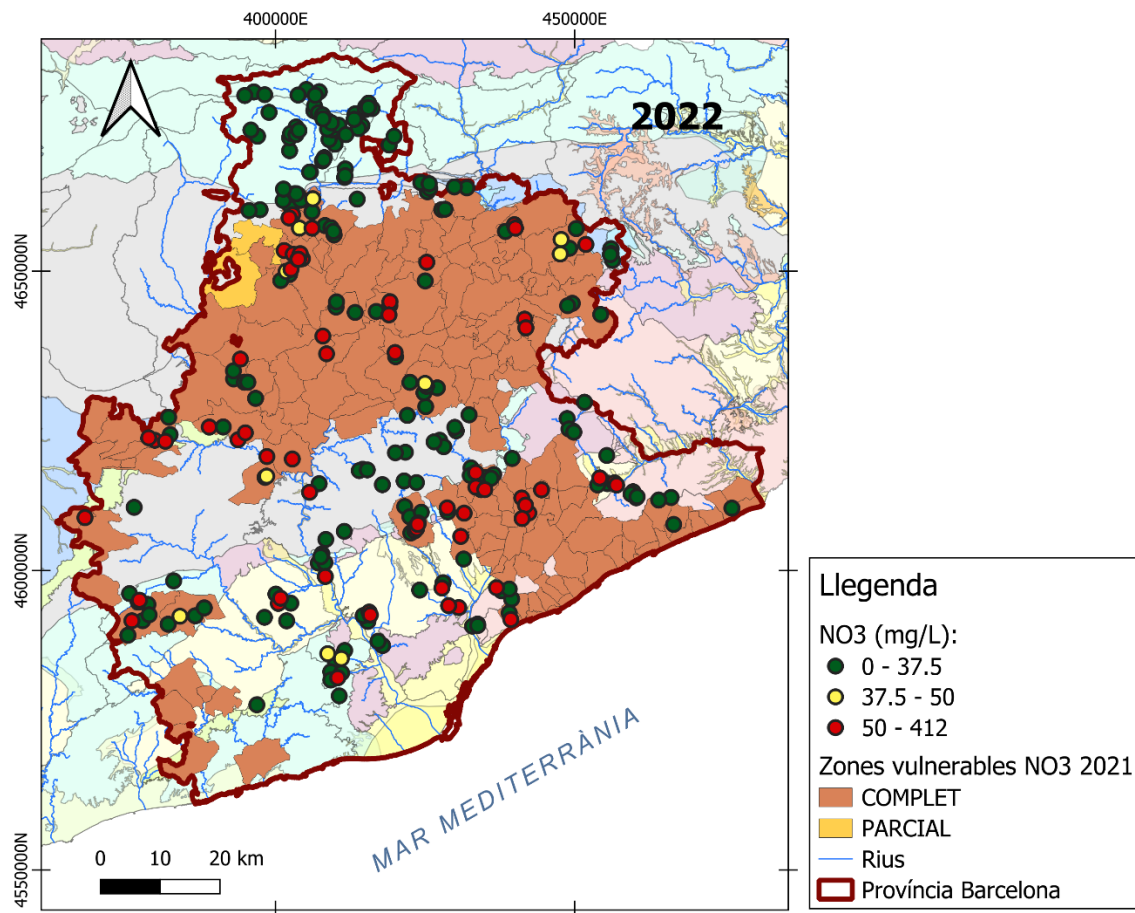


Figura I-4: Mapes de distribució espacial de nitrats i zones vulnerables 2022.

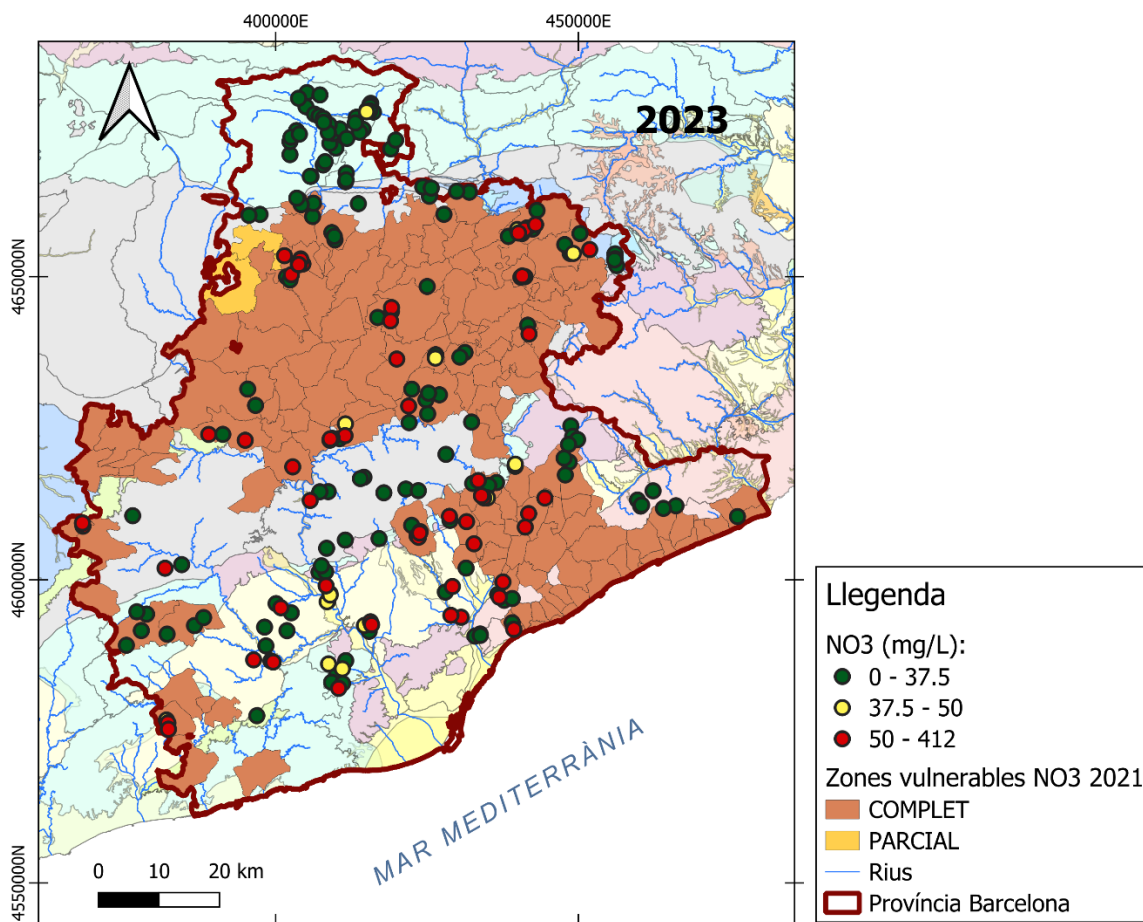


Figura I - 5: Mapes de distribució espacial de nitrats i zones vulnerables 2023.

Annex II

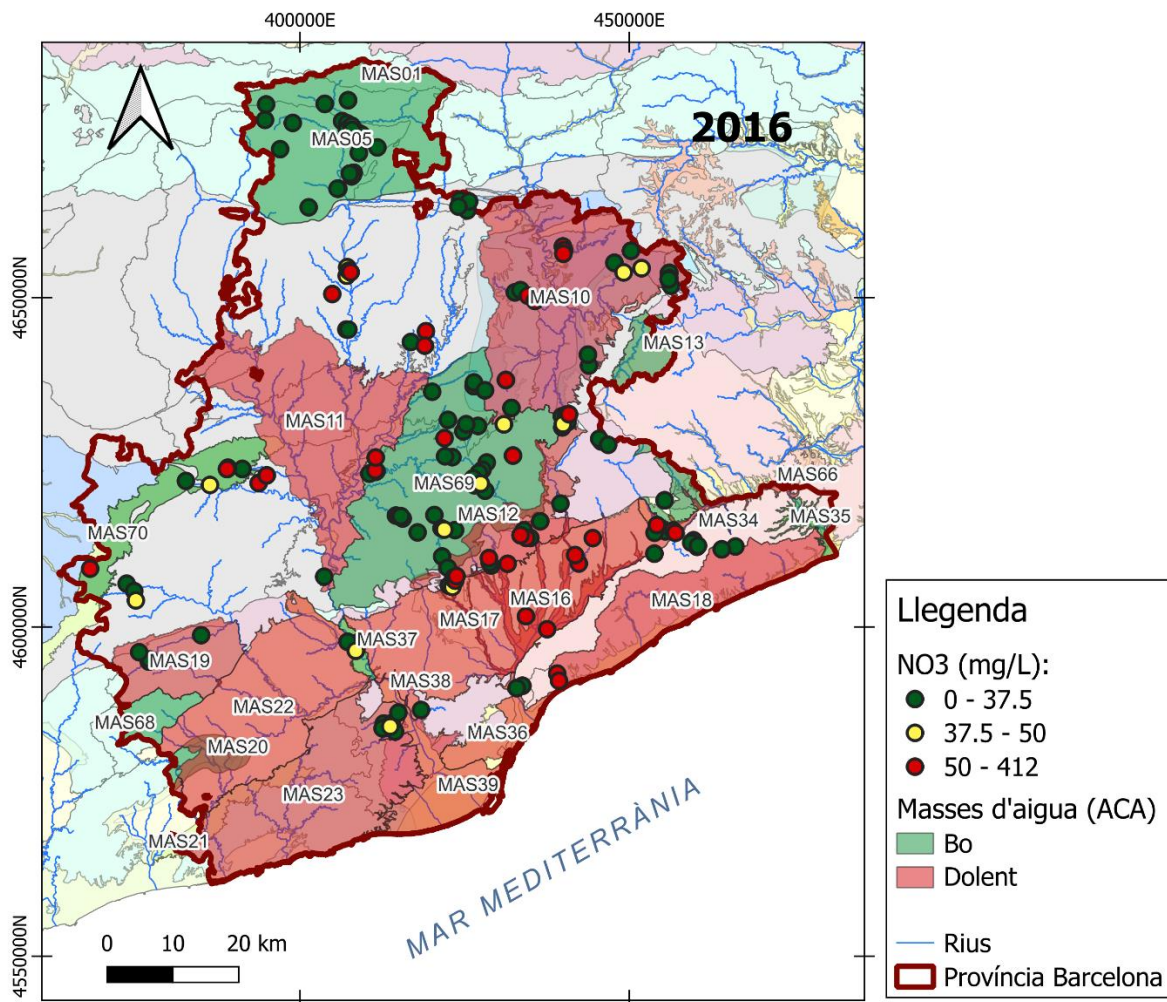


Figura II - 1: Mapes de distribució espacial de nitrats i estat químic de les masses d'aigua 2016.

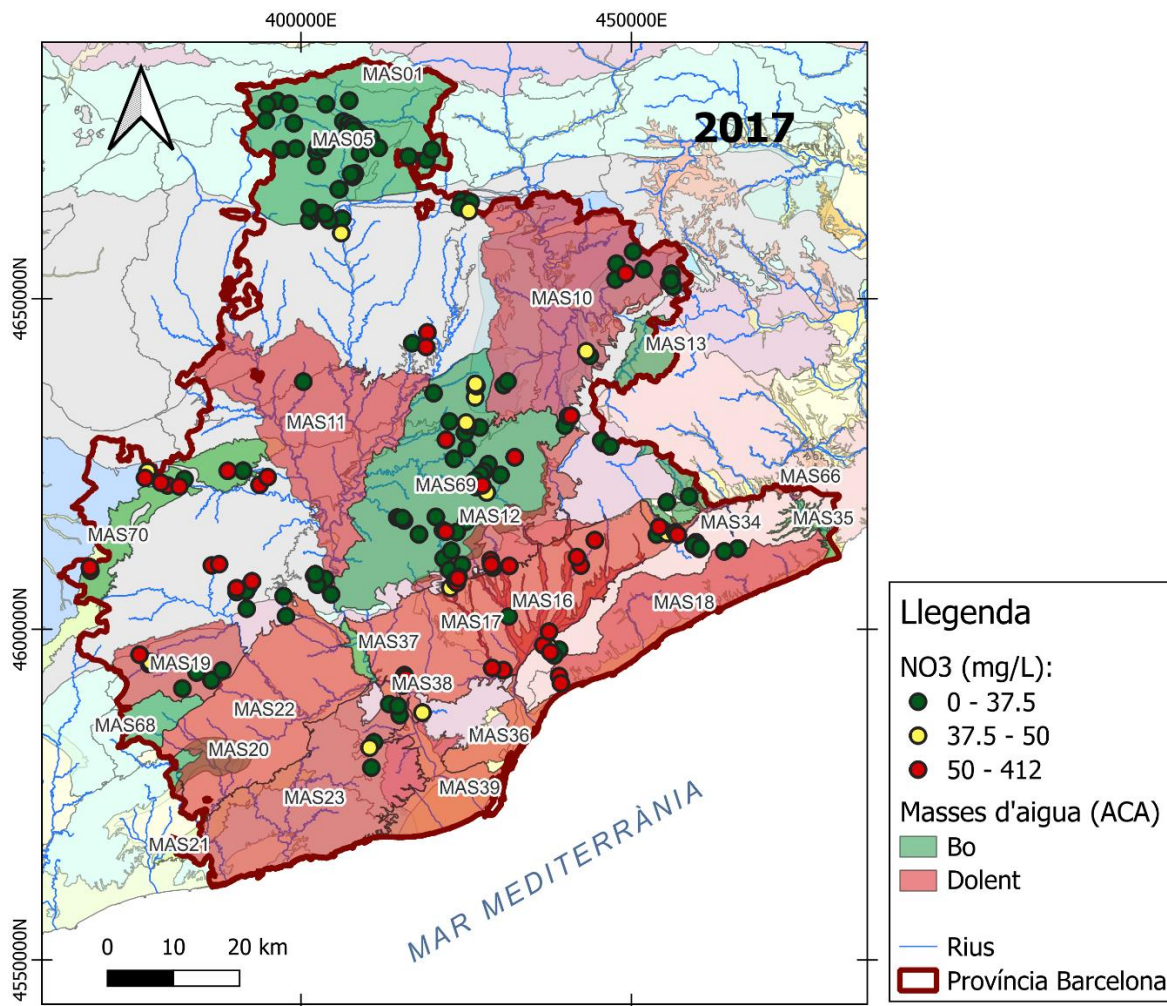


Figura II - 2: Mapes de distribució espacial de nitrats i estat químic de les masses d'aigua 2017.

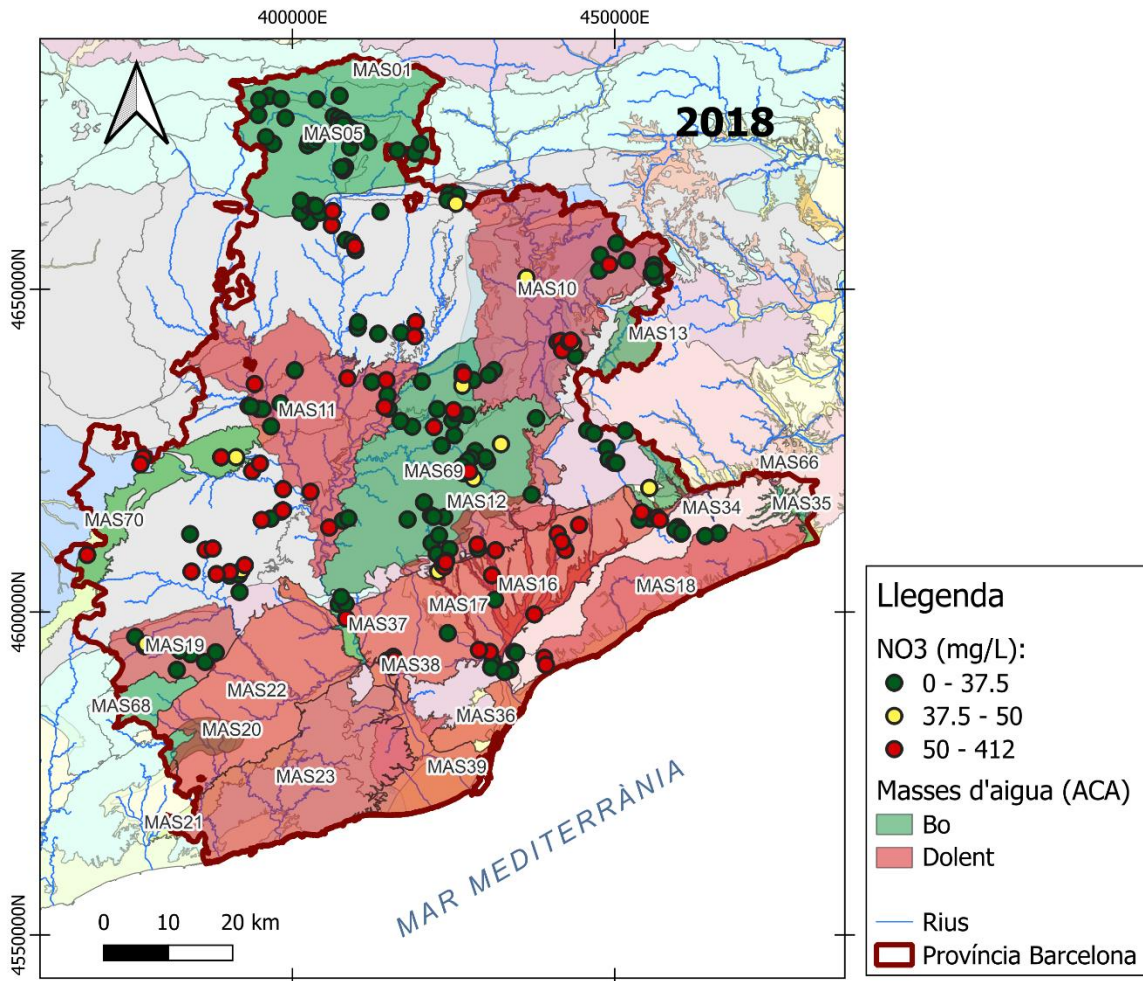


Figura II - 3: Mapes de distribució espacial de nitrats i estat químic de les masses d'aigua 2018.

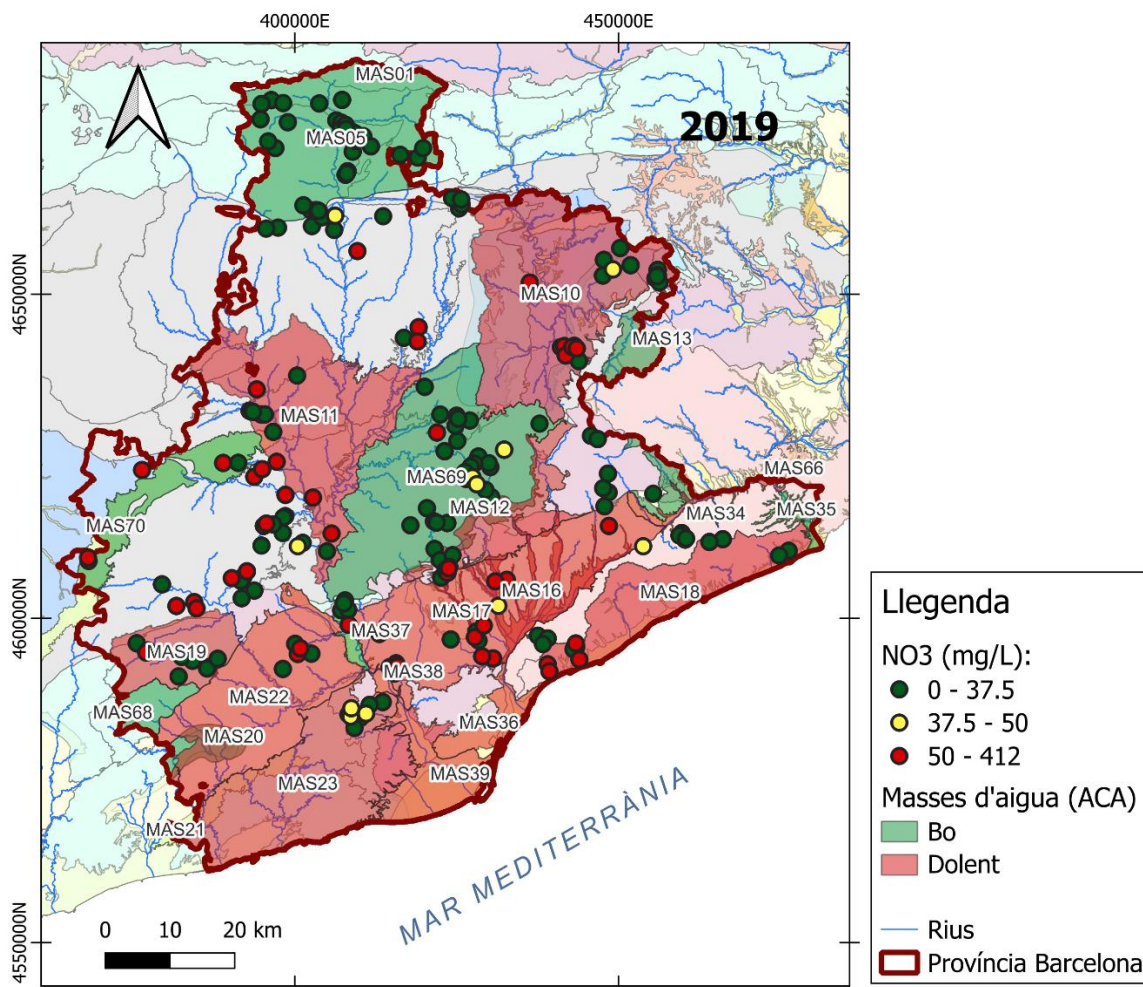


Figura II - 4: Mapes de distribució espacial de nitrats i estat químic de les masses d'aigua 2019.

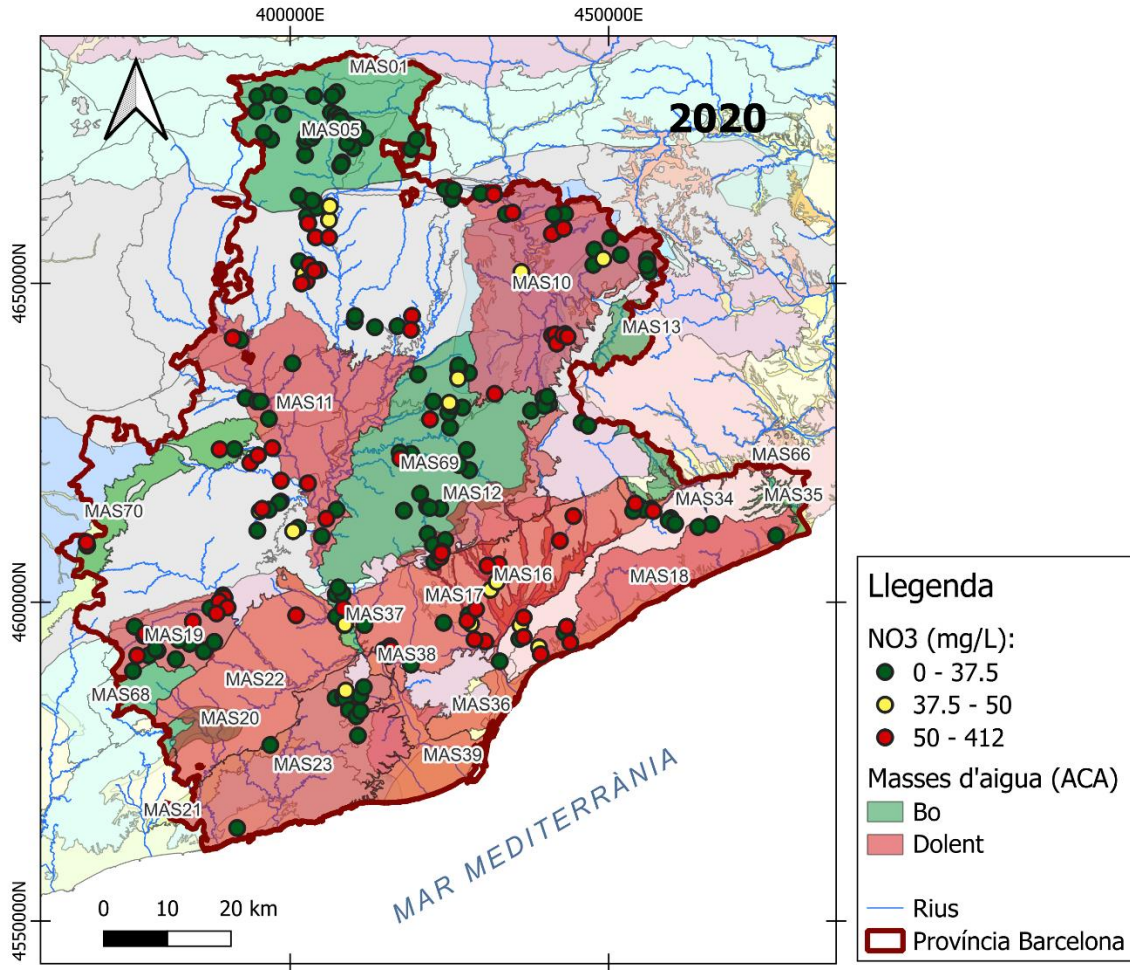


Figura II - 5: Mapes de distribució espacial de nitrats i estat químic de les masses d'aigua 2020.

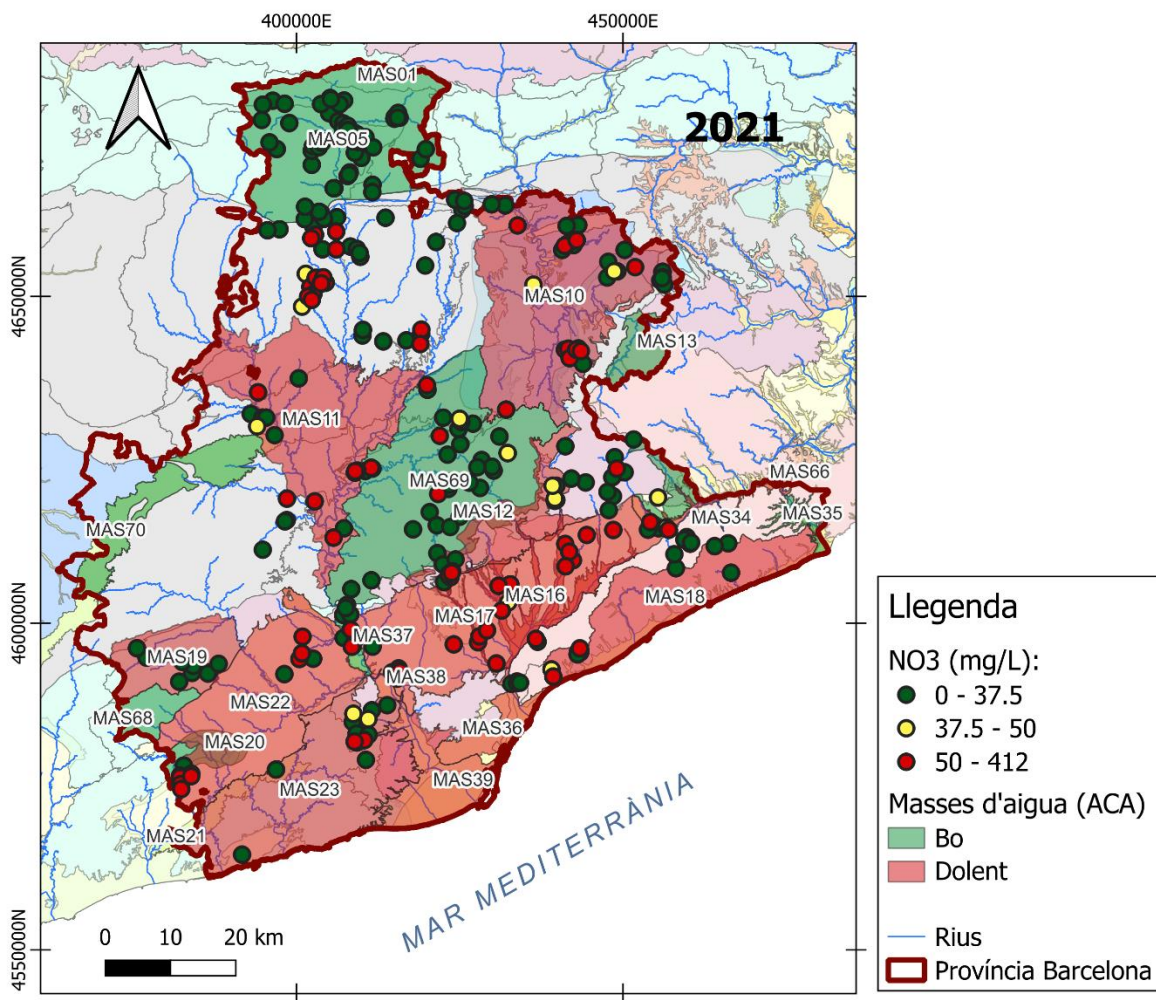


Figura II - 6: Mapes de distribució espacial de nitrats i estat químic de les masses d'aigua 2021.

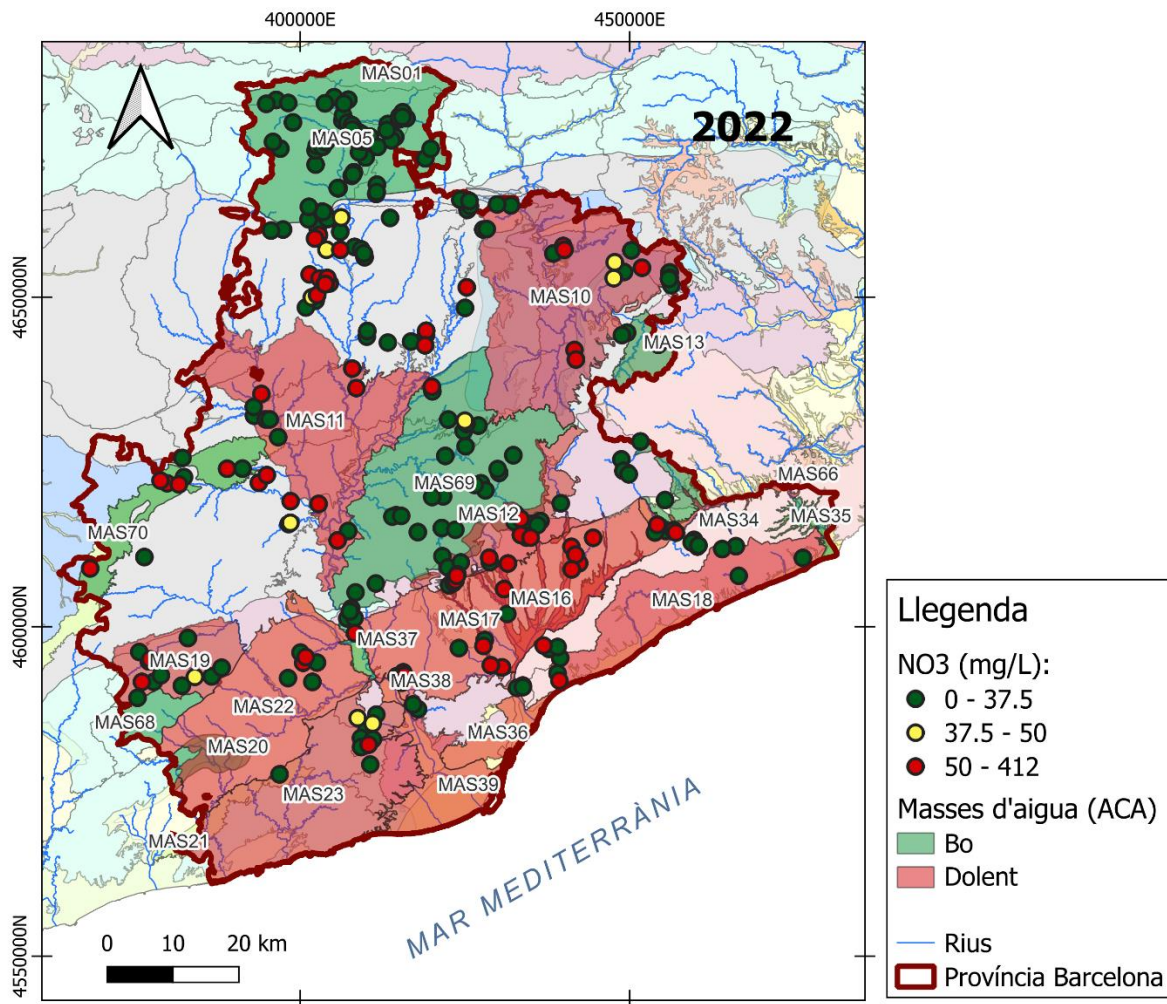


Figura II - 7: Mapes de distribució espacial de nitrats i estat químic de les masses d'aigua 2022.



**Diputació  
Barcelona**

**Àrea d'Acció Climàtica  
i Transició Energètica**

*Gerència de Serveis de Medi Ambient*

*Comte d'Urgell, 187  
Recinte de l'Escola Industrial  
08036 Barcelona*

*[www.diba.cat/mediambient](http://www.diba.cat/mediambient)  
@AccioClimaDiba*