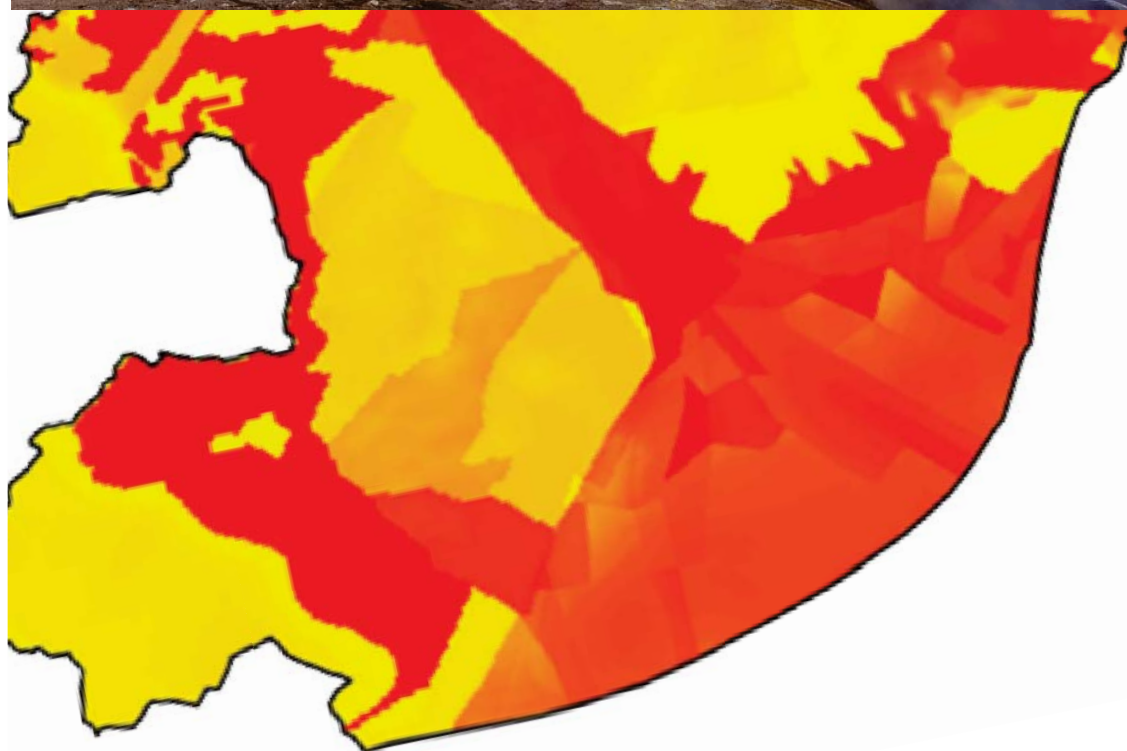


PSAMB 2014-2020

AVALUACIÓ I ZONIFICACIÓ DEL POTENCIAL GEOTÈRMIC DE L'AMB



Treball elaborat:

Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB

 **AMB** Medi Ambient

Direcció:

Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB - Barcelona Regional

 **AMB** Medi Ambient



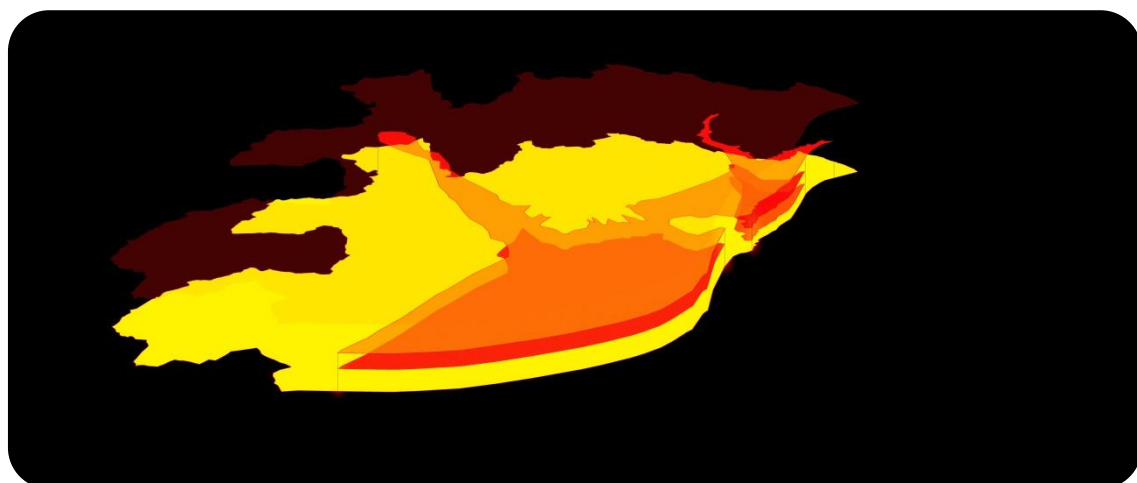
Redacció:

Grup d'Hidrologia Subterrània IDAE (CSIC) - UPC





EVALUACIÓ I ZONIFICACIÓ DEL POTENCIAL GEOTÈRMIC DE L'ÀREA METROPOLITANA DE BARCELONA



Novembre de 2013

Grup Hidrologia Subterrània IDÆA (CSIC)-UPC
C/ Jordi Girona, 18, 08034, BCN

Alejandro García
Enric Vázquez-Suñé
Maria del Mar Alcaraz
Alejandro Serrano



ÍNDEX

1.	INTRODUCCIÓ.	2
1.1	Motivació.	2
1.2	Objectius.	2
1.3	Metodologia	3
1.4	Antecedents.	3
1.5	Manifestacions geotèrmiques de l'àrea d'estudi.	4
1.6	Aprofitaments mitjançant sistemes d'Intercanvi de l'àrea d'estudi.	6
1.7	Aspectes generals relatius a la geotèrmia.	8
2.	RECOPILACIÓ DE LA INFORMACIÓ HIDROGEOLÒGICA I GEOTÈRMICA.	12
2.1	Geologia de la zona d'estudi.	12
2.2	Hidrogeologia de la zona d'estudi.	13
2.3	Parametrització hidràulica i tèrmica del terreny.	14
2.4	Distribució de temperatures ambientals i del subsòl.	20
3.	POTENCIAL GEOTÈRMIC DE L'ÀREA METROPOLITANA DE BARCELONA.	22
3.1	Aproximació al concepte de potencial geotèrmic.	22
3.2	Potencial geotèrmic del AMB per a sistemes oberts.	23
3.3	Potencial geotèrmic del AMB per a sistemes tancats.	27
4.	CONCLUSIONS.	32
5.	BIBLIOGRAFIA	34
	ANNEX 1. ANTECEDENTS HISTÒRICS	35
	ANNEX 2. PARÀMETRES TÈRMICS	41
	ANNEX 3. PARÀMETRES HIDRÀULICS	47
	ANNEX 4-5. PARÀMETRES GEOTÈRMICS	78
	ANNEX 6. MAPES DE POTENCIAL GEOTÈRMIC	115

1. INTRODUCCIÓ.

1.1. Motivació.

Les instal·lacions geotèrmiques per a la climatització d'edificis són una tecnologia àmpliament utilitzada en països del nostre entorn. Barcelona disposa d'importants recursos d'aigües subterrànies que permeten potenciar el seu possible aprofitament hídic i tèrmic mitjançant sistemes geotèrmics oberts i de baixa entalpia. Durant molts anys els aqüífers de Barcelona són o van ser explotats amb l'objectiu de d'aprofitar el seu potencial energètic mitjançant intercanviadors de calor.

Degut als grans avantatges ambientals i econòmics que presenta l'energia geotèrmica, és necessari aprofundir en el seu coneixement per tal d'ampliar el seu camp d'aplicacions. Per que aquest aprofitament sigui possible i estigui ben planificat, són necessaris estudis de caracterització hidrogeològica i, és en aquest sentit, que l'agència Barcelona Regional (BR) i el Grup d'Hidrologia Subterrània (UPC-CSIC) treballen conjuntament des de fa més de deu anys dins el marc on s'enquadra el present treball.

En aquest treball es pretén incidir sobre el coneixement del potencial hidràulic i tèrmic del terreny i dels aqüífers de l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB), incidint més en sistemes geotèrmics de baixa entalpia. Aquests sistemes poden utilitzar directament l'aigua subterrània o aigua amb refrigerants com a fluid intercanviador de calor per tal de dissipar l'energia generada durant el procés de climatització. Aquest procés es porta habitualment a terme mitjançant la perforació de pous d'extracció i d'injecció d'aigua al terreny.

1.2. Objectius.

L'objectiu general de l'estudi serà l'aprofundir en definir la capacitat (o potencial) de l'energia geotèrmica a l'AMB per tal d'ampliar el seu camp d'aplicacions.

Per a realitzar un bon estudi, serà necessari partir del coneixement previ del funcionament hidrogeològic de l'entorn de l'AMB. És per això que caldrà

- (1) avaluar la capacitat energètica de cada tipus de terreny present a la zona,
- (2) determinar les característiques hidrogeològiques específiques a cada sector,
- (3) determinar els possibles aprofitaments tèrmics del subsòl, creant una cartografia que defineixi i zonifiqui els diferents potencials geotèrmics i les seves limitacions.

Per últim, s'estudiaran els possibles impactes generats per aquesta explotació sobre els aqüífers de l'AMB. Els resultats es presentaran en forma de mapes perquè sigui fàcil la seva interpretació espacial. També s'inclourà l'estudi del potencial geotèrmic integrat als 100 primers metres de profunditat.

1.3. Metodologia

Per avaluar i assolir tots els objectius, es procedirà de la següent forma:

1. Avaluació dels antecedents a tota l'AMB, incloent les manifestacions geotèrmiques i aprofitaments actuals.
2. Estudi dels aspectes generals relatius a la geotèrmia que permetin avaluar el potencial geotèrmic en un terreny com el de l'AMB.
3. Recopilació d'informació hidrogeològica i geotèrmica. En aquest punt s'avaluarà la geologia i la hidrogeologia de l'AMB per a poder parametritzar la seva hidrologia i geotèrmia.
4. Serà necessària una recopilació de dades de temperatures, tant ambientals com de l'aigua subterrània.
5. Seguidament ja es podrà calcular el potencial geotèrmic de l'AMB. S'estudiarà el potencial tenint en compte dos sistemes d'aprofitament geotèrmic: sistemes oberts i sistemes tancats.
6. Finalment, es conclourà si a l'AMB és o no viable un aprofitament geotèrmic.

1.4. Antecedents.

Els estudis relacionats amb la hidrogeologia dels aqüífers a l'AMB han estat nombrosos des dels anys seixanta. La participació de l'Administració Hidràulica i de grups d'investigació, empreses i particulars ha estat clau en tot aquest període. Normalment els estudis s'han centrat en els aspectes més hidrogeològic, on s'han realitzat diversos models numèrics.

A partir de mitjans dels 90's es va observar una pujada progressiva dels nivells d'aigua subterrània a gran part de la ciutat de Barcelona. Aquest augment de nivells piezomètrics va estar provocat per canvis en el cicle hidrològic, produïts per variacions d'urbanització, usos del sòl i d'aigües (canvis de volums en els sistemes d'abastament i explotació de les aigües subterrànies). És aleshores quan el GHS UPC_CSIC va començar a avaluar i modelitzar gran part de la ciutat de Barcelona.

Al 2010 l'Institut Geogràfic de Catalunya va publicar l'Atlas de Recursos Geotèrmics de Catalunya, on es recopila tota la informació existent fins el 2010 sobre geotèrmia, aportant mapes de temperatura superficial reduïda, temperatura a 100 m de profunditat, salt tèrmic a 100 m de profunditat, gradient geotèrmic i flux de calor cap a la superfície. Tots aquests recursos proporcionen les primeres hipòtesis sobre el possible potencial geotèrmic superficial a les explotacions de baixa entalpia.

Paral·lelament, l'Agència Catalana de l'Aigua va presentar la guia "CLIMACA" per a la climatització d'edificis a partir de l'energia del sòl (baixa temperatura). La guia es pot interpretar com una primera aproximació tècnic-normativa per a futures regulacions destinades a garantir una explotació sostenible dels aqüífers des d'un punt de vista tèrmic.

Zones de potencial geotèrmic profund

- Potencialitat de jaciments granítics profunds en estructura "rift". Presència de manifestacions marginals de termalisme granític
- Potencialitat de jaciments profunds en estructura "rift". Presència de manifestacions de termalisme calcari, marginals o al centre de la fosa
- Potencialitat de jaciments granítics profunds en estructura de conca sedimentària. Presència de manifestacions i indicis de termalisme granític
- Potencialitat de jaciments profunds en estructura de conca sedimentària. Referències deficientment documentades d'aqüífers termals calcaris

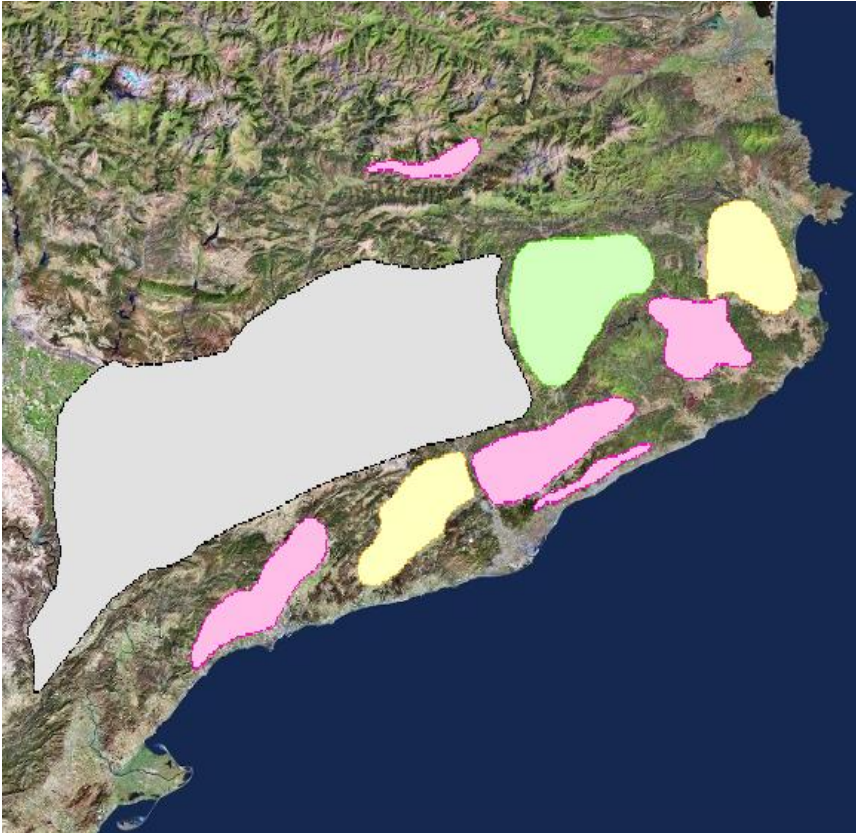


Fig. 1. Atles de Recursos Geotèrmics de Catalunya 2010 de l'Institut Geogràfic de Catalunya. Mapa de zones de potencial geotèrmic profund.

Ja fora de l'àmbit català, la ciutat de Saragossa constitueix un nucli molt important d'explotació d'energia geotèrmica de baixa entalpia a Espanya, tant per la seva quantitat d'explotacions (amb més de 150 sistemes geotèrmics) com per la seva potència instal·lada. A través dels seus tècnics a l'oficina a Saragossa, L'IGME es troba realitzant un estudi orientat a la caracterització de l'estat energètic de l'aqüífer al·luvial de l'Ebre a la mateixa ciutat. Els seus objectius principals són avaluar els possibles impactes derivats dels processos de refrigeració a l'aqüífer i desenvolupar una proposta de normatives reguladores que ajudin a l'administració.

A l'Annex 1 es recopilen amb més detall tots els antecedents històrics en aquest tema.

1.5. Manifestacions geotèrmiques de l'àrea d'estudi.

A l'entorn de Barcelona són conegudes diverses anomalies geotèrmiques:

- Una és la que es va detectar durant les obres de perforació del túnel de la línia L9 de Metro, al voltant de l'estació "Fondo", a Santa Coloma de Gramenet. S'atribueix l'anomalia geotèrmica a l'ascens d'aigua profunda a favor d'algun accident tectònic, de manera anàloga a altres jaciments

termals catalans. En aquests cas el subsòl se'n caracteritza per una capa superior de sediments Quaternaris, de 15-20 m de gruix, que es va dipositar sobre materials granítics fracturats que tenen una meteorització decreixent amb la profunditat, dins dels quals hi ha intercalats dics de pòrfirs. Els materials granítics formen blocs per l'aparició de famílies de fractures que actuen com a vies conductives de l'aigua subterrània, ja que la roca sana, no alterada, es caracteritza per una molt baixa permeabilitat. Aquest sistema presenta una gran heterogeneïtat, que es tradueix en productivitats molt diferents en perforacions realitzades a escassa distància entre sí. Les aigües subterrànies calentes (anomalia tèrmica) es van detectar en torn a l'estació "Fondo" i estarien a una cota aproximada de 60-50 m sota el nivell del terreny. La temperatura de l'aigua se situà entre 40 i 55 °C, depenent del punt.

- D'altres casos corresponen a la presència d'anomalies geotèrmiques al llarg dels marges de la depressió del Vallès, que es manifesten en superfície com a surgències d'aigua calenta. Aquestes surgències han estat identificades des de temps immemorials arran de la Falla del Vallès-Penedès (marge NW de la fossa) on hi ha les fonts d'aigües termals de Caldes de Montbui (70°C), La Garriga (60°C) i Samalús (80°C). En canvi en el marge SE de la fossa, la seva identificació ha estat molt recent i circumscrita a l'anomenat Nucli Geotèrmic de Sant Cugat i a les rodalies de Rubí i El Papiol on s'han observat surgències d'aigua calenta en el sondatge de Rubí (S-11: 55°C) i també a les galeries de la Mina Berta.
- En el sector del Vallès s'observa que el flux està condicionat per la recàrrega sobre els relleus formats per terrenys miocens i paleozoics. La descàrrega es produeix cap a les fons de vall i fondalades, principalment cap als materials al·luvials quaternaris i cap els cursos fluvials. En les zones on les línies de flux són descendents (recàrrega més activa) els valors de temperatura de les aigües tendeixen a baixar, mentre que en les zones de flux ascendent és el contrari. Així doncs, és en les zones de major descàrrega on es troben els gradients tèrmics més alts. Les falles actuen com a barrera en el cas de permeabilitats baixes, o com a via preferent en el cas que siguin altes. El sentit de flux dins la falla depèn d'on queda ubicada respecte a les zones de recàrrega o descàrrega. Així en el cas de les falles permeables que s'ubiquen en zones de recàrrega, actuaran com a via d'entrada d'aigües superficials, el que produirà una clara disminució del gradient tèrmic. Si la falla s'ubica en les zones de descàrrega passarà just el contrari, la falla actua també com a via preferent i fa pujar molt significativament el gradient tèrmic.

A la resta de l'AMB no es coneixen anomalies geotèrmiques. Les estructures (falles) presents a Santa Coloma relacionades amb l'aparició de l'aigua calenta no tenen continuïtat a Barcelona. Hi ha determinats indrets on les estructures geològiques són molt semblants i on el potencial hidràulic i tèrmic, a priori, podrien semblar-se. Aquests indrets no s'han estudiat des d'un punt de vista geotèrmic. Per altra banda, l'estructura geològica del costat barceloní de Collserola no s'hi assembla al de Sant Cugat, ja que,

tot hi haver-hi falles distensives d'una edat i orientació similar, no presenten un salt tant important.

Al no haver cap sondeig d'investigació profund en tot l'àmbit de la ciutat de Barcelona no es coneixen quins són els gradients geotèrmics ni quines són les estructures principals que condicionen el flux subterrani a mitges o grans fondàries.

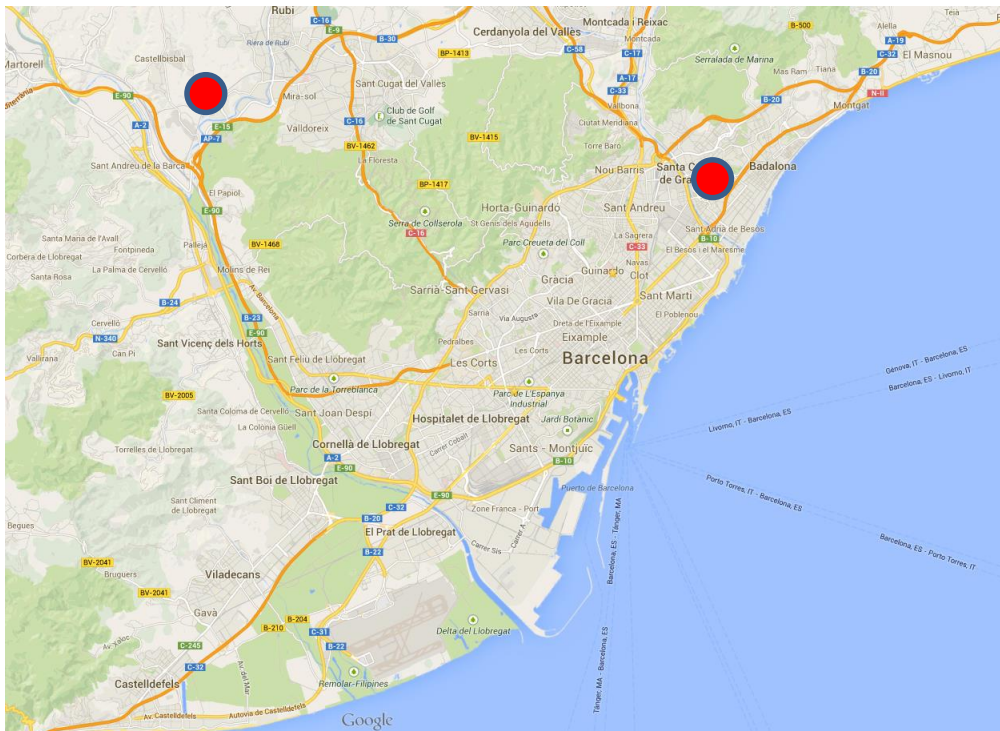


Fig. 2. Manifestacions geotèrmiques als voltants de l'Àrea Metropolitana de Barcelona.

1.6. Aprofitaments mitjançant sistemes d'intercanvi de l'àrea d'estudi.

Actualment les administracions responsables de regular les explotacions geotèrmiques declaren el fet de no tenir concessions dins de l'AMB ni a l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) ni a la Direcció General d'Energia, Mines i Seguretat Industrial de la Generalitat de Catalunya.

Hi ha diversos projectes que mai han arribat a sol·licitar formalment la concessió de l'explotació. Per exemple, Aigües del Prat té un projecte d'aprofitament en tràmit, el primer, per aprofitar oficialment els recursos geotèrmics. Es tracta d'un aprofitament de captació i d'injecció a l'aqüífer superficial al Prat de Llobregat. No s'ha disposat de cap tipus d'assaig tèrmic. També hi ha un estudi d'aprofitament geotèrmic per a la climatització del Banc de Sang de Catalunya. L'ACA va contemplar aquesta zona com una zona d'experimentació-investigació (Existeix un informe). Finalment el Banc de Sang de Catalunya va decidir no climatitzar per geotèrmia per motius de baix rendiment.

També hi ha un aprofitament geotèrmic a la Universitat Pompeu Fabra, però només és de captació (no hi ha injecció) i pel que s'acaba fent un abocament d'aigua calenta al clavegueram. Aquest fet no sembla a priori un problema perquè interessa que el

nivell d'aigua freàtica no excedeixi la llosa de l'edifici. Per això sembla que el drenatge és la veritable raó del bombament i l'aprofitament de climatització de l'edifici. També es coneix de proves similars fetes a l'hotel Hesperia de l'Hospitalet tot i que no s'han obtingut els detalls.

Recentment, la patronal PIMEC va convocar la primera reunió del Clúster de Geotèrmia que tenia per objectiu crear espais per al coneixement de totes les empreses, organismes i institucions del sector. La creació d'un Clúster pot donar com a resultat un inventari dels nombrosos aprofitaments en sistema tancat que hi ha i dels que no es té informació ja que no existeix una normativa clara que controli aquest tipus d'explotació energètica. Des de l'ACA s'estima que pot haver-hi més de 300 instal·lacions de sistemes tancats (a la xarxa es troben desenes de projectes realitzats en l'àmbit de l'AMB, veure taula 1 en els annexos).

L'explotació geotèrmica que es té constància de ser de majors dimensions és impulsada per la Fundació Privada de l'Hospital de la Santa Creu i Sant Pau. Té com objectiu reformar els pavellons del recinte de l'Hospital de Santa Creu i de Sant Pau, el conjunt modernista més important d'Europa. Aquesta reforma contempla la instal·lació d'un sistema de geotèrmia de baixa entalpia per alimentar els edificis del recinte modernista amb sistemes independents per a cada edifici. Es tracta d'una instal·lació de 2.608 kW, per als que s'estan construint 33.436 m de perforació repartits en 340 pous en una retícula amb una equidistància d'uns 7 m. No hi ha cap garantia de la futura explotació al no haver estudis de disseny previs.

L'Atlas Geotèrmic de Catalunya mostra de forma qualitativa les instal·lacions de climatització geotèrmica inventariades per l'Institut Català de l'Energia (ICAEN) fins al 2010. S'ha sol·licitat a l'ICAEN un inventari de les explotacions en funcionament, tot i que aquest es troba en fase d'elaboració i, per tant, no està disponible.

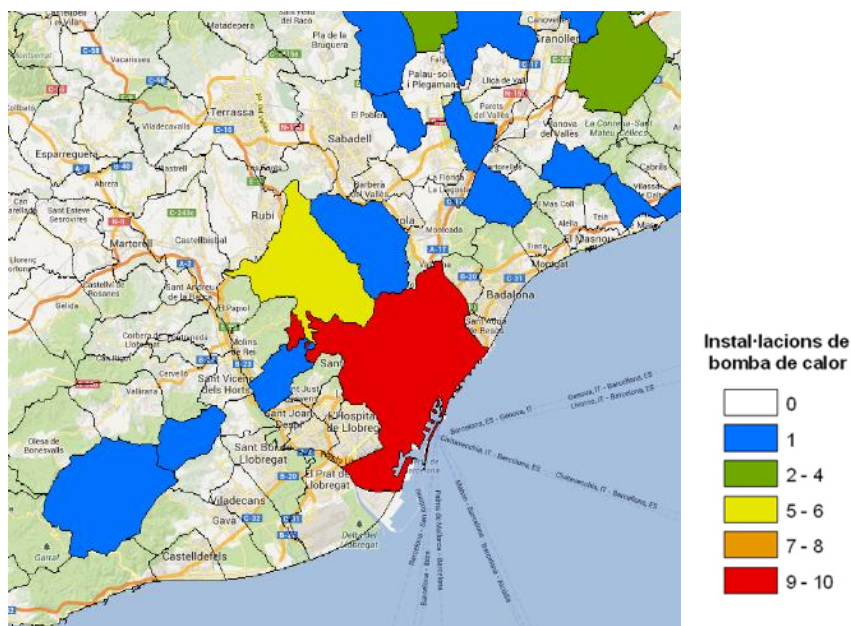


Fig. 3. Atlas de Recursos Geotèrmics de Catalunya 2010 de l'Institut Geogràfic de Catalunya. Mapa d'instal·lacions de bombes de calor geotèrmiques a l'entorn de l'AMB.

1.7. Aspectes generals relatius a la geotèrmia.

Aquest apartat recull els aspectes més generals de la geotèrmia per tal d'apropar els conceptes principals a no experts. És per aquest motiu, que s'ha subdividit en dues parts: una més teòrica i de conceptes i una altra de més matemàtica.

1.7.1 Teoria de la geotèrmia

El potencial geotèrmic d'un territori va estretament lligat a les seves propietats hidrogeològiques. Les variables principals per definir el possible aprofitament energètic són la geologia, temperatura del sòl, humitat, mida i forma de les partícules que conformen el subsòl i els coeficients de transferència de calor.

Quan es parla de potencial geotèrmic, normalment es relaciona amb el concepte de "Coeficient of performance" o COP, que mesura el rati de calor subministrat o extret per l'energia consumida, sent una forma clara i senzilla per mesurar el rendiment dels sistemes geotèrmics. Per exemple, un valor de COP igual a 2 implica la creació o extracció de 2 unitats de calor per cada unitat de energia o, altrament dit, un consum d'1kWh crea/treu 2 kWh de calor.

Per tant, per avaluar el potencial geotèrmic a l'AMB és necessari conèixer amb precisió la geometria i propietats geològiques dels materials del subsòl, així com el moviment de l'aigua a través del medi. També és necessari conèixer els mètodes d'explotació per aquest potencial geotèrmic i, al estar tots els requisits dins l'àmbit de la ciència de la hidrogeologia, es requereix una caracterització hidrogeològica-geotèrmica dels materials per conèixer els principis físics que governen el flux de calor en el medi porós.

Actualment existeixen dos sistemes diferenciats que permeten emprar l'energia geotèrmica per a la refrigeració d'edificis: **(1) Sistemes tancats** (Fig. 4), on es fa circular aigua a través de canonades de PVC o polietilè integrades en pous o pilots de la cimentació de l'edifici; i **(2) Sistemes oberts** (Fig. 5), on l'aigua és directament injectada i extreta del terreny (aqüífers) per mitjà de pous. El primer sistema només intercanvia l'energia (o calor) entre l'intercanviador i el terreny, mentre que el segon sistema (obert) intercanvien aigua i calor. Les dos figures següents pretenen il·lustrar esquemàticament ambdós sistemes.

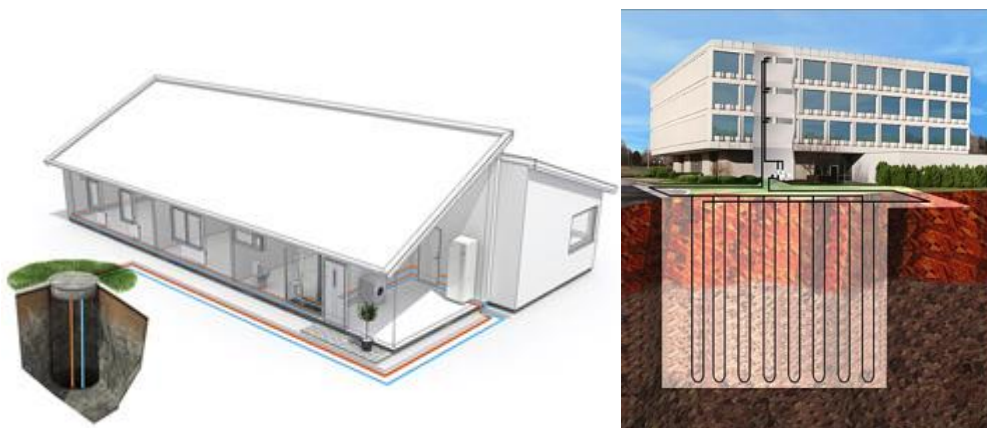


Fig. 4. Sistemes tancats (www.luxtherm.com i www.luxtherm.com).

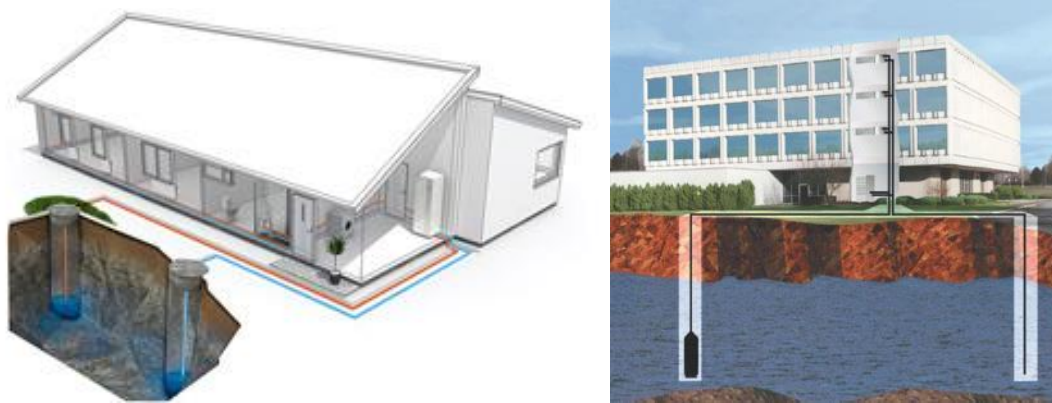


Fig. 5. Sistemes oberts (www.luxtherm.com i www.luxtherm.com).

Seguidament es defineixen els paràmetres físics principals per entendre la geotèrmia, que són la temperatura (com a variable d'estat), la capacitat calorífica, la conductivitat tèrmica, la densitat i la porositat del terreny.

La **capacitat de calor** es defineix com la quantitat de calor que pot ser transferida des de o a un objecte quan la seva temperatura varia en un grau. És una característica específica de cada cos o substància i s'anomena calor específica quan es refereix a una unitat de quantitat com de la massa o el Mol.

La **conductivitat tèrmica** és una propietat dels materials que valora la capacitat de conduir la calor a través d'ells. El seu valor és gran en metalls i en general en cossos continus; i és baixa en els gasos (tot i que pot fer-se mitjançant els electrons lliures) i en materials iònics i covalents; és molt baixa en alguns materials especials com la fibra de vidre. Aquests materials tan poc conductors reben el nom de aïllants tèrmics.

Referent a les **densitats d'un fluid qualsevol en la transferència de calor**: El fluid quan cedeix calor seves molècules es desacceleren per la qual cosa la seva temperatura disminueix i la seva densitat augmenta sent atreta les seves molècules per la gravetat de la terra. Quan el fluid absorbeix calor seves molècules s'acceleren per la qual cosa la seva temperatura augmenta i la seva densitat disminueix fent-lo més lleuger.

La **porositat** és la proporció d'espais buits en el volum total d'un material i normalment s'expressa com a percentatge, és a dir, s'obté fent el quocient entre el volum d'espais buits i el volum total de la mostra multiplicat per cent. En el cas tèrmic, la porositat pot augmentar o disminuir la capacitat de calor del terreny en funció si el porus contenen (augmenta) o no (disminueix) aigua.

1.7.2 Formulació matemàtica de la geotèrmia

Des d'un punt de vista més matemàtic, tots dos sistemes es basen en processos de transferència de calor i, per tant, es pot tractar com a un fenomen de transport d'energia. Els sumands a la dreta de la igualtat (Equació 1) representen la variació d'energia emmagatzemada al volum considerat a través del temps. Dels sumands de l'esquerra, el primer considera la variació d'energia deguda a la **dispersió termo-**

mecànica (fenomen pel qual un conjunt de partícules que es mou en una direcció determinada rebota successivament amb les partícules del medi pel qual es mou fins a perdre una direcció privilegiada de moviment), el segon fa referència a la **conducció** (mecanisme de transferència d'energia tèrmica entre dos sistemes basat en el contacte directe de les seues partícules que tendeixen a igualar la seva temperatura o estat d'excitació tèrmica.), el tercer al transport d'energia per **advecció** (procés de transport d'una propietat atmosfèrica, com ara la calor o la humitat) i l'últim té en compte possibles punts font de calor.

$$\rho'c' \frac{\partial T}{\partial t} = \overbrace{\nabla(\alpha \rho_w c_w \mathbf{q} \nabla T)}^{\text{Dispersió}} + \overbrace{\lambda_e \nabla T}^{\text{Conducció}} - \overbrace{\rho_w c_w \mathbf{q} \nabla T}^{\text{Advecció}} + \gamma \tag{1}$$

On	$\rho'c'$ [L2t-2T]	és el calor específic de l'aqüífer;
	T [T]	és la temperatura;
	t [t]	és el temps;
	α [m]	és el tensor la dispersivitat termomecànica;
	$\rho_w c_w$	és la capacitat calorífica volumètrica de l'aigua;
	\mathbf{q} [Lt-1]	és la velocitat de Darcy;
	λ_e [MLt-3T-1]	és la conductivitat tèrmica equivalent de l'aqüífer
	γ [ML2T-1]	és el terme font.

Els termes $\rho'c'$ i λ_e es poden avaluar segons les equacions 2 i 3:

$$\rho'c' = \rho_w c_w \phi + \rho_s c_s (1 - \phi) \tag{2}$$

$$\lambda_e = \lambda_w \phi + \lambda_s (1 - \phi) \tag{3}$$

On el subíndex "w" fa referència a l'aigua i la "s" al sòlid.

Al tractar-se d'un medi porós i saturat d'aigua, la velocitat Darcy de l'Equació 1 juga un paper decisiu. Necessitem resoldre primer l'equació de flux d'aigua del sistema per a poder conèixer la velocitat de l'aigua en tot moment.

Resumint una mica, la dispersió termo-mecànica té en compte l'energia transportada en el moviment de l'aigua i el fenomen d'advecció té en compte l'energia transportada pel moviment de l'aigua davant un gradient de temperatura existent. Menyspreant els efectes dels canvis de densitat, l'equació de flux d'aigua en un medi porós és la següent:

$$S_s \frac{\partial h}{\partial t} = \nabla \mathbf{K} \nabla h + Q \tag{4}$$

On	\mathbf{K} [Lt ⁻¹]	és el tensor de permeabilitat hidràulica;
	$h(x, y, z)$ [L]	és la alçada piezomètrica per a qualsevol punt de l'espai;
	S_s [L ⁻¹]	és el coeficient d'emmagatzemament específic;
	t [t]	és el temps
	Q	és el terme font.

Així doncs, l'equació de transport transitori de calor en un aqüífer es pot expressar de la següent forma (equació 5):

$$\phi \left(1 + \frac{(1-\phi) \rho_s c_s}{\rho_w c_w} \right) \frac{\partial T}{\partial t} = -q_x \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\left(\frac{\lambda_e}{\rho_w c_w} + \alpha_L |\phi| \right) \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\left(\frac{\lambda_e}{\rho_w c_w} + \alpha_T |\phi| \right) \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\left(\frac{\lambda_e}{\rho_w c_w} + \alpha_T |\phi| \right) \frac{\partial c}{\partial z} \right) \quad (5)$$

- On ϕ : Porositat efectiva;
 R_T : Retard tèrmic;
 ρ_s : Pes específic del sòlid (Pes del sòlid/Volum de sòlids i porus);
 $\rho_s \cdot c_s$: Capacitat calorífica volumètrica del sòlid [$M \cdot L^{-1} \cdot T^{-1} \cdot T^{-2}$, usualment en $KJ \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$];
 $\rho_w \cdot c_w$: Capacitat calorífica volumètrica de l'aigua ($4186 \text{ KJ} \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$ a $20^\circ C$);
 T : Temperatura [T];
 q_x : Velocitat de Darcy en la direcció predominant x [$L \cdot T^{-1}$];
 λ_e : Conductivitat tèrmica equivalent de l'aqüífer [$M \cdot L \cdot T^{-3} \cdot T^{-1}$, usualment $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$];
 α : Dispersivitat [L]

De Marsily (1986) indica que els valors de dispersivitat de transport de calor són de magnitud similar als de transport de solut. Per aquest motiu, és possible modelitzar el flux de calor com si fos modelització de transport de solut formulant les següents conversions (Taula 1):

Transport de solut	Transport de calor
ϕ	ϕ
R	$\left(1 + \frac{(1-\phi) \rho_s c_s}{\rho_w c_w} \right)$
D_m	$\frac{\lambda_e}{\phi \cdot \rho_w c_w}$
α_L, α_T	α_L', α_T'

Taula 1. Conversions per a la modelització de transport de calor com a transport de solut.

2. RECOPIACIÓ DE LA INFORMACIÓ HIDROGEOLÒGICA I GEOTÈRMICA.

2.1. Geologia de la zona de estudi.

L'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB) ocupa la Serra de Collserola i la línia de costa del Mar Mediterrani. Cap al sud-oest i nord-est es troben respectivament els rius Llobregat i Besòs, els quals configuren la xarxa hidrogràfica de la zona d'estudi.

Al subsòl de l'entorn de l'AMB existeixen diferents aqüífers detrítics sobre materials paleozoics. Aquests últims són materials de baixa permeabilitat que podrien arribar a considerar-se com un substrat "impermeable". Aquest substrat està compost per intrusions granítiques i les seves corresponents roques encaixants: pissarres i altres litologies derivades de l'aurèola de metamorfisme de contacte. Els aqüífers detrítics corresponen a sistemes deltaics generats pels rius Llobregat i Besòs durant el Quaternari, a més de ventalls al·luvials de la Serra de Collserola.

El ventall d'estudis geològics i hidrogeològics a l'AMB és ampli, especialment a l'entorn de la ciutat de Barcelona. D'aquests estudis s'identifiquen diverses unitats de materials amb comportament hidrogeològic diferent. En aquest treball s'ha seguit la mateixa classificació denominant consegüentment les següents capes o aqüífers principals. Donat que les explotacions geotèrmiques de baixa entalpia rarament superen els 100 m de profunditat (pels alts costos de perforació), aquesta profunditat conformarà el límit de l'estudi, pel que s'avaluarà el potencial geotèrmic de l'AMB en els primers 100m de profunditat.

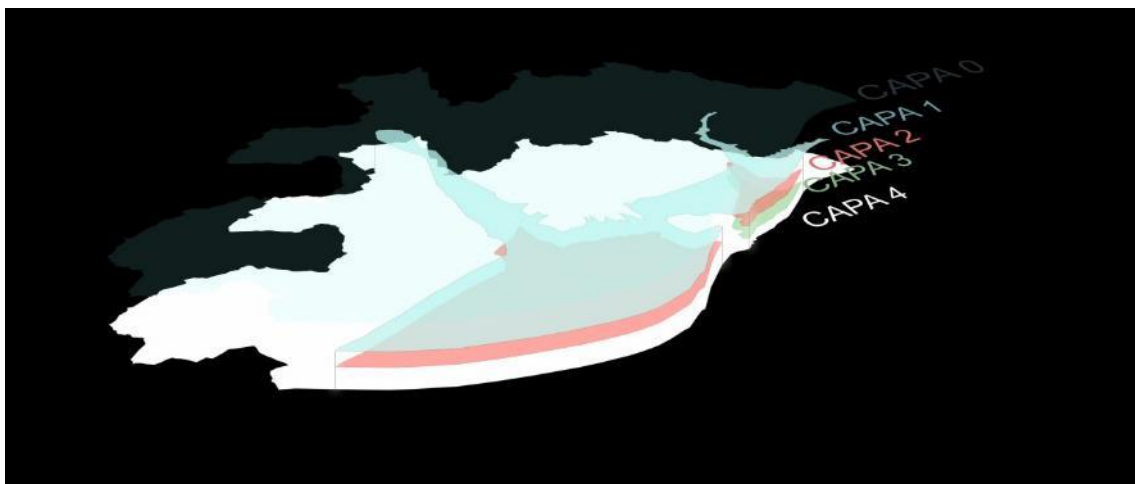


Fig. 6. Distribució espacial de les principals unitats hidrogeològiques i estratigràfiques de l'AMB.

A continuació es descriuen les capes que s'han tingut en compte (Fig. 6):

- **Capa 0:** Aquesta capa representa els materials que no contenen aigua. El que comunament es denomina com a zona no saturada. És la capa superior i representa la topografia actual de la zona d'estudi.
- **Capa 1:** Consisteix en materials granulars gruixuts no consolidats que es troben saturats en aigua i que permeten transmetre-la en quantitats rellevants

(materials aquífers). El nivell piezomètric és lliure i el gruix saturat depèn del nivell. Són els materials fluvials-deltaics dels rius Llobregat i Besòs. A més considera els ventalls al·luvials rellevants de la zona d'estudi.

- **Capa 1_2:** Es tracta d'una capa de materials granulars fins (llims i argiles) que no són capaços de transmetre bé l'aigua (aquítards) i, per tant, l'aigua no circula de manera significativa per aquesta capa. Es tracta de falques de llims i argiles, fàcies distals dels deltes dels rius Llobregat i Besòs.
- **Capa 2:** Aquesta capa és molt semblant a la capa 1, fins i tot té més capacitat aquífera. A diferència de la capa 1, aquest aquífer és confinat (L'espessor saturat sempre és el mateix). Aquesta capa només s'utilitza a la zona dels deltes anteriorment esmentats.
- **Capa 2_3:** Capa anàloga a la Capa 1_2 anteriorment esmentada.
- **Capa 3:** Es tracta d'una tercera i més profunda capa aquífera al delta del Besòs però de menor espessor.
- **Capa 4:** Representa el substrat rocós; materials consolidats que conformen la majoria del subsòl a l'AMB. Aquests materials es troben a sota de totes les capes anteriors (capa més profunda). A les zones on no hi ha materials fluvials-deltaics ni al·luvials, afloren en superfície però al no estar saturats passen a pertànyer a la capa 0. Hi ha zones on el nivell freàtic està tan profund que en els primers 100 m no hi ha aigua i on la capa 4 no existeix (la capa 0 ocupa tot l'espessor considerat).

A l'annex 3 (Fig A3.1-A3.6) es mostren els mapes amb les diferents capes i els seus respectius gruixos, que són variables a tota l'Àrea Metropolitana.

2.2. Hidrogeologia de la zona de estudi.

Durant anys el GHS (UPC-CSIC) ha realitzat estudis hidrogeològics a l'entorn de l'AMB i ha acumulant una substancial quantitat d'informació. Aquesta informació, atesa a la seva naturalesa multidimensional, s'ha anat emmagatzemant mitjançant sistemes d'informació georeferenciada (SIG). Per altre banda, gràcies a la quantitat de models numèrics on s'ha integrat tota aquesta informació, ha estat possible extreure informació molt útil per a la caracterització dels materials dins de l'AMB. Potser a la zona del Vallès, al vessant Nord de Collserola, és on hi ha més manca d'informació hidrogeològica. No obstant, la naturalesa dels materials és la mateixa, de manera que s'han extrapolat totes les dades de zones anàlogues.

Per tant, una part important d'aquest treball ha estat la recopilació de tota la informació necessària i la seva posada a punt en una plataforma SIG per poder fer els càlculs de potencial geotèrmic posteriorment i de forma conjunta i compacta. Aquesta metodologia permet utilitzar el SIG com una eina molt potent per a l'anàlisi espacial i càlcul de variables georeferenciades.

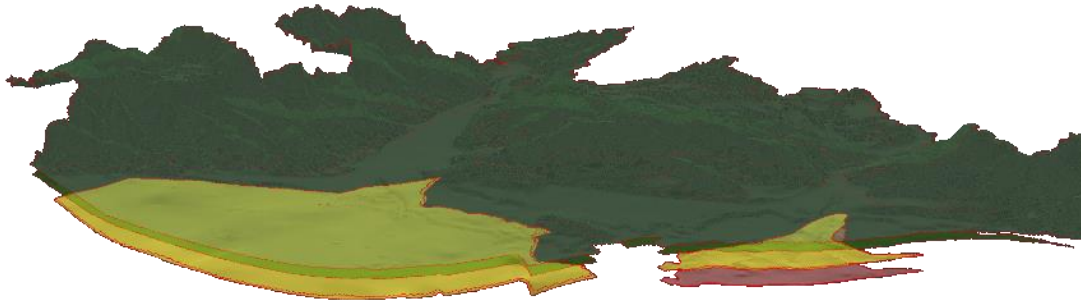


Fig. 7. Distribució espacial de les principals unitats hidrogeològiques i estratigràfiques de l'AMB (2).

2.3. Parametrització hidràulica i tèrmica del terreny.

En els següents subcapítols es mostren totes les variables hidràuliques i tèrmiques presentades segons una distribució espacial (georeferenciades), tant lateral com verticalment. Es presenten únicament les capes de les zones on les diferents variables tenen un comportament relativament homogeni. Donada la gran quantitat d'informació necessària i, per tant generada, s'han decidit incorporar algunes figures als annexes del final de l'informe. Durant els apartats següents es comenten i mostren els resultats i mapes amb les dades utilitzades.

2.3.1 Parametrització hidràulica

Una de les dades més rellevants és el nivell d'aigua subterrània. D'aquesta dada depenen el volum d'aigua emmagatzemat i el flux d'aigua. A la Fig. 8 es presenten els nivells d'aigua subterrània de què es disposa (2297 mesures de nivell).

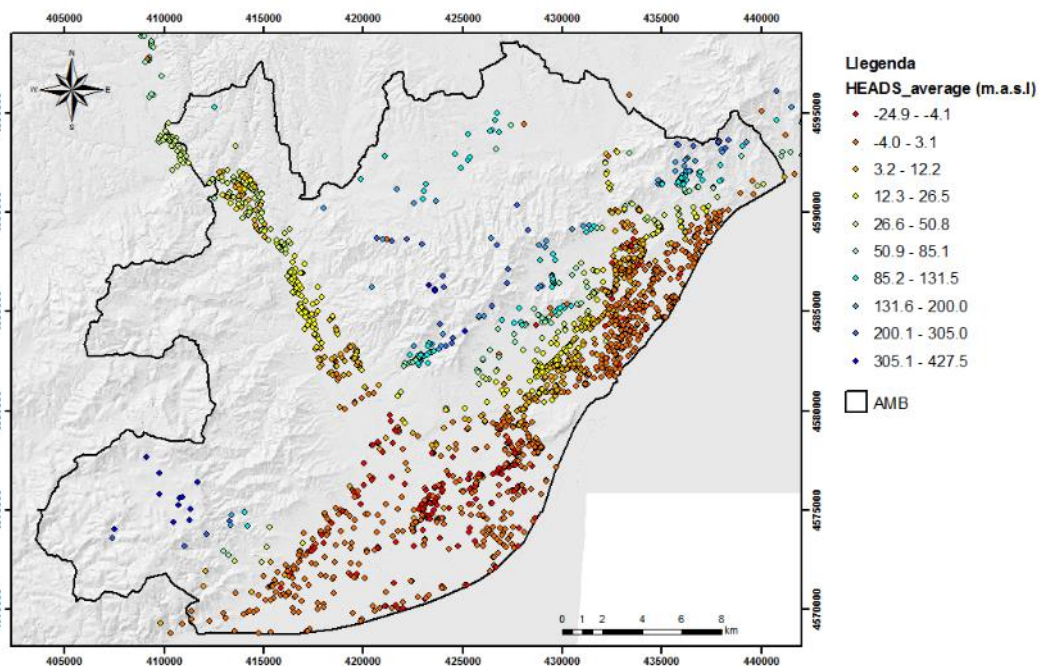


Fig. 8. Punts amb valors de nivell piezomètric de l'aigua subterrània a AMB

A partir d'aquestes dades es pot reconstruir una superfície piezomètrica de les 4 capes aquíferes (Fig. 9). Aquesta reconstrucció es deriva de models numèrics de flux en les zones on s'han realitzat aquests models. Segons criteris hidrogeològics com similituds entre formacions de materials y proximitat, ha estat possible una modelització per donar valors a zones on no n'hi havia d'existents. Cal destacar que la piezometria porta implícita el gradient piezomètric (pendent de la superfície piezomètrica), del qual deriva la magnitud, la direcció i el sentit de l'aigua subterrània. La següent figura mostra la superfície piezomètrica de les quatre capes amb llegenda única i separada. D'aquesta manera es pretén mostrar una comparativa general entre les quatre capes (llegenda única) i una distribució espacial més exacte (llegenda separada).

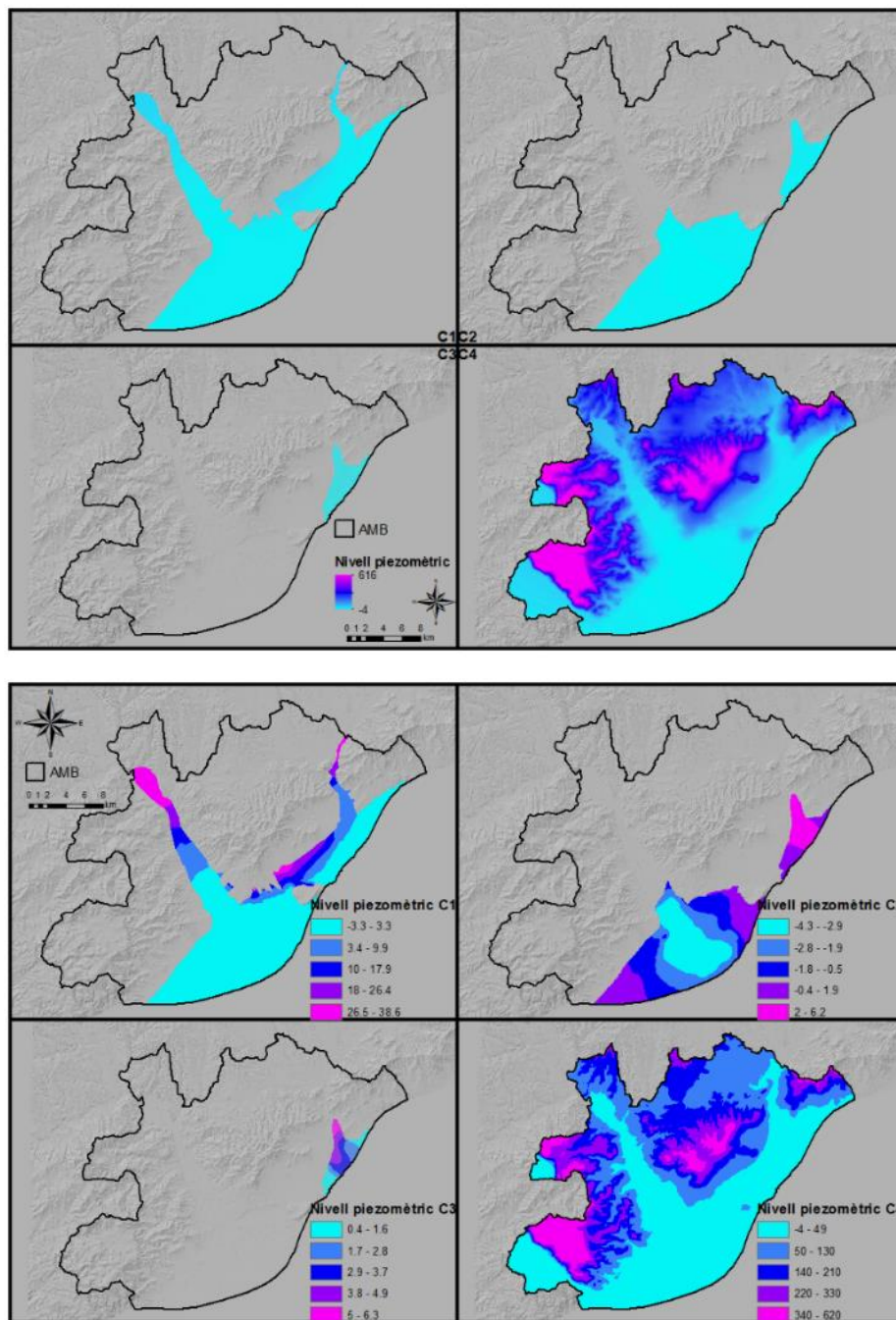


Fig. 9. Superfície piezomètrica de les 4 capes procedent del model.

Com es veu a la figura anterior, els nivells més baixos es troben a les zones costeres i centralitzats sobretot a la conca del Llobregat. A les zones més muntanyoses els nivells es troben a cotes més altes.

Els mapes de transmissivitats per les 4 capes aquíferes es presenten a la Fig. 10. Un altre cop, es presenten els mapes per a les quatre capes amb llegenda única i separada. Els valors s'han obtingut a partir dels models de flux i d'assaigs hidràulics de bombament. Com s'aprecia en el mapa, la capa més transmissives són les capa 2 i 3. La capa 1, però, mostra una alta transmissivitat a la zona alta de la conca del Llobregat. En quant a la distribució espacial, els extrems de l'AMB presenten, en general, millor transmissivitat.

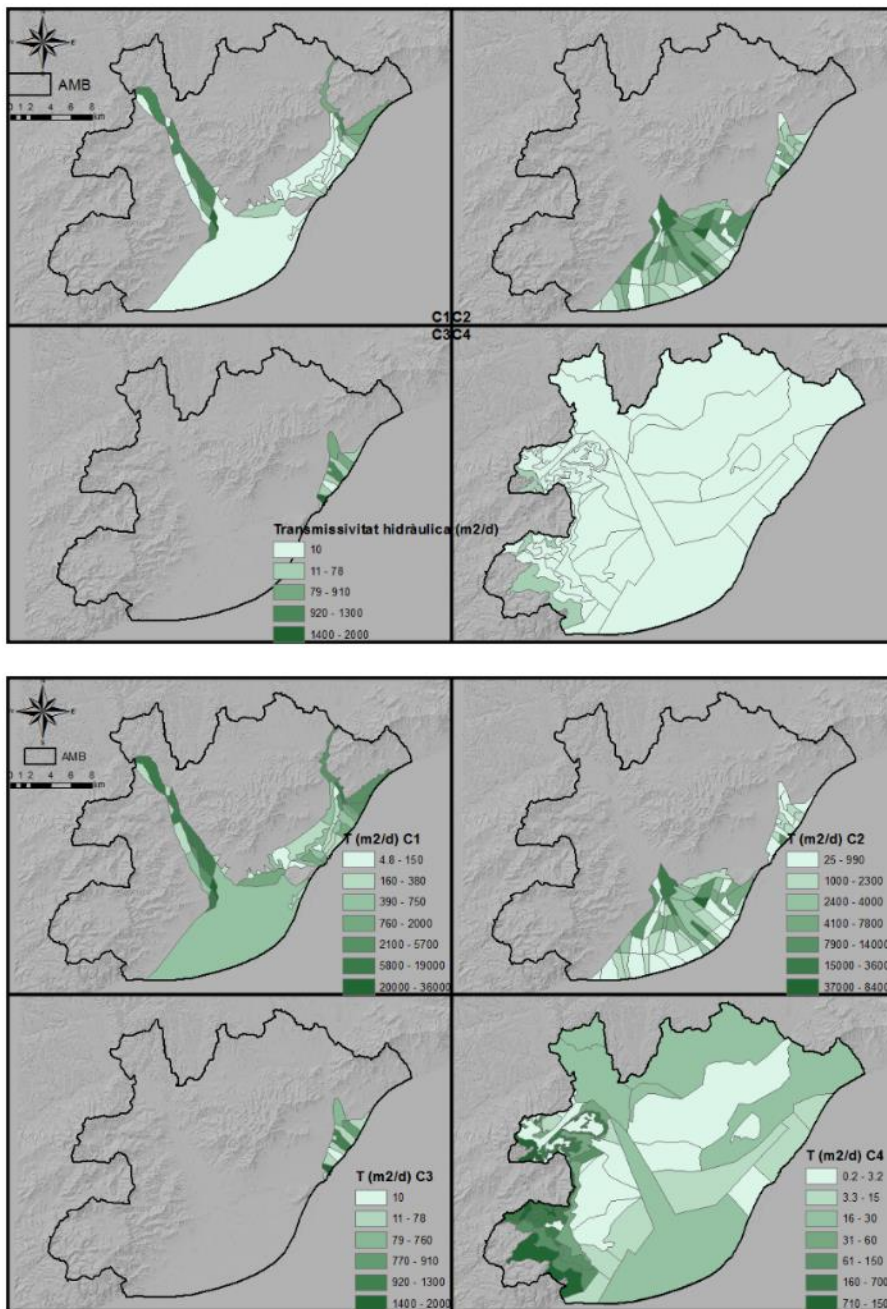


Fig. 10. Mapa de transmissivitats de les 4 capes.

2.3.2 Parametrització tèrmica.

La parametrització tèrmica va estretament lligada a les litologies de les unitats hidroestratigràfiques definides a l'entorn de l'AMB. Autors com Schön JF (2011) o Chiasson (2000) van tabular diferents valors de paràmetres hidràulics i tèrmics segons els diferents tipus de sòls i roques (veure taules de l'Annex 2). La informació litològica procedeix dels 1500 sondejos recollits a la base de dades del GHS (UPC-CSIC) (Fig. 11) i a partir del mapa geològic de superfície de l'IGC (Fig. 12). S'han donat preferència a les dades dels sondejos de geologia de superfície a l'hora de calcular els valors mitjans.

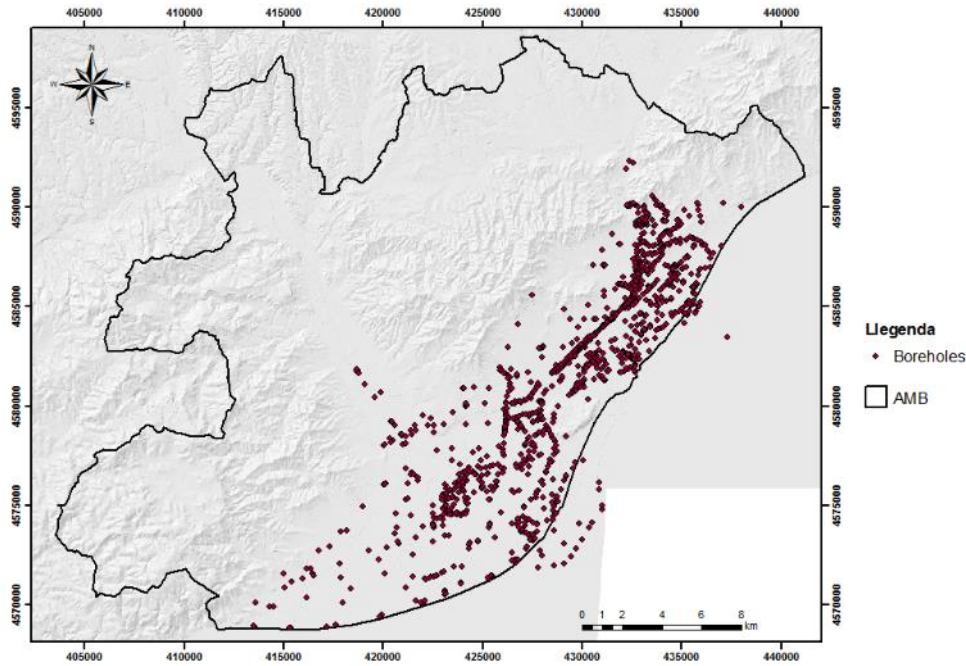


Fig. 11. Sondejos amb descripció litològica completa dins de la base de dades GHS.

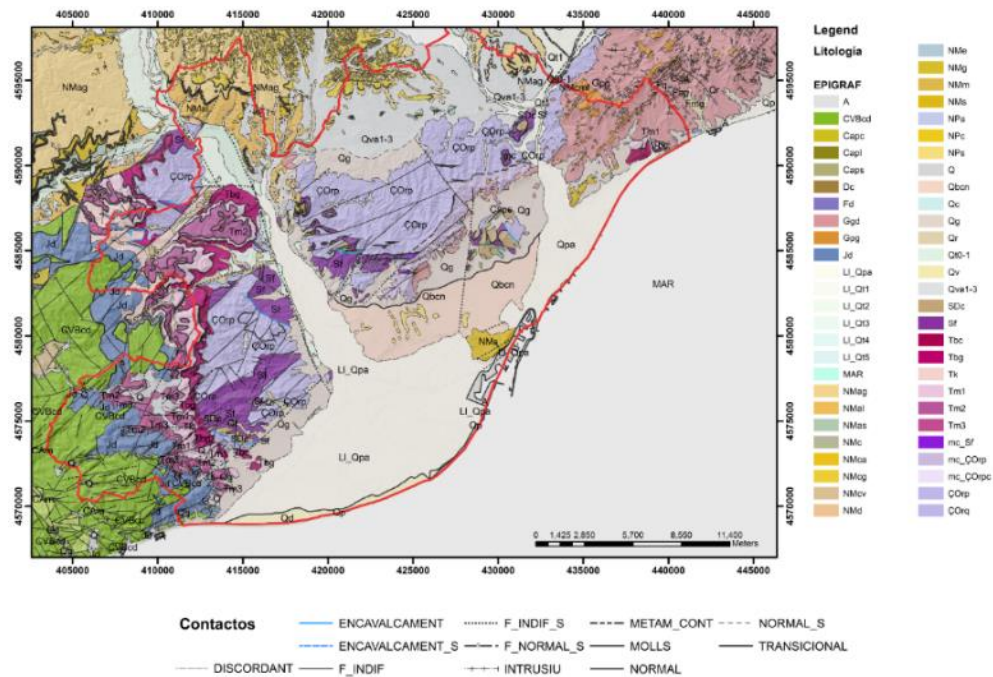


Fig. 12. Mapa Geològic de superfície de l'IGC.

La següent figura representa el model geològic tridimensional generat a partir de la informació disponible (Velasco et al 2012).

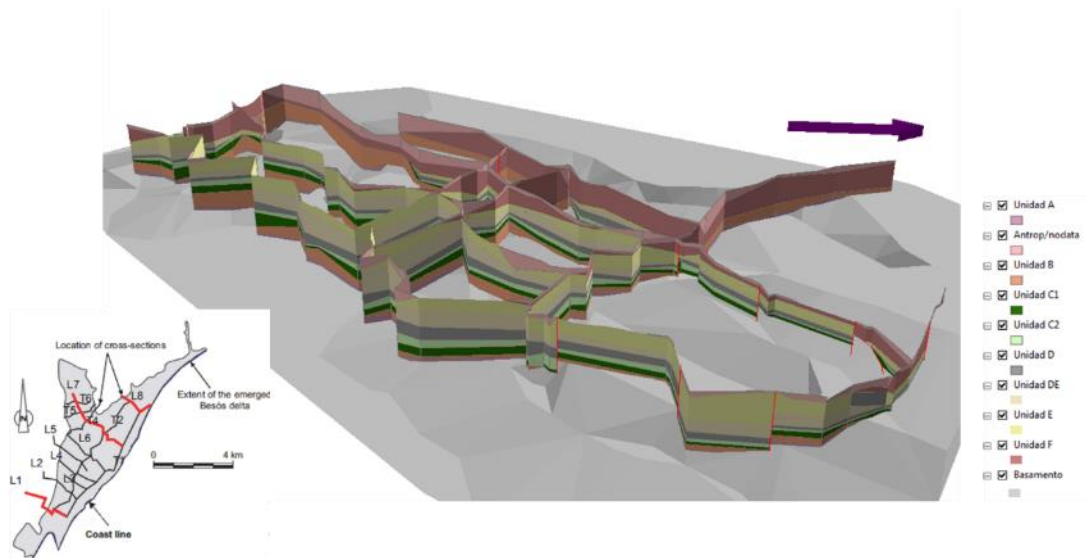


Fig. 13. Fence Diagram del Delta del Besòs i la plana de Barcelona.

De les taules de l'Annex 2 s'han extret les dades necessàries per avaluar el transport de calor segons l'equació 1. La Fig. 14 mostra les dades d'entrada de conductivitat tèrmica utilitzades per quantificar la velocitat de propagació de l'anomalia tèrmica pels materials com conducció pura de la calor. La zona del delta del Llobregat és de molt baixa conductivitat tèrmica. Les 4 capes obtenen uns valors i una distribució espacial molt semblants.

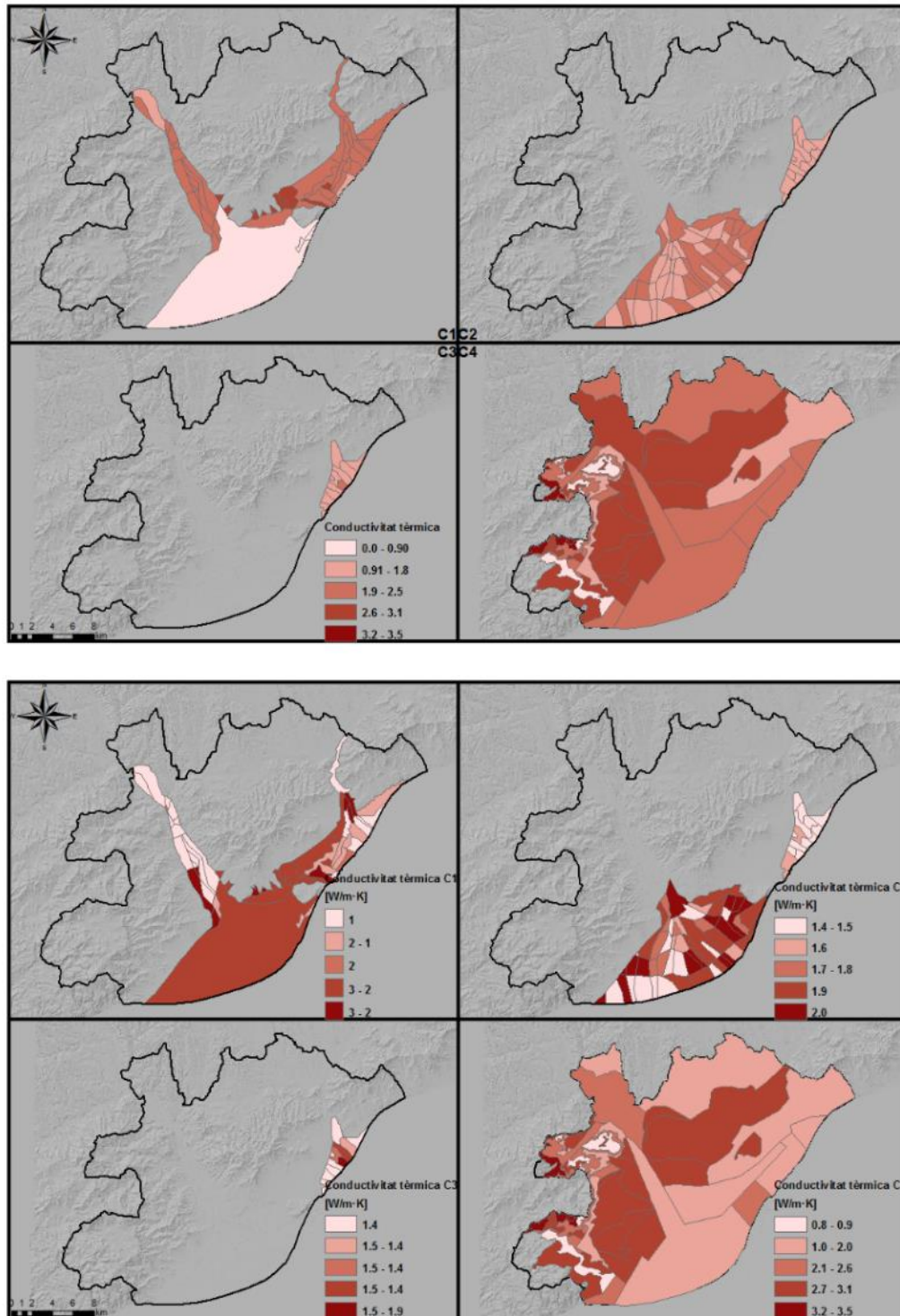


Fig. 14. Mapa de la conductivitat tèrmica de les 4 capes.

També s'ha de conèixer l'emmagatzematge de calor per m³ de material, que ve determinat per la capacitat calorífica específica multiplicat per la densitat del material. Totes les figures es troben a l'Annex 4.

2.4. Distribució de temperatures ambientals i del subsòl.

De la mateixa manera que el nivell de l'aigua subterrània és una de les variables més importants en hidràulica, la temperatura és la variable d'estat a l'hora de resoldre problemes de calor. És per això que s'ha recopilat informació de les temperatures mitjanes ambientals a l'AMB per a la mitjana anual, la mitjana estacional d'hivern i d'estiu per a la capa superior (les figures amb la distribució espacial es troben a l'annex 5). A més s'ha recuperat de la base de dades del GHS les úniques mesures de temperatura d'aigua subterrània de què es disposa. Aquestes dades de temperatura han estat mesurades al camp en diferents projectes i estudis. Al representar la cota de mesura amb la temperatura a la gràfica (Fig. 15), es dedueix una correlació entre la temperatura de l'aigua subterrània i l'altura. D'aquesta tendència es crea un model de temperatura de l'aigua subterrània a AMB. La qualitat de les mesures varia a cada punt ja que són mesures preses en diferents projectes. Per això, destaquem que són pocs els punts que tenen un error de més de +/- 3°C, com a la zona de Santa Coloma on hi ha una anomalia documentada. En cas de voler afinar més i reduir el grau d'incertesa del model, seria convenient realitzar una campanya de camp per prendre noves mesures de temperatura de l'aigua subterrània.

En el cas dels aqüífers principals dels dos deltes s'ha utilitzat la mitjana de les temperatures mensuals existents, resultant uns 1-2 °C més que les superiors i, de tal manera que el gradient geotèrmic (en els deltes) queda ja incorporat en el càlcul. El gradient geotèrmic entre 0 i 100 metres normalment està molt influenciat per la propagació de l'ona tèrmica des de superfície, que arriba a uns 20-30m. Els aqüífers més superficials i les zones de recàrrega i descàrrega d'aigües subterrànies també contribueixen a desdibuixar aquest gradient. Per tant, s'està dins de l'error (0-3 °C) abans definit.

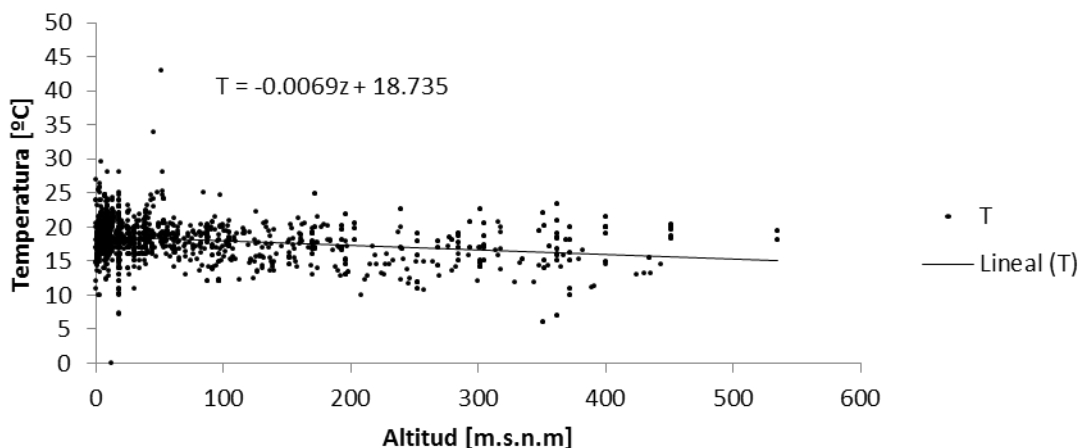


Fig. 15. Dades de temperatura mesurades al camp representats davant l'altitud .

A les altres capes aqüíferes la temperatura de l'aigua subterrània s'ha interpolat amb mínima curvatura a partir de les poques dades que es tenen). També s'ha utilitzat l'atles geotèrmic de l'IGC que conté un mapa de temperatura de l'aigua subterrània a 100 m de profunditat.

A la següent figura es mostra el resultat del model i els errors respecte les dades. Com es pot veure, hi ha punts amb errors grans i petits alhora. Aquest fenomen pot ser degut a la varietat estacional o valors anòmals.

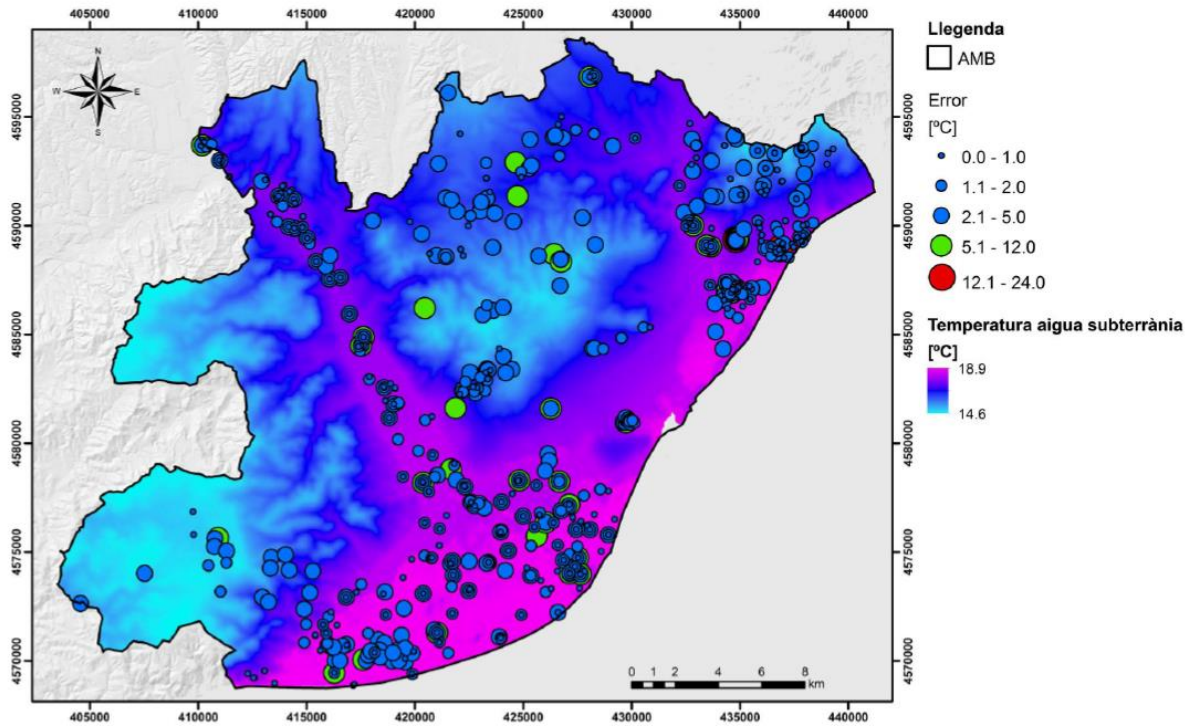


Fig. 16. Model estadístic de temperatura d'aigües subterrànies en AMB i els errors del model

Amb les dades existents (informació en diferents punts tant de l'espai com temporals) és la única possible manera d'avaluar la temperatura de l'aigua subterrànies. Per a més detall en el model, serà necessària una campanya de mesures.

3. POTENCIAL GEOTÈRMIC DE L'ÀREA METROPOLITANA DE BARCELONA.

3.1. Aproximació al concepte de potencial geotèrmic.

Els sistemes de baixa entalpia, oberts o tancats, en general es basen en l'aportació tèrmica que es fa a una bomba de calor, ja sigui per la generació de calor o de fred, en funció de les demandes que puguin haver.

L'aportació de l'energia geotèrmica permet reduir la necessitat d'energia elèctrica, i per tant, quan major sigui l'aportació del terreny, major serà l'estalvi energètic i per tant major l'aprofitament del recurs renovable (Fig. 17).

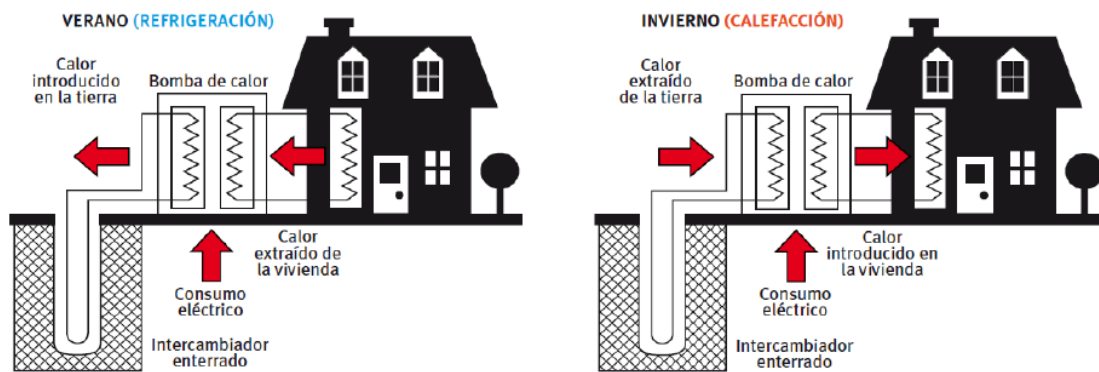


Fig. 17. Esquema de funcionament de l'aprofitament d'energia geotèrmica de baixa entalpia. Font: IDAE

Per tant, l'aprofitament geotèrmic té una incidència directa sobre el rendiment o millora del COP (coeficient of performance) de la bomba de calor.

Cal mencionar, que les bombes de calor convencionals, que fan servir l'aire ambient com a sistema de refrigeració ja impliquen un estalvi d'energia, però en el cas de l'ús del terreny com a sistema de refrigeració garanteix temperatures inferiors i més estables, que permeten millorar sensiblement el rendiment de la màquina i per tant l'estalvi energètic.

Com a simplificació, per calcular el potencial geotèrmic es considerarà la totalitat de l'aportació del terreny, que bàsicament depèn de la diferència tèrmica entre la temperatura ambient i la del terreny en el cas de sistemes oberts sense reinjecció o bé del salt tèrmic admissible ambientalment pels sistemes tancats o oberts amb reinjecció

En aquest treball s'entén com a potencial geotèrmic l'energia màxima per unitat de temps que és capaç d'aportar el terreny a l'explotació geotèrmica sense tenir en compte la seva COP. Com ja s'ha comentat anteriorment, el COP representa un rendiment d'un sistema (un COP de 2 significa un consum d'1 kWh que crea/treu 2 kWh de calor). Si no tenim en compte el COP aconseguim que el potencial no depengui del desenvolupament tecnològic, sinó únicament de les propietats del terreny.

Encara que els processos físics de transferència de calor són els mateixos per a tots dos sistemes d'explotació geotèrmica, la forma en què s'avalua el potencial geotèrmic i les

seves naturaleses exigeix dues metodologies diferents per a cada cas. Durant els següents apartats es desenvolupa més en profunditat cadascun dels sistemes treballats.

3.2. Potencial geotèrmic del AMB per a sistemes oberts.

Pel que fa als sistemes oberts, l'energia s'obté únicament de l'aigua que s'extreu de l'aqüífer. L'energia disponible és directament proporcional al cabal d'aigua que es pot bombar (p.e. m³/s) per la diferència de temperatura respecte al nostre sistema a refrigerar-escalfar (K). És a dir:

$$P = qc_w\rho_w\Delta T \quad (6)$$

On	P [W]	és el potencial tèrmic;
	q [m ³ /s]	és el cabal d'aigua;
	$\rho_w c_w$	és la capacitat calorífica volumètrica de l'aigua
	T [s]	és la temperatura.

En conseqüència, el criteri per avaluar el potencial geotèrmic d'un punt a l'AMB és calcular el cabal màxim bombejable i l'increment de temperatura entre l'aigua subterrània i la temperatura ambient. Per aquest últim, s'han considerat tres temperatures ambientals representatives: la temperatura mitjana anual i les mitjanes estacionals d'hivern i d'estiu. En termes climatològics, s'entén que l'hivern comprèn els mesos de desembre, gener i febrer; la primavera, els mesos de març, abril i maig; l'estiu, els mesos de juny, juliol i agost i la tardor, els mesos de setembre, octubre i novembre. En el cas de l'hivern, el desembre pertany a l'any anterior.

Per avaluar el cabal, es necessari fer una sèrie de simplificacions pròpies de la hidràulica de captacions (limitacions):

- Aqüífer infinit, isòtrop i homogeni.
- Cabal constant.
- Pous totalment penetrants, amb radi despreciable i sense pèrdues de càrrega.
- Espessor de l'aqüífer constant.

Utilitzant la solució analítica de *Thiem* per l'equació 4 en condicions estacionàries resulta:

$$s = \frac{Q}{2\pi T} \ln\left(\frac{R}{r}\right) \quad (7)$$

On	s	és el descens, /
	Q	és el cabal de bombeig,
	T	és la transmissivitat hidràulica del medi
	R	és el radi d'influència i r el radi al que se produeix el descens s .

El primer límit imposat és un descens màxim admissible del 25% del gruix saturat (segons un criteri de sostenibilitat) de l'aqüífer i un radi d'influència de 250 i 2500 m per aqüífers lliures i confinats respectivament. El radi d'influència defineix la distància fins a on es nota l'afecció (descens de nivells) que produeix un bombament. Aquest és una limitació important en el cas que hi hagi diferents punts de bombament, ja que aleshores es produeix una interferència entre ells.

Amb aquests criteris obtenim el cabal màxim d'extracció. Un cop definit el cabal d'extracció es torna a l'equació (6), d'on surt el potencial tèrmic final. L'increment de temperatura (ΔT) de l'equació es calcula com la diferència entre les temperatures ambientals representatives (temperatura mitjana anual i mitjanes estacionals d'hivern i d'estiu) i les temperatures d'aigua subterrània del model estadístic (apartat 2.4).

En zones on l'aqüífer és molt transmissiu pot ser que el cabal d'extracció calculat sigui superior a 100 l/s. Tecnològicament és inviable i, per tant, tots els cabals considerats no superaran mai aquesta xifra.

La metodologia aplicada busca:

1. Per a una zona determinada (mateixes característiques hidrogeològiques), es busca un cabal màxim d'extracció que no produeixi més descens de l'imposat.
2. Amb aquest cabal i la diferència de temperatures, s'avalua el potencial geotèrmic (mapes de potencial).
3. Si dividim l'àrea del radi d'influència de l'extracció amb l'àrea total, aconseguim un valor normalitzat del potencial tèrmic que ens permet conèixer, de forma orientativa i implícita, els límits d'aprofitament i interferència de pous.

Els resultats de l'aplicació d'aquesta metodologia es poden apreciar en tots els mapes de potencial geotèrmic realitzats, els quals es presenten a continuació:

- Donada la naturalesa del tipus d'explotació on a la pràctica no hi ha tantes explotacions com per a restringir l'àrea d'afecció del bombament s'han realitzat uns mapes on el potencial no depèn de l'àrea afectada i és directament el potencial tèrmic (equació 5).
- El potencial ha estat dividit per l'àrea d'afecció per tal de quantificar el potencial geotèrmic normalitzat per unitat d'àrea. Aquest ens permet avaluar quina quantitat de kW és capaç de dissipar cada metre quadrat i, d'aquesta manera, conèixer la superfície aproximada afectada per a cada sistema.
- Segons aquestes simplificacions, els sistemes oberts que actuen durant tot l'any i el potencial per a cada capa es mostren a les Fig. 18 (mesures mitges anuals) els que funcionin a l'hivern Fig. 19, i per als que funcionin a l'estiu Fig. 20 (valors extrems i, per tant, màxims).

Cal remarcar que en els sistemes oberts (extracció = injecció), l'extracció final neta d'aigua ha de ser sempre igual a zero. A nivell d'instal·lació (escala mètrica o decamètrica), es formen uns cons de bombament i d'injecció que alteren el flux subterrani. A escala més regional (escala hectomètrica o quilomètrica), no hi ha diferència respecte un sistema tancat. Com que en aquest estudi s'està treballant en una escala més regional (quilomètrica), és per això que el cas de bombament =

reinjecció es considera anàleg als dels sistemes tancats on, a més a més, només es considera el cas més extrem: no reinjecció.

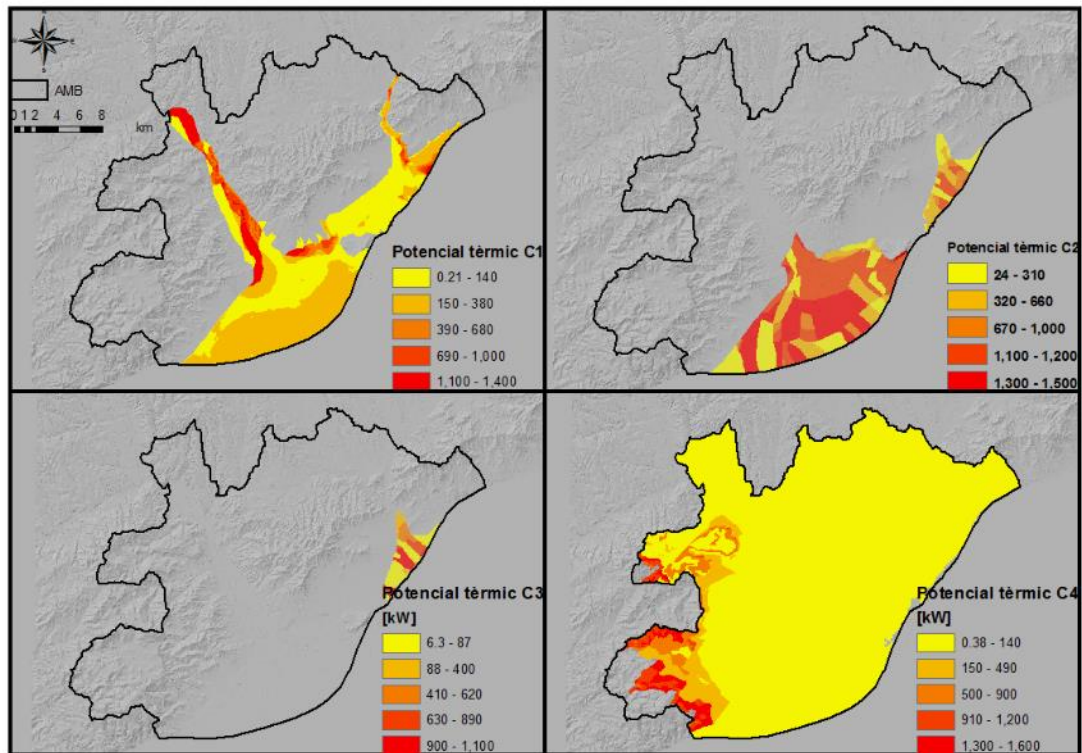


Fig. 18. Mapa de potencial geotèrmic anual en sistemes oberts de les 4 capes.

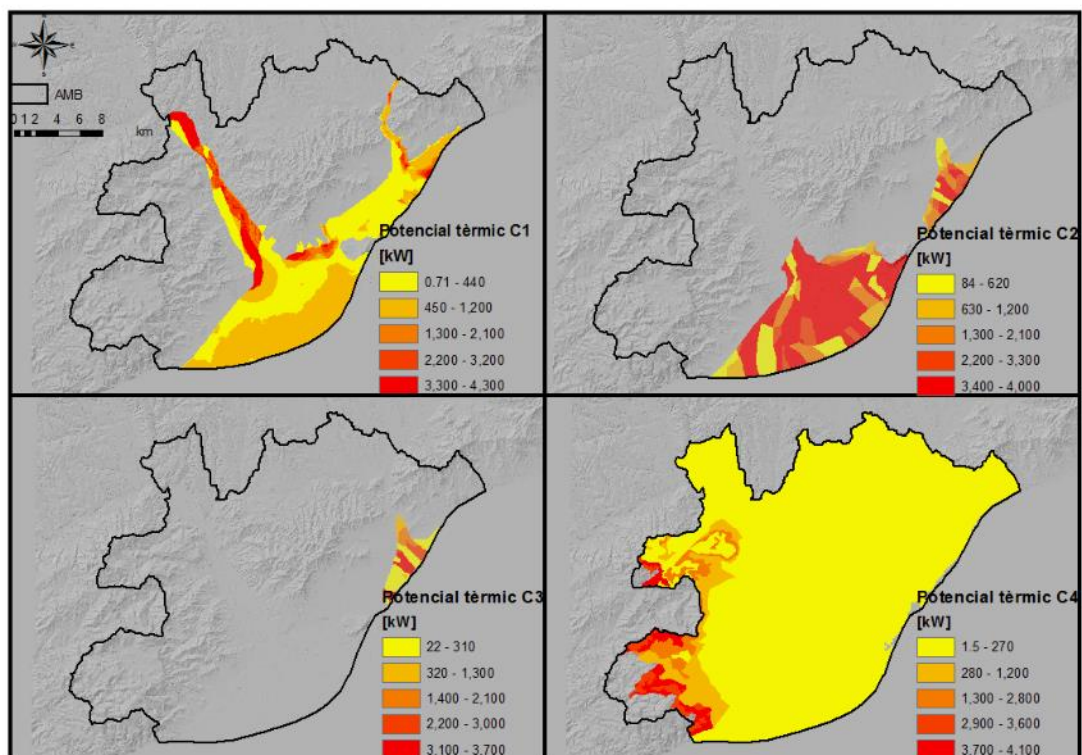


Fig. 19. Mapa de potencial geotèrmic hivern en sistemes oberts de les 4 capes.

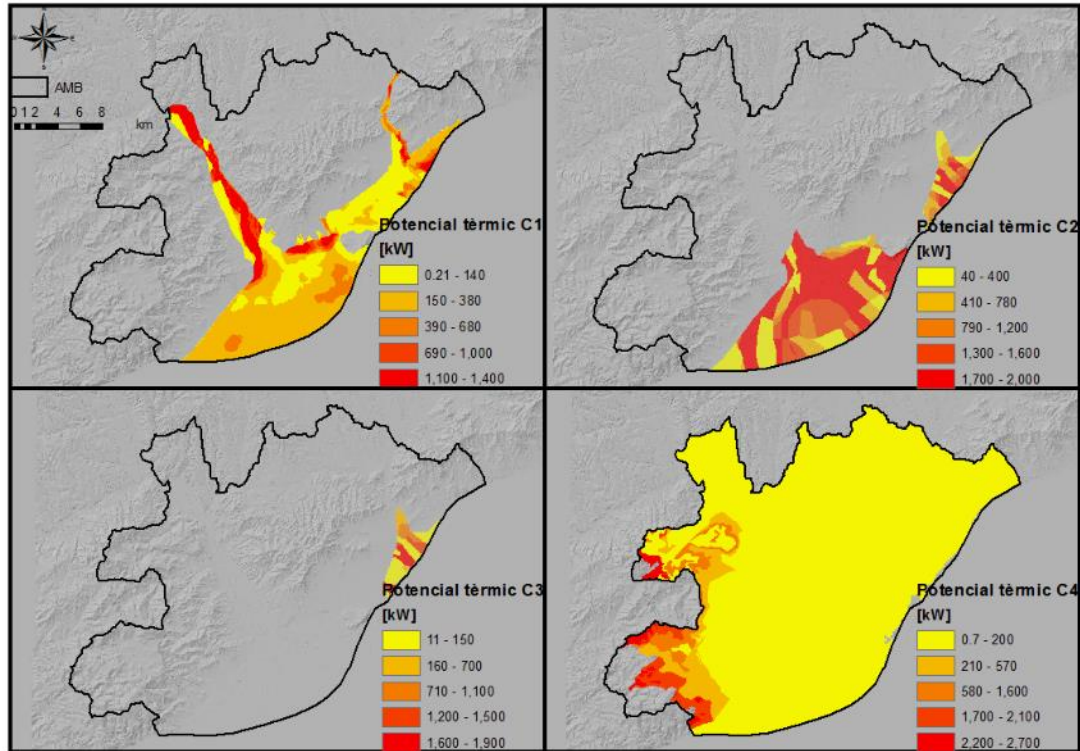


Fig. 20. Dades Mapa de potencial geotèrmic estiu en sistemes oberts de les 4 capes.

Com a impactes més rellevants en potencial geotèrmic, els valors màxims de les mitges anuals oscil·len entre els 1.100 i els 1.500 kW entre les diferents capes. Els valors normalitzats (kW/m^2) assumeixen valors màxims entre 7 i 8 kW/m^2 en les capes 1 i 4, mentre que a la resta els valors màxims són de l'ordre de 10^{-2} - 10^{-3} . La capa dos presenta més uniformitat d'alt potencial, mentre que la resta mostren potencials més elevats però a zones més concretes (extrem nord a la capa 1 i est a la capa 4). La zona del delta de Besòs també presenta punts amb alt potencial geotèrmic.

En el cas de temperatures d'estiu i hivern, els valors màxims ascendeixen als 4.300 kW a l'hivern i baixen fins als 2.700 a l'estiu. A l'igual que en les mitges anuals, els valors normalitzats són molt més elevats a les capes 1 i 4 (valors sobre els 21-22 kW/m^2 a l'hivern i 11-14 kW/m^2 a l'estiu) i molt inferiors a la resta (10^{-1} kW/m^2 tant a l'hivern com a l'estiu).

En conclusió, els sistemes oberts són una bona alternativa d'aprofitament hidràulic i tèrmic. La seva principal limitació és el gran radi d'influència que limita considerablement la quantitat d'edificis a climatitzar. Per altra banda, cal emfatitzar que els tots resultats estan calculats per a un règim estacionari (situació més desfavorable) i, per tant, l'ús de models numèrics serà imprescindible per afinar el càlcul per obtenir una estimació més realista per a cada zona.

3.3 Potencial geotèrmic de l'AMB per a sistemes tancats.

Els sistemes tancats requereixen un tractament diferent a l'anterior (sistemes oberts). Quan col·loquem un intercanviador geotèrmic al terreny la calor es propaga per aquest. La quantitat màxima de calor que es pot injectar al terreny ve determinada per l'increment de temperatura que vulguem provocar en el mateix. És a dir, podem injectar calor fins que la temperatura del terreny no superi una determinada temperatura.

La primera limitació fa referència al valor màxim admissible de salt tèrmic. Actualment no existeix cap normativa vigent a nivell nacional. A nivell europeu, França admet salts tèrmics de fins a 11K i mentre que Alemanya es manté més conservadora amb salts de fins a 6K. No obstant, a Espanya hi ha diverses aproximacions proposades per diferents organismes públics. Per un costat hi ha l'Institut Geològic i Miner de Espanya que està preparant un primer borrador on proposa, en base a la seva experiència a Saragossa, salts inferiors a 10K. Salts superiors no són aconsellables perquè poden alterar la sostenibilitat de l'aquífer. Per altra banda, l'Agència Catalana de l'Aigua segueix tendències més pròximes a les alemanyes amb salts de 6K. En el nostre estudi, limitem aquest increment tèrmic a 10K intentant maximitzar el potencial fins als límits de sostenibilitat de l'aquífer.

Una injecció continuada de gran calor podria arribar a fondre els minerals que componen el terreny. Que això no passi es deu al fet que la calor es transfereix a la resta del terreny més fred. Per tant, es pot considerar un bon terreny per dissipar calor aquell que sigui capaç de transmetre la calor d'una forma eficaç sense elevar gaire la seva temperatura.

La capacitat per transferir calor d'un cos a un altre (conductivitat tèrmica) i la capacitat per augmentar la temperatura del terreny per cada unitat de calor subministrada (capacitat calorífica) són els paràmetres clau per entendre com es propaga la calor pel terreny i per avaluar el seu potencial geotèrmic. Aquest però, és únicament el cas si només es tingués en compte la conducció de la calor entre els cossos sòlids del terreny. Hi ha una part del terreny que està saturada i una altra que no. L'aigua de la zona saturada es troba en constant moviment. Com que la capacitat calorífica de l'aigua és molt gran (més gran que la de qualsevol mineral), fa de l'aigua un medi capaç d'emmagatzemar molta més calor i fer-la circular a través d'ella ajudant a dissipar-la. El moviment de l'aigua amb calor "emmagatzemada" en el seu interior és el que s'anomena advecció. El moviment de l'aigua subterrània depèn dels paràmetres hidràulics del terreny, d'aquí la importància de la hidrogeologia a la geotèrmia.

La propagació de la calor pel subsòl segueix un patró radial quan la circulació de l'aigua subterrània és menyspreable. A la zona no saturada la calor es transfereix en major part mitjançant la conducció tèrmica al medi sòlid continu. El flux de calor a través dels grans minerals es produeix segons el model d'injecció de calor lineal (line source model), que segueix la següent expressió (CARSLAW y JAEGER, 1959):

$$T(r, t) = \frac{q}{4\pi\lambda} E_1\left(\frac{r^2}{4at}\right) \quad (8a)$$

$$T(r, t) = \frac{q}{4\pi\lambda} \left(\ln\left(\frac{4at}{r^2}\right) - \gamma \right) \quad (8b)$$

$$a = \text{Diffusivity} = \frac{\lambda}{\rho c_p} \quad (8c)$$

$$\gamma = 0.5772 \quad \text{Euler's constant} \quad (8d)$$

Aquesta expressió ens indica l'increment de temperatura (T) que existeix en funció de la distància radial (r) al punt d'injecció de calor i el temps (t) des que es va iniciar la injecció. Aquest increment depèn del flux de calor per metre lineal injectat (q), i les propietats tèrmiques del material geològic on s'injecta: la conductivitat tèrmica (λ) i capacitat calorífica específica (c_p).

Quan hi ha aigua subterrània circulant a l'entorn de l'intercanviador, aquesta és capaç d'arrossegar la calor generant una distribució de temperatures en forma de ploma (coneguda com ploma tèrmica). La forma de la ploma tèrmica (Fig. 21) es pot determinar a partir de l'equació (Diao 2004). Aquesta equació té en compte tot el que s'ha descrit fins ara. L'equació descriu com es modifiquen les temperatures del sòl en funció de si el terreny és capaç d'emmagatzemar calor, transmetre, si hi ha flux d'aigua subterrània, etc., produït per una injecció de calor a l'aqüífer. Mitjançant l'ús d'aquesta equació es pot inferir quin serà el flux de calor màxim admissible per no escalfar massa el terreny i avaluar que porció de territori que serà afectada per aquest flux de calor màxim. La funció de Diao té la següent forma:

$$\Delta T(x, y) = \frac{q_l}{2\pi k} \exp\left(\frac{Ux}{2a}\right) K_0\left(\frac{U\sqrt{x^2+y^2}}{2a}\right) \quad (9a)$$

$$U = \frac{uc_w\rho_w}{c\rho} \quad (9b)$$

On	$x(x,y)$	és un punt de l'espai on el punt (0,0) és el punt d'injecció.
	q_l	és el potencial tèrmic per metre lineal,
	k	és la conductivitat tèrmica;
	K_0	és la funció de Bessel modificada de segon tipus d'ordre 0;
	U	és la velocitat revisada i a és la difusió tèrmica.

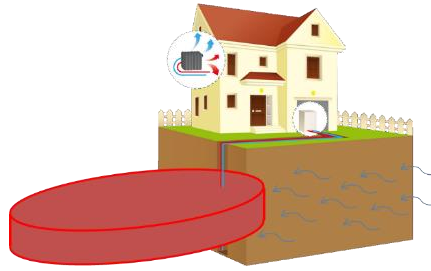


Fig. 21. l'advecció de calor pel flux existent d'aigua subterrània.

Una altra limitació és que els càlculs s'han realitzat suposant que el règim d'explotació és estacionari. És a dir, es suposa un flux de calor (o fred) constant en el temps i s'obté la distribució (ploma de contaminació tèrmica) estacionària en el temps. Això representa la màxima afecció potencial del sistema. En el cas de sistemes equilibrats, on el flux de calor/fred es compensa entre hivern/estiu, l'impacte serà sempre menor i, en el cas que no existís l'efecte de l'advecció de l'aigua subterrània, l'impacte seria nul. Aquest estudi, però, no es capaç d'avaluar-ho ja que només resol l'equació analítica. A més a més, el fet que hi hagi un flux d'aigua, fa que part de la calor transportada sigui no recuperable. Per aprofundir més en aquest aspecte, serà necessària l'elaboració de models numèrics més específics.

Amb tota aquesta informació és possible avaluar el potencial geotèrmic d'un terreny, ja que aquest es maximitza quan som capaços d'injectar molta calor en un espai reduït. Si per exemple podem injectar molta calor però escalfant tot el subsòl de la ciutat, el potencial geotèrmic és molt reduït. En el cas contrari, si podem injectar molta calor i afectar un únic m² de terreny, aleshores podem afirmar que el terreny és molt interessant per a un aprofitament geotèrmic i diem que el sòl té un gran potencial geotèrmic.

La metodologia aplicada busca:

1. Per a una zona determinada (mateixes característiques hidrogeològiques), es busca un cabal màxim d'injecció de calor amb un salt tèrmic de 10°C.
2. Amb aquesta cabal i la diferència de temperatura imposada (10°C), s'avalua el potencial geotèrmic (mapes de potencial).
3. Seguidament es calcula l'extensió de la ploma tèrmica. Quan es coneix l'àrea de la ploma, es divideix amb l'àrea total per tenir una relació normalitzada de la potencia. Aquesta relació ens permet conèixer, de forma orientativa i implícita, els límits d'aprofitament i interferència de pous.

Els fluxos de calor calculats per metre lineal de profunditat i per a cada capa es presenten a la Fig. 22. Els valors mitjos oscil·len entre els 10 i els 20 kW/m.

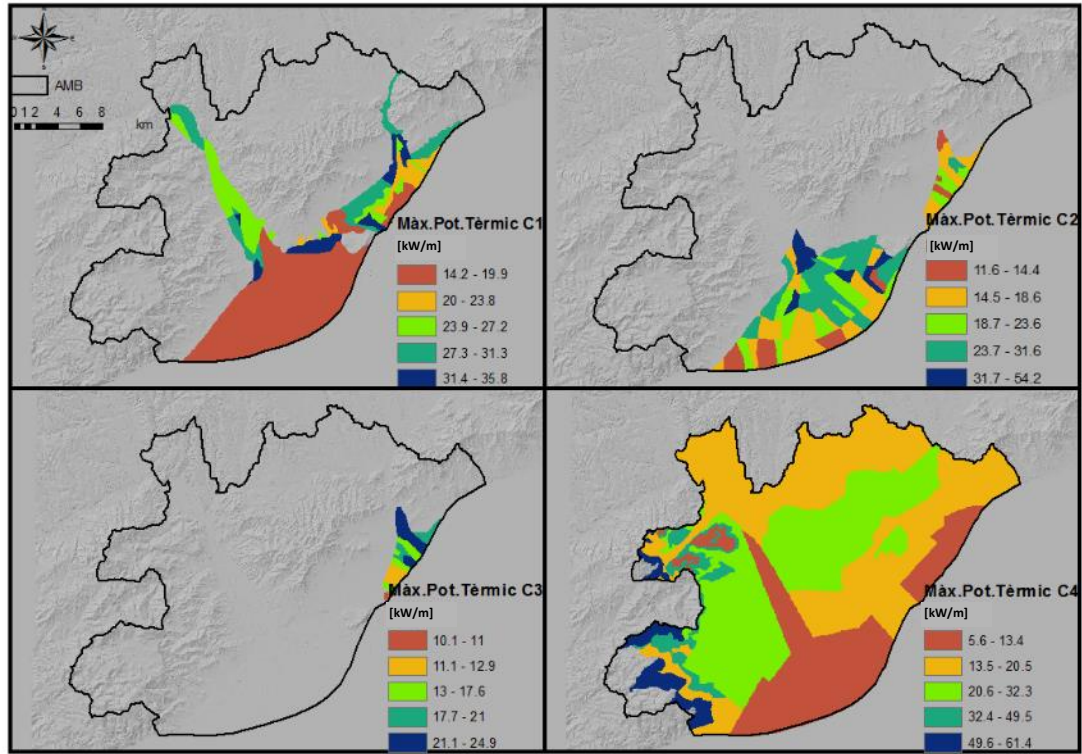


Fig. 22. Mapa de potencial màxim geotèrmic en sistemes tancats de les 4 capes.

El potencial geotèrmic calculat amb els fluxos de calor esmentats per a la totalitat de la potència de cada capa i dividit per l'àrea d'afecció (s'expressa per tant en energia per unitat de temps i d'àrea) es presenta a les Fig. 23. Aquests valors representen el potencial del terreny per dissipar calor a cada capa. En aquest cas, els valors poden variar 4 ordres de magnitud fins assolir valors d'uns 50.000 W/m².

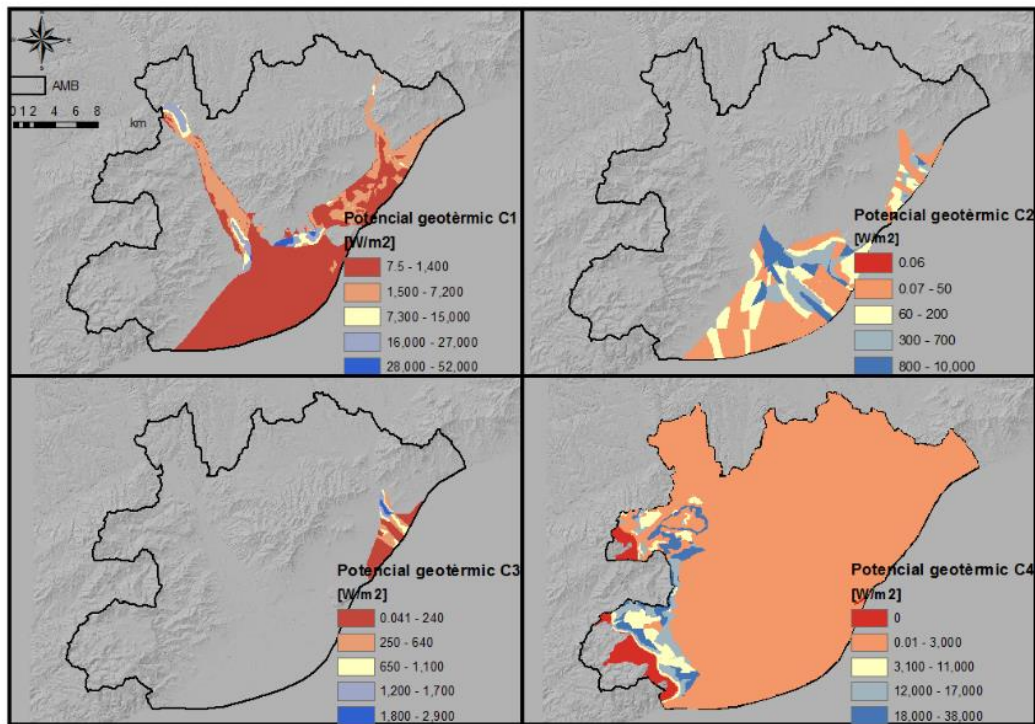


Fig. 23. Mapa de potencial geotèrmic normalitzar en sistemes tancats per unitat de superfície de les 4 capes.

El potencial integrat de tot l'AMB per als primers 100 m es troba representat a la Fig. 24. Per als pous que creuin totes les capes, aquests seran els valors reals que el terreny serà capaç de dissipar. Per a pous menys profunds, s'hauran de sumar els valors de cada capa que es travessa.

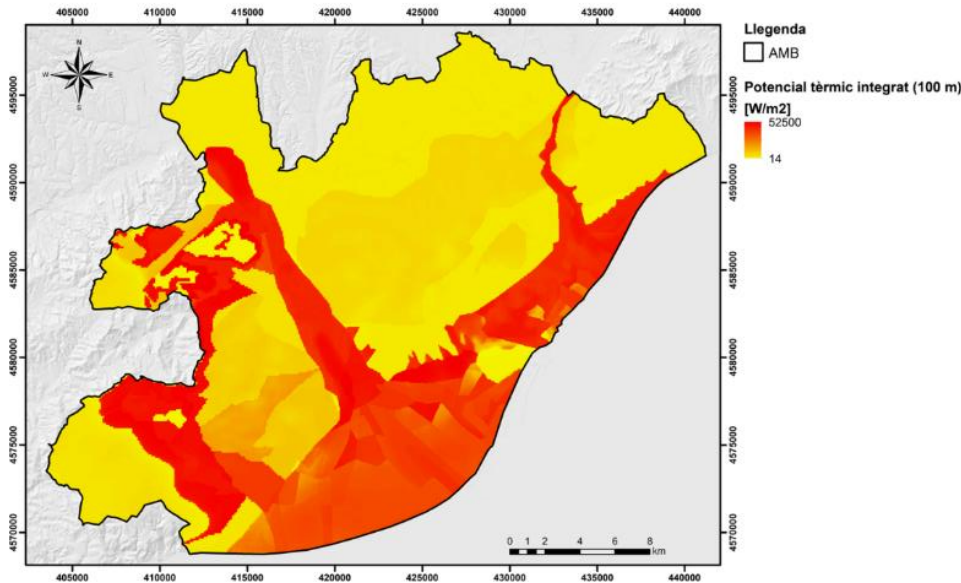


Fig. 24. Mapa de potencial geotèrmic integrat en tot l'AMB per als 100 primers metres.

Per a interpretar espacialment els resultats, els mapes mostren el potencial, alguna capa a capa i d'altres els 100 primers metres integrats, amb els seus valors màxims i mínims en diferents llegendes de colors. Degut a que els paràmetres tèrmics són molt semblants a tota l'AMB, són els paràmetres hidràulics, que poden variar fins a 5 ordres de magnitud, els que més influeixen en el possible potencial de cada zona. És per aquest motiu, que ambdós deltes presenten tant potencial geotèrmic.

Com a excepció, la zona de Begues, Gavà i Castelldefels té una geologia de Karst. Aquest fet provoca que la zona (terreny calcari altament fracturat) presenti altes permeabilitats. El fet que un sistema pugui ser o no eficient en aquesta zona ve únicament determinat pel fet que s'instal·li sobre una de les fractures del Karst.

Per altra banda, és complicat saber a quina capa del terreny s'està injectant/extraient calor. És per això, que l'increment tèrmic de 10K ha de ser màxim en la capa de menor potencial, que és la que determina el potencial tèrmic màxim del punt. Per tant, el potencial màxim d'un punt ve determinat per la quantitat de capes aquífères que travessa i per la més limitativa de totes elles. Per exemple, a la zona de Sant Andreu de la Barca creua els aquífères de la capa 1 i 4. En aquest cas és el potencial de la capa 4 el que és lleugerament més baix i, per tant, el que limita. En altres zones com Sant Adrià del Besòs, són 4 les capes que es travessen, mentre que en zones com Corbera o Begues només es travessa una capa, simplificant el potencial màxim a un sol mapa.

NOTA: Totes les figures d'aquest document es troben ampliades i detallades als annexes.

4. CONCLUSIONS.

S'ha realitzat una important feina per recopilar tota la informació hidrogeològica de l'AMB a partir de diferents bases de dades, incloses les del grup GHS (UPC-CSIC). La informació recopilada (de diversa procedència i qualitat) s'ha integrat de manera conjunta en un Sistema d'Informació Geogràfica (SIG). Sota aquest entorn SIG s'ha realitzat un anàlisi espacial de totes les característiques hidrogeològiques i tèrmiques específiques a cada sector de l'AMB. L'estudi quantifica de forma regional el potencial geotèrmic de baixa entalpia a l'AMB. En cas de voler estudis a nivell d'explotació, seria convenient realitzar models més acurats on ni els cabals d'extracció ni el flux de calor són constants en el temps.

Segons el tipus de sistema intercanviador d'energia, s'han seguit dues metodologies diferents: una basada en la hidràulica de captacions per a sistemes oberts (on s'explota la pròpia energia de l'aigua subterrània) i una altra per a sistemes tancats (on es transfereix calor amb l'aigua subterrània i la pròpia fase sòlida que constitueix el terreny). Tots els càlculs són estacionaris, és a dir, consideren un flux de calor constant en el temps. Seguint aquestes pautes de treball, s'ha aconseguit determinar amb èxit les possibilitats d'aprofitament tèrmic del subsòl a través d'un model numèric.

El potencial geotèrmic s'ha discretitzat en les 4 dimensions (considerant el temps com la quarta dimensió), definint el potencial d'una forma flexible, és a dir, en funció del tipus de sistema d'intercanvi de calor, de la localització de l'explotació, de la profunditat del/s sondeig/s, del volum de terreny que es pretengui afectar, de l'aqüífer que es vulgui explotar i fins i tot del règim temporal d'explotació. Tot i que l'aprofitament geotèrmic té una incidència directa sobre el rendiment o millora del COP (coeficient of performance) de la bomba de calor, no s'ha tingut en compte el COP per aconseguir que el potencial no depengui del desenvolupament tecnològic, sinó únicament de les propietats del terreny.

Per últim es disposa d'una eina GIS ampliable i modulable que recull tota la informació recopilada alhora que permet la seva integració àgilment, el tractament de les dades i els càlculs corresponents. En síntesi, la informació recopilada i treballada en la eina permet visualitzar:

1.- DADES INVENTARIADES:

- Mapa geològic superfície
- Mapa de punts amb informació litològica
- Esquemes (3D) del terreny
- Mapa general T^o a 100 m
- Mapa de T^o ambiental mitjana anual i estacional
- Mapa dades de T^o l'aigua subterrània
- Perfils de T^o de l'aigua subterrània
- Mapa de manifestacions geotèrmiques
- Nivells freàtics
- Piezometria

2.- PARAMETRITZACIÓ HIDRÀULICA I TÈRMICA DEL TERRENY:

- Avaluació dels fluxos hidràulics i tèrmics de l'àrea d'estudi
- Mapes de paràmetres hidràulics (**K, b, f, Ss**)
- Mapes de paràmetres tèrmics (**densitat, Cs, λe,**)

3.-POTENCIAL ENERGÈTIC:

- Litologies. Unitats seleccionades
- Mapes d'isopaques. Unitats seleccionades
- Cartografia velocitats l'aigua subterrània
- Mapes de diferència tèrmica ambiental
- Mapes de potencial geotèrmic: sistemes oberts i tancats.

En conclusió, si que es pot afirmar que l'AMB té un bon potencial geotèrmic que és possible d'aprofitar. L'estudi mostra com tant sistemes oberts com tancats permeten

una correcta explotació dels recursos. Cal destacar però, que depenent de la quantitat de sistemes instal·lats i de les distàncies que els separin, serà més correcte l'ús d'un o altre sistema. El present document mostra com els sistemes tancats poden arribar a dissipar més de 50.000 W per m² a algunes zones de l'AMB. Més concretament, es veu com les zones dels deltes, sobretot a les seves parts altes, presenten un gran potencial geotèrmic.

Degut a que els paràmetres tèrmics són molt semblants a tota l'AMB, són els paràmetres hidràulics els que més influeixen en el possible potencial de cada zona. Com a excepció, la zona de Begues, Gavà i Castelldefels està compost per un terreny calcari altament fracturat que presenta altes permeabilitats (Karst). El fet que un sistema pugui ser o no eficient en aquesta zona ve únicament determinat pel fet que s'instal·li sobre una de les fractures del Karst. Per altra banda, l'increment tèrmic de 10K ha de ser màxim en la capa de menor potencial, que és la que determina el potencial tèrmic màxim del punt. Per tant, el potencial màxim d'un punt ve determinat per la quantitat de capes aquíferes que travessa i per la més limitativa de totes elles. En zones com Sant Adrià del Besos, són 4 les capes que es travessen, mentre que en zones com Corbera o Begues només es travessa una capa, simplificant el potencial màxim a un sol mapa.

Aquest estudi resol una equació analítica i, per tant, s'ha considerat:

- no reinfecció,
- cabal constant,
- un sentit d'injecció i de temperatura constant,
- homogeneïtat del medi,
- Camps per a sistemes tancats.
- Càlculs estacionaris

Aquest estudi, però, no deixa de ser a escala regional (quilomètrica), pel que requerirà que cada instal·lació avaluï amb més detall fenòmens com la saturació del terreny, possible afeccions al medi, etc. En el cas de voler desimplificar l'estudi i entrar en més detall (cabals variables, heterogeneïtat en el medi...), seria necessari recórrer a models numèrics de transport de calor.

5. BIBLIOGRAFIA.

Carslaw, H.S., and J.J.C. Jaeger. *Conduction of Heat in Solids*: Clarendo Press, 1986.

Chen, F. L., S. H. Li, and G. P. Yu. "Preliminary Assessments for Disposal of High-Level Waste within Small Islets." *Nuclear Technology* 95, no. 1 (1991): 54-63.

Schön JH. *Physical Properties of Rocks: A workbook*: Elsevier Science; 2011.

Diao NR, Li QY, Fang ZH. *Heat transfer in ground heat exchangers with groundwater advection*. *Int J Therm Sci*. 2004;43(12):1203-11.

De Marsily G. *Quantitative hydrogeology: groundwater hydrology for engineers*: Academic Press; 1986.

Velasco, V., Cabello, P., Vázquez-Suñè, E., López-Blanco, M., Ramos, E. & Tubau, I. (2012a). A sequence stratigraphic based geological model for constraining hydrogeological modeling in the urbanized area of the Quaternary Besòs delta (NW Mediterranean coast, Spain). *Geologica acta*. 10, 373–394. doi:10.1344/105.000001757.

ANNEX 1

ANTECEDENTS HISTÒRICS

Antecedents estudis hidrogeologia

Els estudis relacionats amb la hidrogeologia dels aqüífers considerats han estat nombrosos des dels anys seixanta. Hi han participat tant l'Administració Hidràulica, com grups d'investigació, empreses i particulars. Normalment els estudis s'han centrat en els aspectes hidrogeològics més fonamentals. Fins i tot s'han realitzat diversos models numèrics de part de l'àrea d'estudi, i que es poden centrar en problemàtiques diverses.

A finals del S.XIX, Almera (1891) es van establir les primeres columnes estratigràfiques i la primera cartografia. Posteriorment, diferents autors, on cal destacar Llopis Lladó (1942-1946), Solé i Sabarís (1957), Marquès (1984) i Manzano (1986) han ajudat a conèixer i aportar major informació i coneixement.

Dels estudis de síntesi hidrogeològica cal destacar els treballs del REPO-SGOP (1966, 1969) i PHPO (1985).

A partir de mitjans dels 90's el GHS UPC_CSIC ha treballat força en aquests àmbit, en especial a partir dels anys noranta a la ciutat de Barcelona i les seves rodalies s'ha pogut observar una pujada progressiva dels nivells d'aigua subterrània.

Aquest augment de nivells piezomètrics ha estat provocat pels canvis al cicle hidrològic, produïts per les variacions en el grau d'urbanització i en els usos del sòl i, fonamentalment, en l'ús de les aigües (canvis en els sistemes i volums d'abastament i explotació de les aigües subterrànies).

L'ascens de nivells provoca una sèrie de problemes que, a Barcelona, es poden agrupar en quatre tipologies bàsiques:

- xarxa del metro i ferrocarrils soterrats,
- subterranis d'edificis,
- aparcaments al subsòl de la via pública,
- instal·lacions de serveis (estacions de transformació, xarxa d'aigües residuals i galeries de serveis).

En tots aquests casos s'observa un augment de les infiltracions o aflüències d'aigües, augment que pot ser tant en el número de casos en que s'han detectat problemes, com en la quantitat d'aigua infiltrada i que precisa ser bombada vers l'exterior. El resultat final d'aquesta problemàtica és un cost important per l'evacuació de l'aigua infiltrada i pel manteniment de les estructures, així com per les repercussions socials degudes a les pertorbacions en el normal funcionament de les xarxes de Metro i Ferrocarrils.

Per aquesta raó, i amb l'objecte d'analitzar la problemàtica derivada de les variacions dels nivells piezomètrics d'aigua i de donar una sèrie de recomanacions per reduir l'impacte social i econòmic del problema, l'Ajuntament de Barcelona va signar al maig de 1996 un conveni amb la Universitat Politècnica de Catalunya, amb la participació de CLABSA (Clavegueram de Barcelona, SA), per desenvolupar un estudi sobre l'evolució i la situació actual de les aigües subterrànies al terme municipal de

Barcelona.

Els objectius principals d'aquest estudi eren:

- a) la recopilació de la informació existent sobre l'evolució piezomètrica i els problemes d'afeccions d'aigua en el subsòl, tot creant un banc de dades hidrològiques.
- b) la recopilació de la informació sobre l'evolució de la composició química de les aigües subterrànies en el Pla de Barcelona, especialment del marge dret del Besòs i del seu front litoral.
- c) la realització d'una primera avaluació de l'origen de l'aigua subterrània, la seva recàrrega, característiques del flux, i la seva persistència i evolució futura.
- d) l'avaluació dels problemes de qualitat, especialment la salinitat i contaminació i la seva possible evolució futura.
- e) el disseny d'una xarxa d'observació de nivells piezomètrics i característiques hidroquímiques.
- f) l'anàlisi de les possibilitats d'ús de les aigües subterrànies del Pla de Barcelona.

Es va elaborar un model numèric del comportament dels sistemes aquífers existents que reproduïx l'evolució històrica dels nivells piezomètrics, cosa que va permetre, per una part, establir un balanç hidrològic, valorant els diferents termes que el componen i el seu grau d'incertesa i, per una altra part, disposar d'una eina amb la qual poder fer prediccions sobre el comportament futur del sistema sota diferents hipòtesis. Amb això es va redactar el Pla d'Aprofitament del Freàtic de Barcelona.

D'altres treballs també ha col·laborat en millorar el coneixement de l'estat de les aigües subterrànies en aquets àmbit. Alguns dels treballs més rellevants en aquests sentit han estat:

GHS (1994) ESTUDI DE LES AFECCIONS HIDROGEOLÒGIQUES AL METRO DE BARCELONA DE VIVER. TMB

GHS (1997) ESTUDI SOBRE LES AIGÜES SUBTERRÀNIES AL PLA DE BARCELONA. Ajuntament de Barcelona

GHS (1998). ESTUDI DE LES AFECCIONS DE LES OBRES DEL PARC FLUVIAL DEL RIU BESÒS SOBRE LA HIDROGEOLOGIA DEL DELTA. Barcelona Regional (BR)

GHS (1998). ESTUDI DE LES INTERACCIONS ENTRE LES OBRES DEL PARC FLUVIAL DEL RIU BESÒS I LES ESTRUCTURES HIDROGEOLÒGIQUES DE LA ZONA. Barcelona Regional (BR), Clavegueram de Barcelona (CLABSA)

GHS (1999) EVALUACIÓN DEL IMPACTO HIDROGEOLÓGICO DEL TREN DE ALTA VELOCIDAD A SU PASO POR EL DELTA DEL LLOBREGAT Y POR LA CIUDAD DE BARCELONA. Infraesa.

GHS (2002) ESTUDI HIDROGEOLÒGIC DEL MUNICIPI DE BADALONA. Ajunt. Badalona

GHS (2002) ESTUDI HIDROGEOLÒGIC DEL TERME DE SANT ADRIÀ DEL BESÒS PEL POSSIBLE APROFITAMENT D'AIGÜES SUBTERRÀNIES PER A USOS PÚBLICS. Barcelona Regional, Ajunt S. Adrià del Besós

GHS (2002) ESTUDI DELS IMPACTES HIDROGEOLÒGICS PEL BOMBAMENT D'AIGÜES SUBTERRÀNIES AL PARKING MUNICIPAL DE LA PLAÇA DE LA VILA (SANT ADRIÀ DEL BESÒS). Ajunt. S. Adrià del Besós

GHS (2003) ESTUDI DELS IMPACTES HIDROGEOLÒGICS PEL BOMBAMENT D'AIGÜES SUBTERRÀNIES AL PARKING MUNICIPAL DE LA PLAÇA DE LA VILA (SANT ADRIÀ DEL BESÒS) Ajunt. S. Adrià del Besós

GHS (2003) ESTUDI DE VIABILITAT DE L'APROFITAMENT D'AIGÜES FREÀTIQUES A L'ENTORN DEL FORUM 2004. Forum de les cultures 2004

GHS (2003-2008) ASSESORAMENT GEOTÈCNIC I HIDROGEOLÒGIC DE LA LINEA 9 DE METRO DE BARCELONA. GISA

GHS (2004) PROGRAMA DE GESTIÓ DELS Aqüífers DE LA CUBETA DE SANT ANDREU, VALL BAIXA I DELTA DEL LLOBREGAT. ACA

GHS (2006-2008) EVALUACIÓ I SEGUIMENT DE LA IMPLEMENTACIÓ D'UN PLA DE DRENATGE DEL FREÀTIC A L'ENTORN DE LA PLAÇA DE LA VILA DE SANT ADRIÀ DEL BESÓS. Ajunt. S. Adrià del Besós

GHS (2009) MODEL HIDROGEOLÒGIC DEL PLA DE BARCELONA I DELTA DEL BESÒS PER A L'OBTENCIÓ D'ALTERNATIVES D'APROFITAMENT PER A LA PRODUCCIÓ D'AIGUA DE CONSUM. ACA-,ATLL, AMB

Tot seguit s'esmenten d'altres estudis més específics relacionats amb l'aprofitament energètic de baixa entalpia, tant per casos generals com per experiència pròpia del Grup d'Hidrogeologia Subterrània (UPC-CSIC):

IGC

Al 2010 es publica l'Atlas de Recursos Geotèrmics de Catalunya, on es recopila tota la informació existent fins el 2010 sobre geotèrmia, aportant mapes de temperatura superficial reduïda, temperatura a 100 m de profunditat, salt tèrmic a 100 m de profunditat, gradient geotèrmic i flux de calor cap a la superfície. Tots aquests recursos proporcionen les primeres hipòtesis sobre el possible potencial geotèrmic superficial a les explotacions de baixa entalpia.

ACA

Al mateix any 2010 L'Agència Catalana de l'Aigua presenta la guia "CLIMACA" per a la climatització d'edificis a partir de l'energia del sol (baixa temperatura). La guia es pot interpretar com una primera aproximació tècnic-normativa per a futures regulacions destinades a garantir una explotació sostenible dels aqüífers des d'un punt de vista tèrmic.

IGME ZARAGOZA

La ciutat de Saragossa constitueix un nucli molt important d'explotació d'energia geotèrmica de baixa entalpia a Espanya, tant per la seva quantitat d'explotacions (amb més de 150 sistemes geotèrmics) com per la seva potència instal·lada. A través dels seus tècnics a l'oficina a Saragossa, L'IGME es troba realitzant un estudi orientat a la caracterització de l'estat energètic de l'aqüífer al·luvial de l'Ebre a la mateixa ciutat. Els seus objectius principals són avaluar els possibles impactes derivats dels processos de refrigeració a l'aqüífer i desenvolupar una proposta de normatives reguladores que ajudin a l'administració.

INFORMES TÈCNICS DEL GHS

- **GHS-BR. (2001). Estudi hidrogeològic del Poble Nou i de Sant Adrià del Besòs per l'aprofitament hídic i energètic de les aigües freàtiques. Informe tècnic.**

En aquest treball es planifica l'aprofitament hídic i tèrmic de l'aigua subterrània a Poble Nou. Després d'un estudi en detall de la hidrogeologia de la zona, s'elabora un model conceptual de funcionament dels aqüífers existents. Finalment es realitza un model de transport de calor que permet avaluar quantitativament l'impacte de les explotacions geotèrmiques.

- **GHS-BR (2006). Estudi de viabilitat de la implantació de sistemes de climatització mitjançant l'ús del subsòl com a font de calor a l'àmbit de La Sagrera, Barcelona.**

Es tracta d'un segon treball destinat a conèixer la viabilitat de la utilització d'intercanviadors de calor de sistemes tant tancats com oberts, destinats a la futura climatització de l'estació de la Sagrera. Atès que la viabilitat d'aquests projectes sempre depèn de la capacitat que tenen els aqüífers per dissipar la calor, es realitza un nou model de transport de calor per predir quines són les millors configuracions d'intercanviadors i el seu règim d'explotació.

- **Buen-Lapena, H. (2009). Model Hidrogeològic en perfil de flux, transport conservatiu i transport de calor del riu Besòs a l'alçada de la plaça de La Vila de Sant Adrià de Besòs (Barcelona). Treball Final de Màster. CSIC-UPC.**

Estudi que té com a objectiu avaluar la possible realització d'un model de flux i de transport de massa-calor a prop de l'aparcament subterrani de la plaça de La Vila de Sant Adrià. Es realitza un tall transversal 2D fins al riu Besòs obtenint resultats positius.

- **GHS-IGC. (2010). Construcció d'un model numèric 2D de flux d'aigua i transport de calor al Vallès Occidental.**

Estudi d'exploració geotèrmica orientat a estimar els recursos geotèrmics a la fossa tectònica del Vallès. Aquesta fossa es caracteritza per la presència de surgències termals importants (60-80 ° C) en les seves parts marginals, on hi han

falles importants com la Falla del Vallès-Penedès (al marge NE). La representació obtinguda és un model semiquantitatiu dels mecanismes que condicionen el flux de les aigües subterrànies i el transport de calor dins de la fossa tectònica del Vallès. Per altre banda, es consideren diversos escenaris d'explotació geotèrmica per a l'estudi de la viabilitat d'un aprofitament geotèrmic, tant a la fossa en general com a la zona de Sabadell.

http://www.actiweb.es/gonzalomayoral/estudios.html
TERMOTERRA, S.L.
Año 2012
Año 2011
· Perforación Geotérmica en Campus Motor de l'Anoia. (3.000 m / 220.742,88 €).
· Perforación Geotérmica para unifamiliar en Granollers. (480 m / 32.812,53 €).
· TRT en campus Universidad de Barcelona. (100 m / 30.862,50 €).
· Instalación Geotérmica en viviendas calle Pau Alcover (Barcelona). (900 m / 191.526,02 €).
· Perforación Geotérmica en unifamiliar en C/Major de Sarriá (Barcelona). (240 m / 24.458,98 €).
Año 2010
· Instalación Geotérmica "Masia de Can Serra a Rubí". (900 m / 37.500,00 €).
· Instalación Geotérmica "Edifici seu de l'Ajuntament de Santa Maria de Palautordera". (1.000 m / 41.500,00 €).
· Instalación Geotérmica abierta en centro deportivo en Badalona (Barcelona). (Stma. Abierto / 369.348,00 €).
· Instalación Geotérmica "Centro de Alto Rendimiento en sant Cugat (Barcelona)". (10.200 m / 703.250,00 € / TRT / Proyecto llave en mano).
· Perforación geotérmica en Vilanova i la Geltrú (Barcelona). (144 m / 19.564,00 €).
Año 2009
· "Perforación geotérmica en Manresa (Barcelona)" (1.920 m / 80.640,00 €).
· Estudio para acuerdo marco de ejecución de obras para SOCOIN (28.500 m / 3,00 M€).
· "Instalación geotérmica para el "Edifici centre de suport territorial de IGCA a Tremp"" (2.100 m / 250.900,00 € / 80 kW). Proyecto llave en mano (ingeniería incluida).
Año 2008
· "Remodelació de l'antiga fàbrica Can Minguell – s. XIX. Projecte d'instal·lacions de climatització amb criteris d'eficiència energètica: Geotèrmia" (179.299,22 € / 2.000 m). Licitación.
· "Geotermia y ensayo de respuesta térmica para edificio del Instituto CEFER (Barcelona)" (824.063,75 € / 5.600 m).
Año 2007
· "Instalación geotérmica + Instalación de la climatización en "Projecte d'execució d'ampliació de la biblioteca marc de Vilalba del municipi de Cardedeu (Barcelona)"". 104.588,22 € + 202.456,33 €.
TERRATESTCIMENTACIONES, S.L. – Área Medio Ambiente - Dpto. de Obras y Proyectos.
· "Actuaciones de emergencia para el rebajamiento del nivel freático en la nave de UNIFRISA, en Mercabarna (Barcelona): Sondeos horizontales para pre-calentamiento del subsuelo". (45.697,36 €). 2011.
http://www.aplicasol.com/index.php/es/instalaciones-realizadas/instalaciones-geotermia
Maçanet
Instalacion geotermia de 12kw Maçanet año 2006

Cardedeu
Instalacion geotermia de 12kw Cardedeu año 2007
LLinars del val...
Instalacion geotermia de 15kw LLinars año 2007
Castellbisbal
Instalacion geotermia de 10kw Castellbisbal año 2008
Girona
Instalacion geotermia Girona 12kw año 2008
Sant Celoni
Instalacion geotermia de 8kw Sant Celoni año 2008
Ullastret (giro...
Instalacion geotermia de 9kw Ullastret Girona año 2009
Gurb
Instalacion geotermia de 17kw Gurb año 2007
Bigues i Riells
Instalacion geotermia de 12kw Bigues i Riells año 2009
LLinars del val...
Instalacion geotermia de 9 kw LLinars año 2010
http://www.geotics.net/nweb/esp/01_04_projectes.php
Edificio San Josep, Vall de Núria
Edificio Alexandra, Sabadell
Complejo Modernista Hospital Sant Pau, Barcelona
El edificio Calisay, Arenys de Mar
Biblioteca Universidad de Vigo
Aparthotel Trainera, Esterrí d'Àneu
Museo de la Vida Rural, l'Espluga del Francolí
Monumento a Colon, Barcelona
La Llotja-Palau de Congressos, Lleida
Viviendas de protección oficial, Mataró
Bodega Castillo de Encús, Tremp

Taula 1. Aprofitaments existents.

ANNEX 2

PARÀMETRES TÈRMICS

TABLE 9.4 Thermal Properties of Igneous and Metamorphic Rocks

Rock	λ in $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$			c_p in $\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$			Reference
	Mean	Range	<i>n</i>	Mean	Range	<i>n</i>	
Granite	3.05	1.25–4.45	356	0.96	0.67–1.55	102	C
	3.43	2.3–3.6	153				J
Granodiorite	2.65	1.35–3.40	89	1.09	0.84–1.26	11	C
	2.63	2.00–3.50	194				J
Syenite	2.31	1.35–5.20	50				C
Diorite	2.91	1.72–4.14	50	1.14	1.13–1.17	3	C
	2.50	2.02–3.33	31				J
Gabbro	2.63	1.62–4.05	71	1.01	0.88–1.13	9	C
	2.57	1.98–3.58	64				
Peridotite		3.78–4.85			0.92–1.09		C
Diabase	2.64	1.55–4.30	115	0.91	0.75–1.00	22	C
Basalte	1.95	1.40–5.33	64	0.88	0.88–0.89	3	C
	1.69	1.12–2.38	72				
Lava	2.50	0.20–4.60	85	1.08	0.67–1.38	5	C
Quartzite	5.26	3.10–7.60	186	1.01	0.71–1.34	8	C
	5.03	2.33–7.45	145				J
Amphibolite	2.46	1.35–3.90	78				C
Gneiss a \perp	1.74	1.2–2.6	55	0.75	0.46–0.92	55	C
Gneiss a \parallel	2.12	1.2–3.1	55				C
Gneiss b \perp	2.65	1.9–3.2	22				
Gneiss b \parallel	3.73	2.5–4.8	8				
Schist \perp	2.91	1.4–3.9	122	0.80	0.67–1.05	18	C
Schist \parallel	3.80	2.2–5.2	122				
Marble	2.56	1.59–4.00	26	0.86	0.75–0.88	8	C

n: number of samples. Reference key: C, Cermak and Rybach (1982) (value ranges and mean values mostly taken from Figure 1 of the paper of Jessop (1990) (data after Roy et al., 1981). \perp —perpendicular schistosity; \parallel —parallel schistosity.

Tabla A2.1: Propiedades térmicas de las rocas ígneas y metamórficas (Schön JH, 2011).

TABLE 9.7 Thermal Properties of Some Sedimentary Rocks

Rock	λ in $W m^{-1} K^{-1}$			c_p in $kJ kg^{-1} K^{-1}$			Reference
	Mean	Range	n	Mean	Range	n	
Anhydrite	4.00	1.00–6.05	77	0.88	0.81–0.94	77	CR
	5.43	4.89–5.73					J
		4.90–5.80					B
Dolomite	3.62	1.60–5.50	29	1.00	0.84–1.55	21	CR
	4.68	3.43–5.73	8				J
		3.75–6.30					B
	4.38	3.11–5.01					
Limestone	2.29	0.62–4.40	487	0.93	0.82–1.72	38	CR
	3.44	1.30–6.26	445				J
		1.70–3.30					RM
		2.50–3.10					B
	2.97	2.00–4.41	26				G
		3.01–3.35					
Gypsum	1.29						C
Sandstone	2.47	0.90–6.50	1262	1.64	0.75–3.33	41	CR
	3.72	1.88–4.98	11				J
		1.20–4.20					RM
		2.50–4.20					B
	2.57	1.56–3.86	8				G
				0.82–1.00		F	
Berea sandstone) ^a	2.34						F
Bandera sandstone) ^a	1.70						F
Boise sandstone) ^a	1.47						
Graywacke		2.70–3.35					B
Shale	2.07	0.55–4.25	377	1.18	0.88–1.44	17	CR
		0.8–2.1					RM
		0.80–1.25					B
Pierre shale) ^b		1.30–1.70					F
							(Continued)
Mancos shale) ^b		1.50–2.25					F
Queenston shale) ^b		1.74–1.95					F
Claystone/Siltstone		1.05–1.45					B
Claystone	2.04	0.60–4.00	242			48	CR
Siltstone	2.68	2.47–2.84	3				J
	2.67	2.56–2.78	1				G
Marl	2.21	0.50–4.00	191	1.15	0.78–3.10		CR
Sand	1.44	0.10–2.75	24	2.30	1.97–3.18	8	CR
Sand, tertiary		1.8–2.2					S
Clay	1.53	0.60–2.60		0.85	0.84–1.00	24	CR
Ocean sediments	0.95	0.40–1.70	648				CR
Soil		0.60–0.83					S
Loess		1.6–2.1					S
Peat	0.29	0.60–0.80					S
Coal		0.04–1.50					CR
Coal	<0.5						B

^aDry at 20 °C.
^bWater saturated, 35–80 °C, 1–24 MPa. n, number of samples. Reference key: C, Clarke (1966); J, Jessop (1990); S, Schuch (1980); RM, Rybach and Mufler (1981); CR, Cermak and Rybach (1982); B, Blackwell and Steele (1989); G, Gong (2005); F, Fjaer et al. (2008).

Tabla A2.2: Propiedades térmicas de las rocas sedimentarias (Schön JH, 2011).

TABLE 1
Typical Values of Hydraulic and Thermal Properties of Soils and Rocks

Porous Medium	Hydraulic Properties					Thermal Properties			
	Hydraulic Conductivity [†] (K)		Porosity [†] (n)		Velocity [‡] (v)	Thermal Conductivity ^{††} (k)		Volumetric Heat Capacity ^{††} (ρ _v c _v)	
	ft/s (m/s)		(-)		ft/yr (m/yr)	Btu/h.ft. ² .°F (W/m. ² .°C)		Btu/ft ³ .°F (J/m ³ .°C)	
	Range	Geometric Average	Range	Arithmetic Average		Range	Arithmetic Average	Range	Arithmetic Average
Soils									
Gravel	9.84E-04 - 9.84E-02 3.00E-04 - 3.00E-02	9.84E-03 3.00E-03	0.24 - 0.38	0.31	1.00E+04 3.05E+03	0.40 - 0.52 (0.70) - (0.90)	0.46 (0.80)	-- --	2.09E+01 (1.40E+06)
Sand (coarse)	3.0E-06 - 2.0E-02 (9.0E-07) - (6.0E-03)	2.4E-04 (7.3E-05)	0.31 - 0.46	0.385	1.98E+02 (6.01E+01)	0.40 - 0.52 (0.70) - (0.90)	0.46 (0.80)	-- --	2.09E+01 (1.40E+06)
Sand (fine)	6.6E-07 - 6.6E-04 (2.0E-07) - (2.0E-04)	2.1E-05 (6.3E-06)	0.26 - 0.53	0.40	1.66E+01 (5.05E+00)	0.40 - 0.52 (0.70) - (0.90)	0.46 (0.80)	-- --	2.09E+01 (1.40E+06)
Silt	3.3E-09 - 6.6E-05 (1.0E-09) - (2.0E-05)	4.6E-07 (1.4E-07)	0.34 - 0.61	0.475	3.08E-01 (9.40E-02)	0.69 - 1.39 (1.20) - (2.40)	1.04 (1.80)	3.58E+01 - 4.92E+01 (2.40E+06) - (3.30E+06)	4.25E+01 (2.85E+06)
Clay	3.3E-11 - 1.5E-08 (1.0E-11) - (4.7E-09)	7.1E-10 (2.2E-10)	0.34 - 0.60	0.47	4.78E-04 (1.46E-04)	0.49 - 0.64 (0.85) - (1.10)	0.56 (0.98)	4.47E+01 - 5.37E+01 (3.00E+06) - (3.60E+06)	4.92E+01 (3.3E+06)
Rocks									
Limestone, dolomite	3.3E-09 - 2.0E-05 (1.0E-09) - (6.0E-06)	2.5E-07 (7.7E-08)	0 - 0.20	0.10	8.02E-01 (2.44E-01)	0.87 - 1.91 (1.50) - (3.30)	1.39 (2.40)	3.17E+02 - 8.20E+01 (2.13E+07) - (5.50E+06)	1.99E+02 (1.34E+07)
Karst limestone	3.3E-06 - 3.3E-02 (1.0E-06) - (1.0E-02)	3.3E-04 (1.0E-04)	0.05 - 0.50	0.275	3.76E+02 (1.15E+02)	1.44 - 2.48 (2.50) - (4.30)	1.96 (3.40)	3.17E+02 - 8.20E+01 (2.13E+07) - (5.50E+06)	1.99E+02 (1.34E+07)
Sandstone	9.8E-10 - 2.0E-05 (3.0E-10) - (6.0E-06)	1.4E-07 (4.2E-08)	0.05 - 0.30	0.18	2.51E-01 (7.65E-02)	1.33 - 3.76 (2.30) - (6.50)	2.54 (4.40)	3.17E+01 - 7.46E+01 (2.13E+06) - (5.00E+06)	5.31E+01 (3.56E+06)
Shale	3.3E-13 - 6.6E-09 (1.0E-13) - (2.0E-09)	4.6E-11 (1.4E-11)	0 - 0.10	0.0525	2.79E-04 (8.50E-05)	0.87 - 2.02 (1.50) - (3.50)	1.44 (2.50)	3.54E+01 - 8.20E+01 (2.38E+06) - (5.50E+06)	5.87E+01 (3.94E+06)
Fractured igneous and metamorphic	2.6E-08 - 9.8E-04 (8.0E-09) - (3.0E-04)	5.1E-06 (1.5E-06)	0 - 0.10	0.05	3.21E+01 (9.78E+00)	1.47 - 3.83 (2.50) - (6.60)	2.65 (4.58)	-- --	3.28E+01 (2.20E+06)
Unfractured igneous and metamorphic	9.8E-14 - 6.6E-10 (3.0E-13) - (2.0E-10)	8.0E-12 (2.4E-12)	0 - 0.05	0.025	1.01E-04 (3.09E-05)	1.47 - 3.83 (2.50) - (6.60)	2.65 (4.58)	-- --	3.28E+01 (2.20E+06)

Tabla A2.3: Valores típicos de los parámetros hidráulicos y térmicos de suelos y rocas de Chiasson et. Al. (2000).

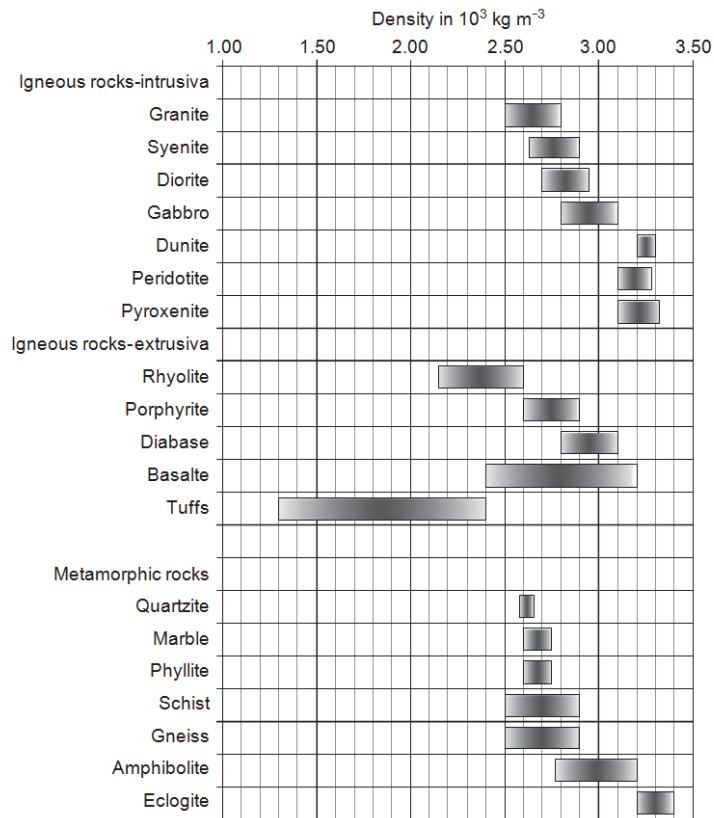


Tabla A2.4: Propiedades térmicas de las rocas ígneas y metamórficas (Schön JH, 2011).

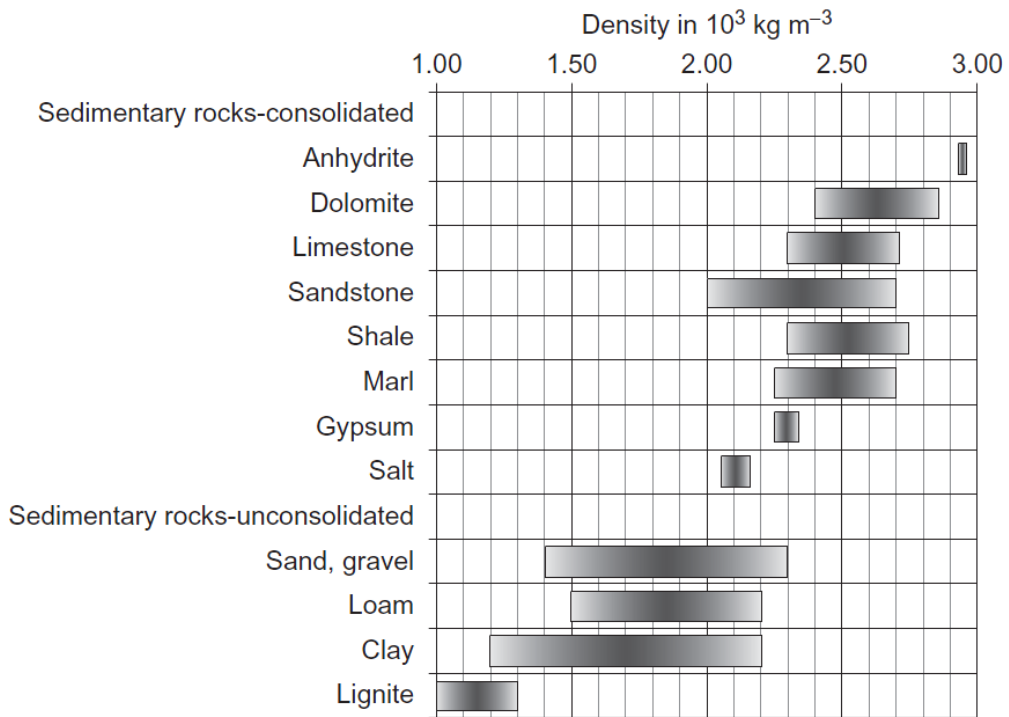


Tabla A2.5: Propiedades térmicas de las rocas sedimentarias(Schön JH, 2011).

ANNEX 3 PARÀMETRES HIDRÀULICS

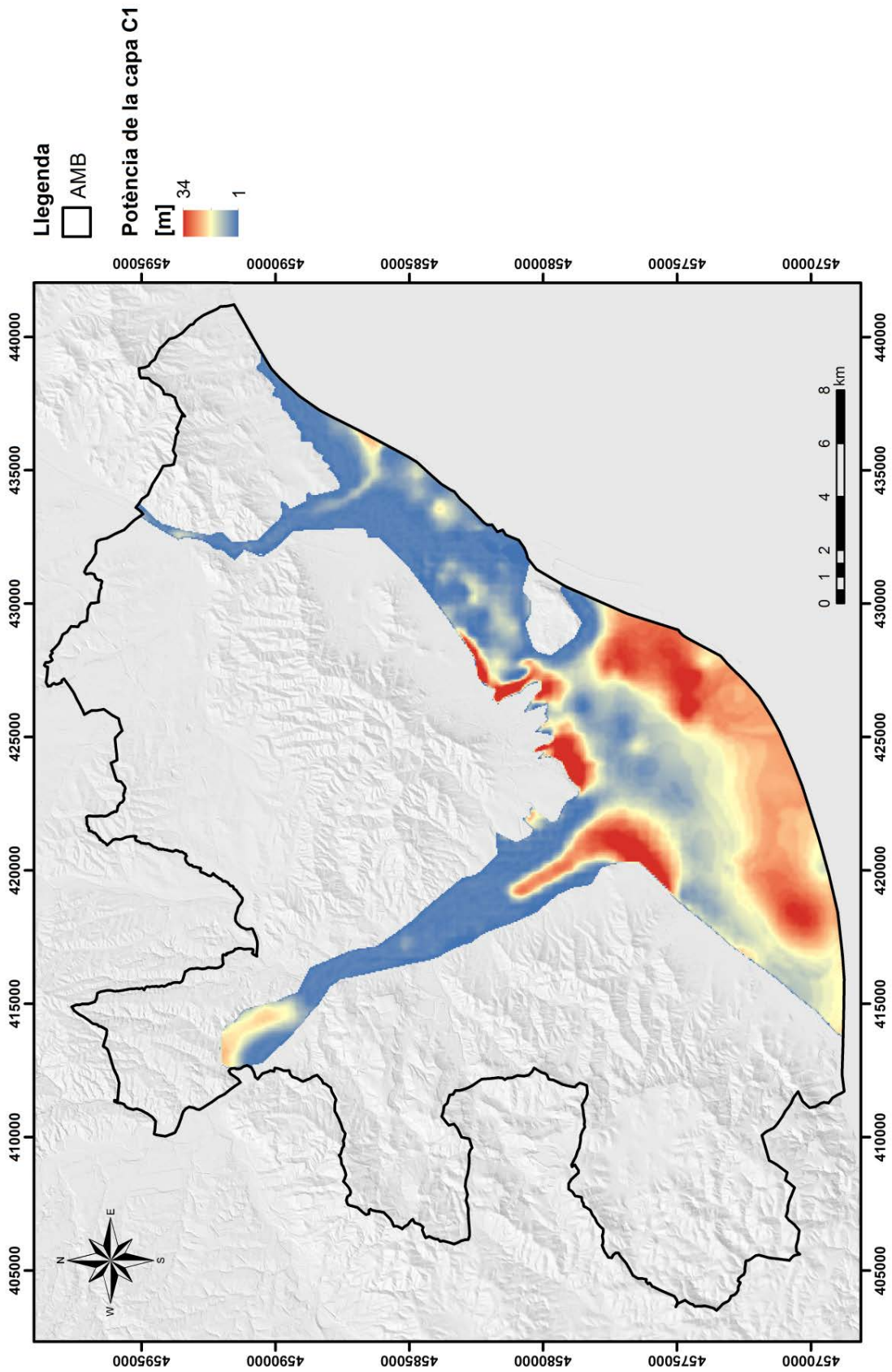


Fig A3.1: Mapa de guix de la capa 1.

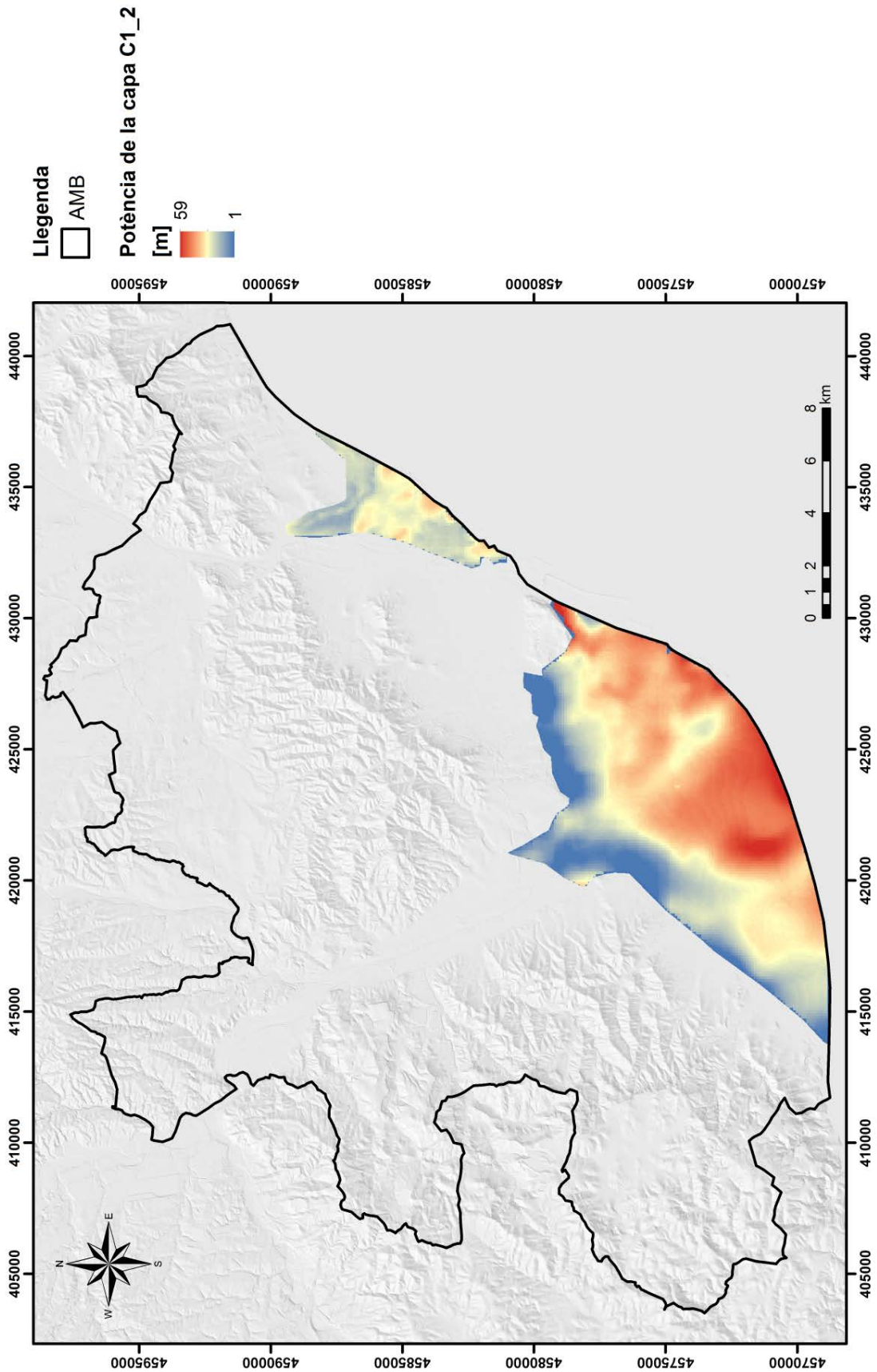


Fig A3.2: Mapa de guix de la capa 1_2.

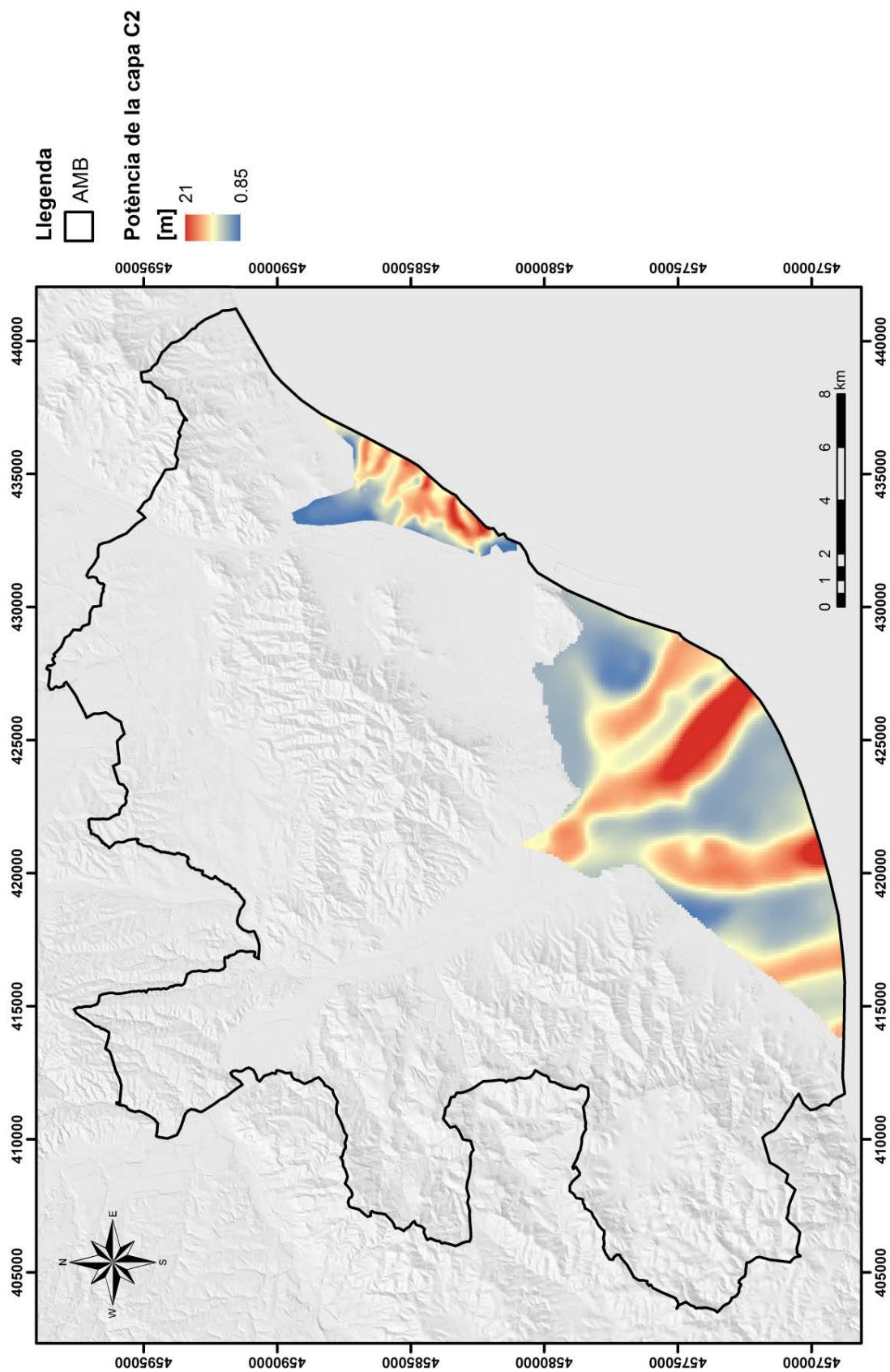


Fig A3.3: Mapa de guix de la capa 2.

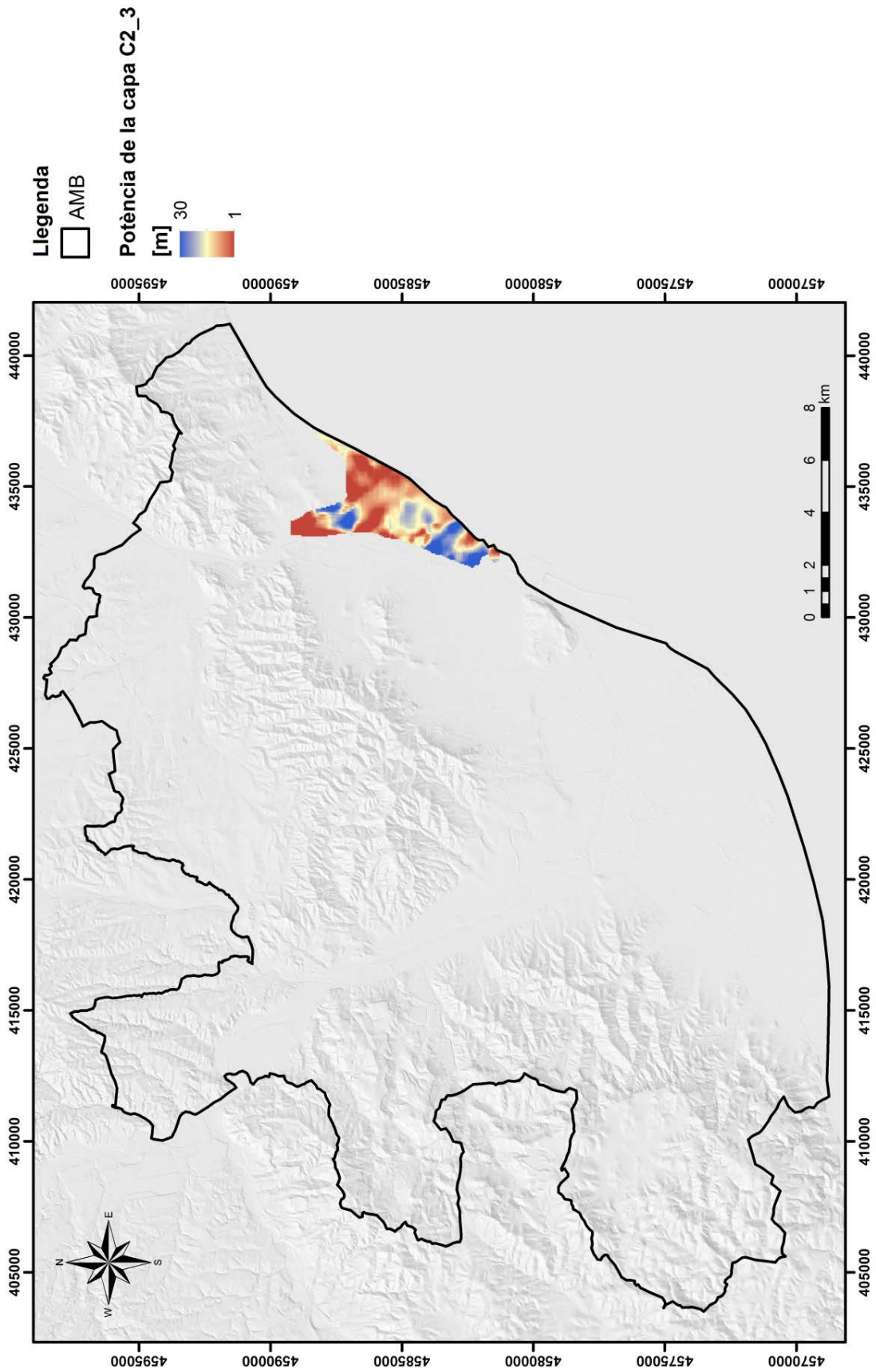


Fig A3.4: Mapa de guix de la capa 2_3.

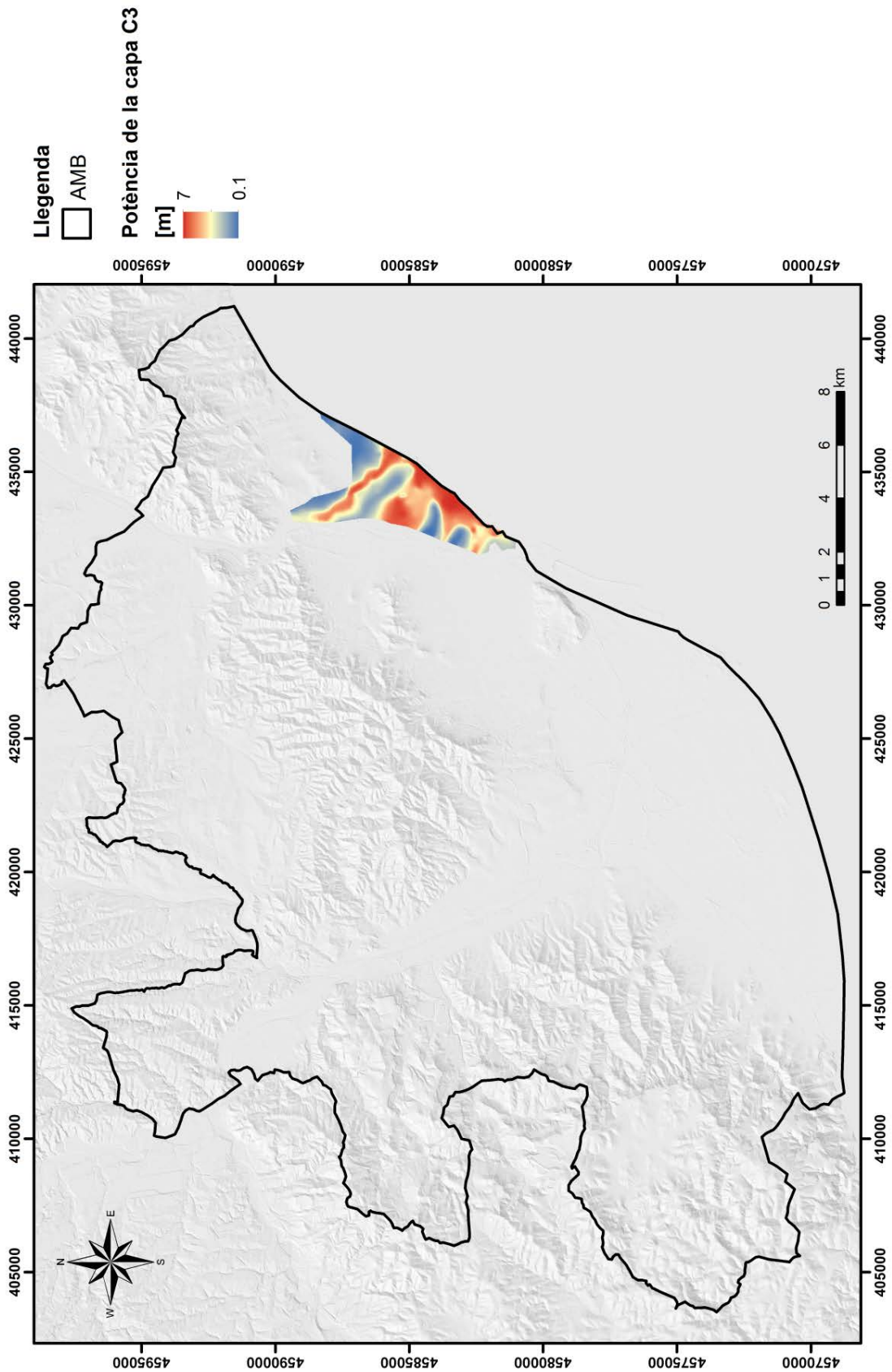


Fig A3.5: Mapa de guix de la capa 3.

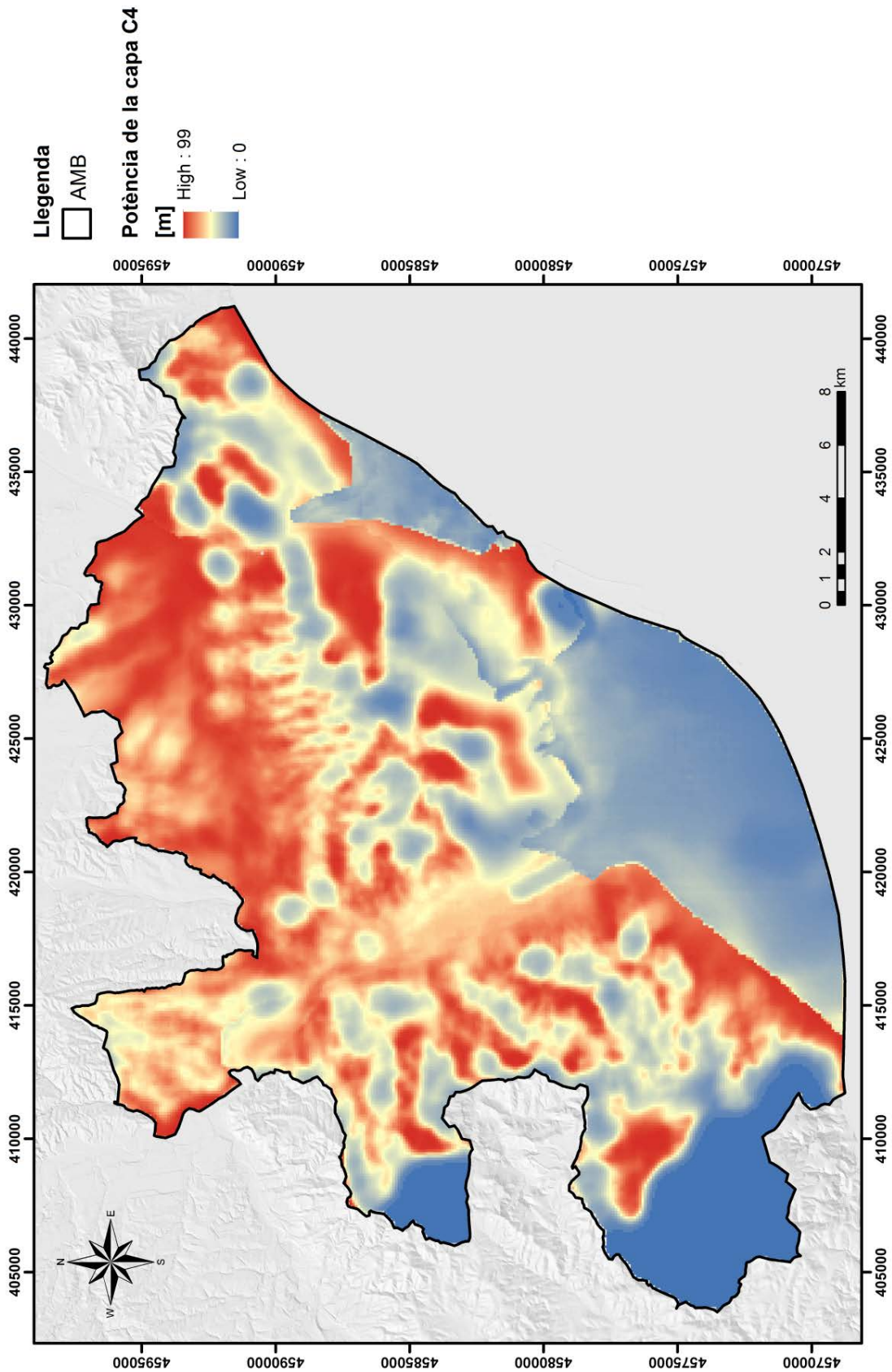


Fig A3.6: Mapa de guix de la capa 4.

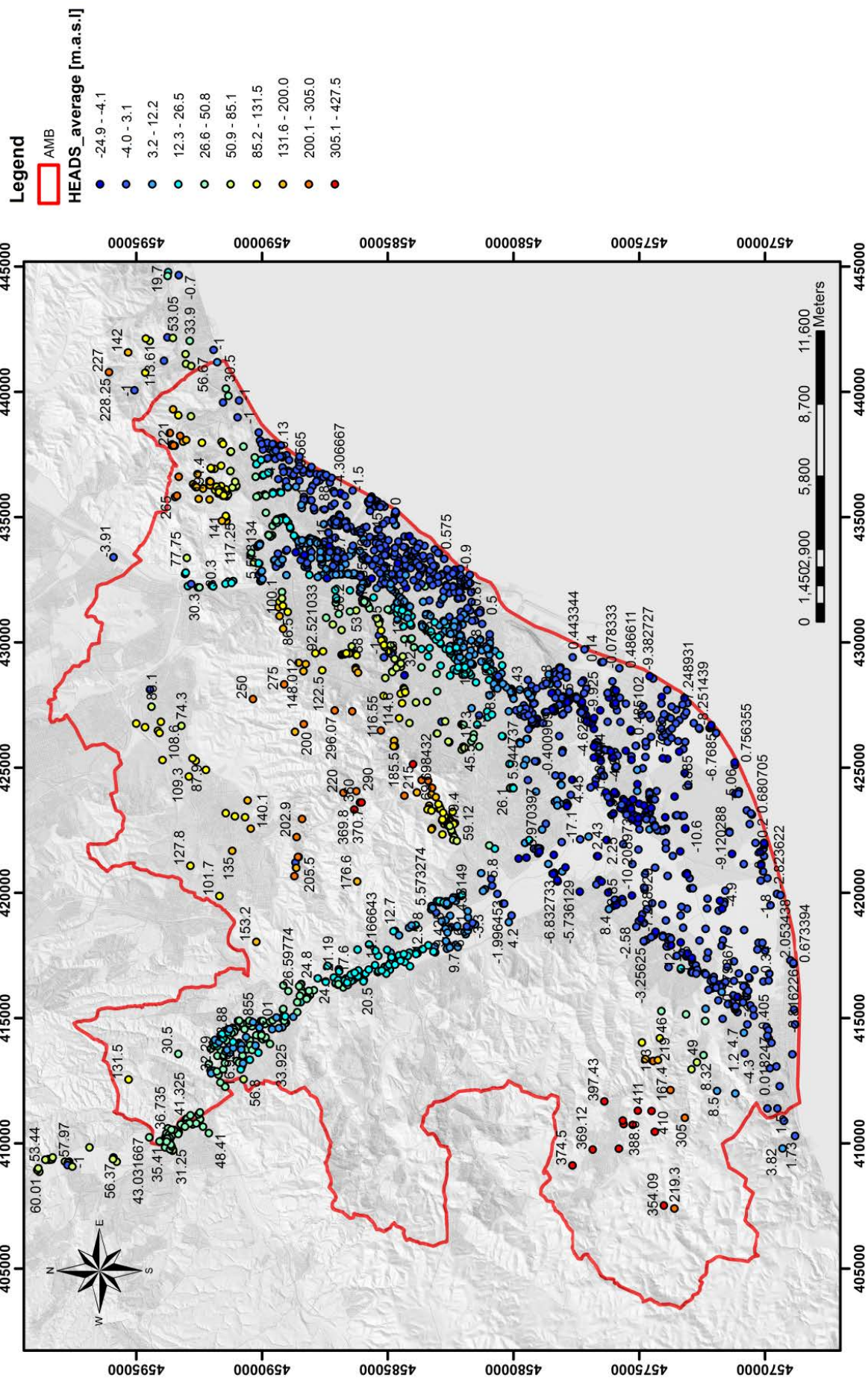


Fig. A3.7: Nivell piezomètric de l'aigua subterrània a AMIB

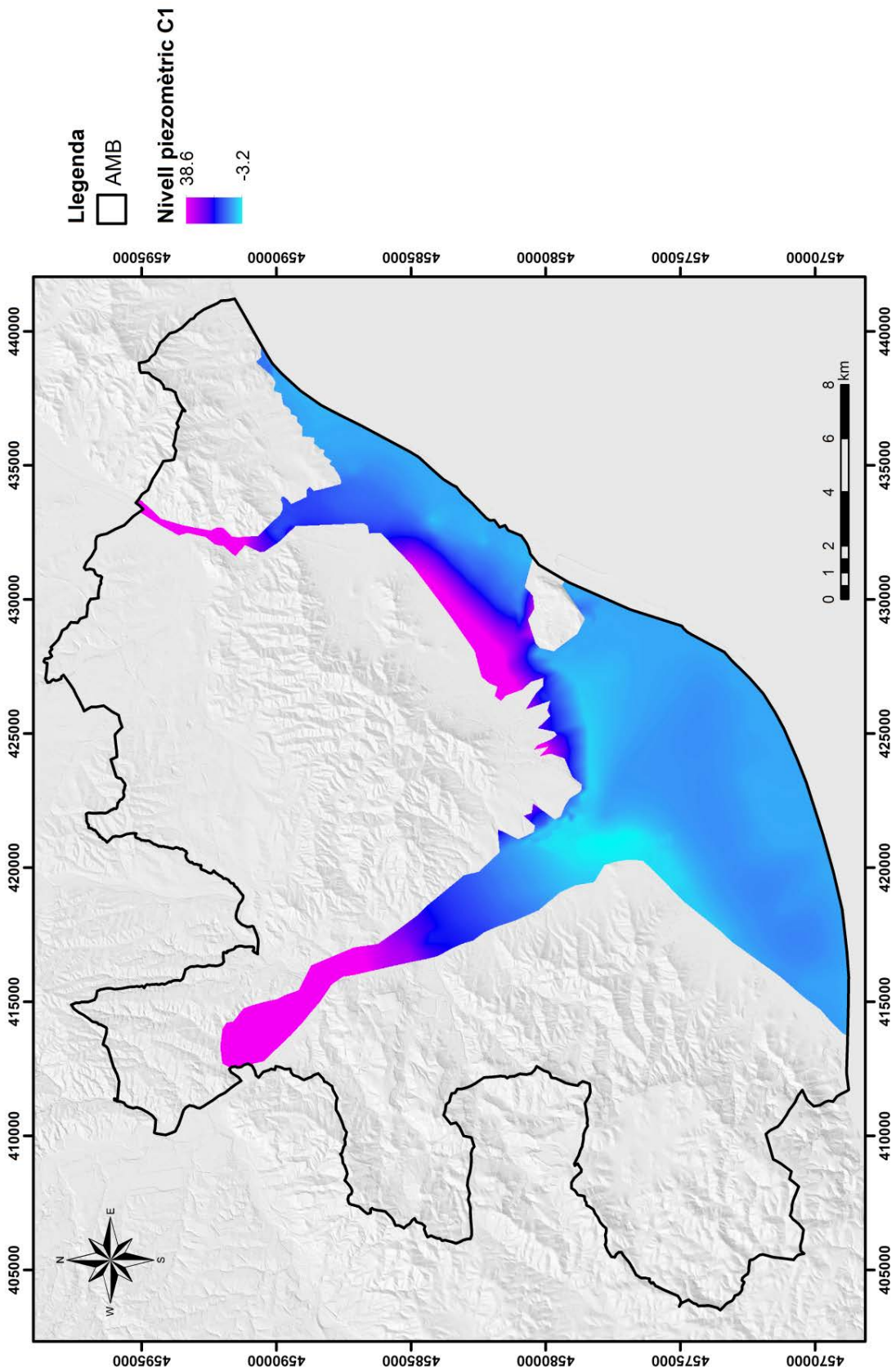


Fig A3.8: Superfície piezomètrica de la capa 1.

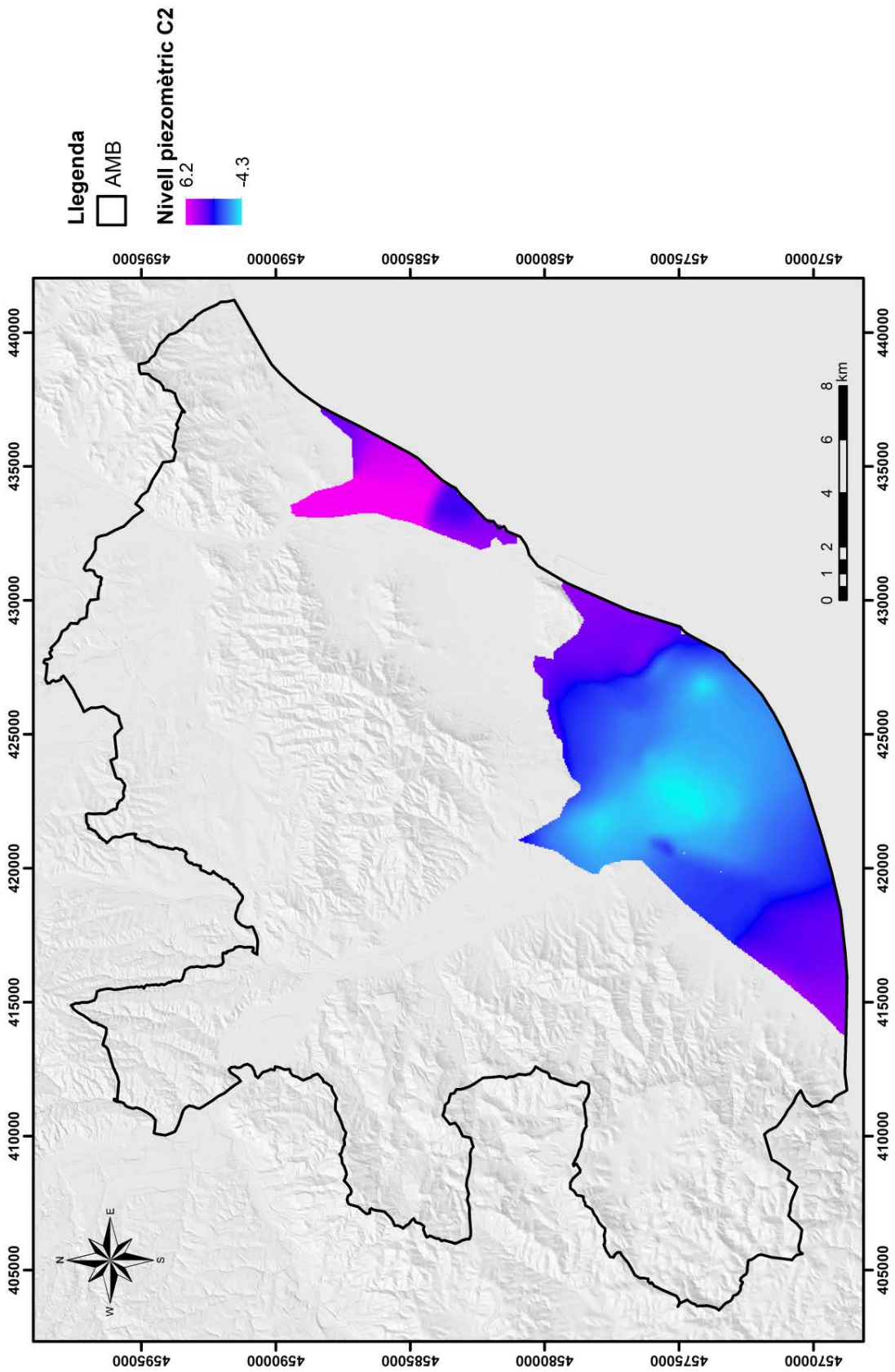


Fig A3.9: Superfície piezomètrica de la capa 2.

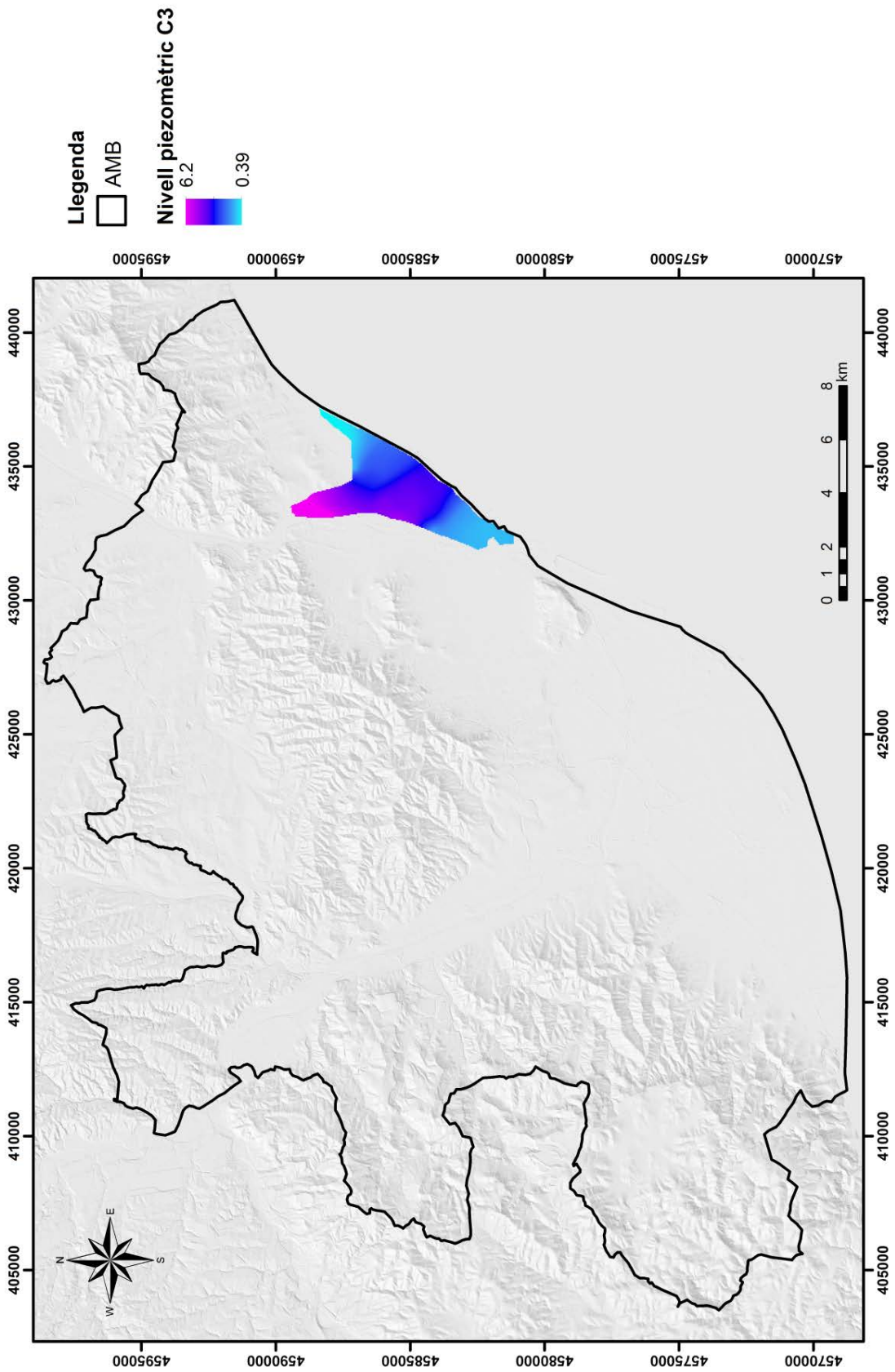


Fig A3.10: Superfície piezomètrica de la capa 3.

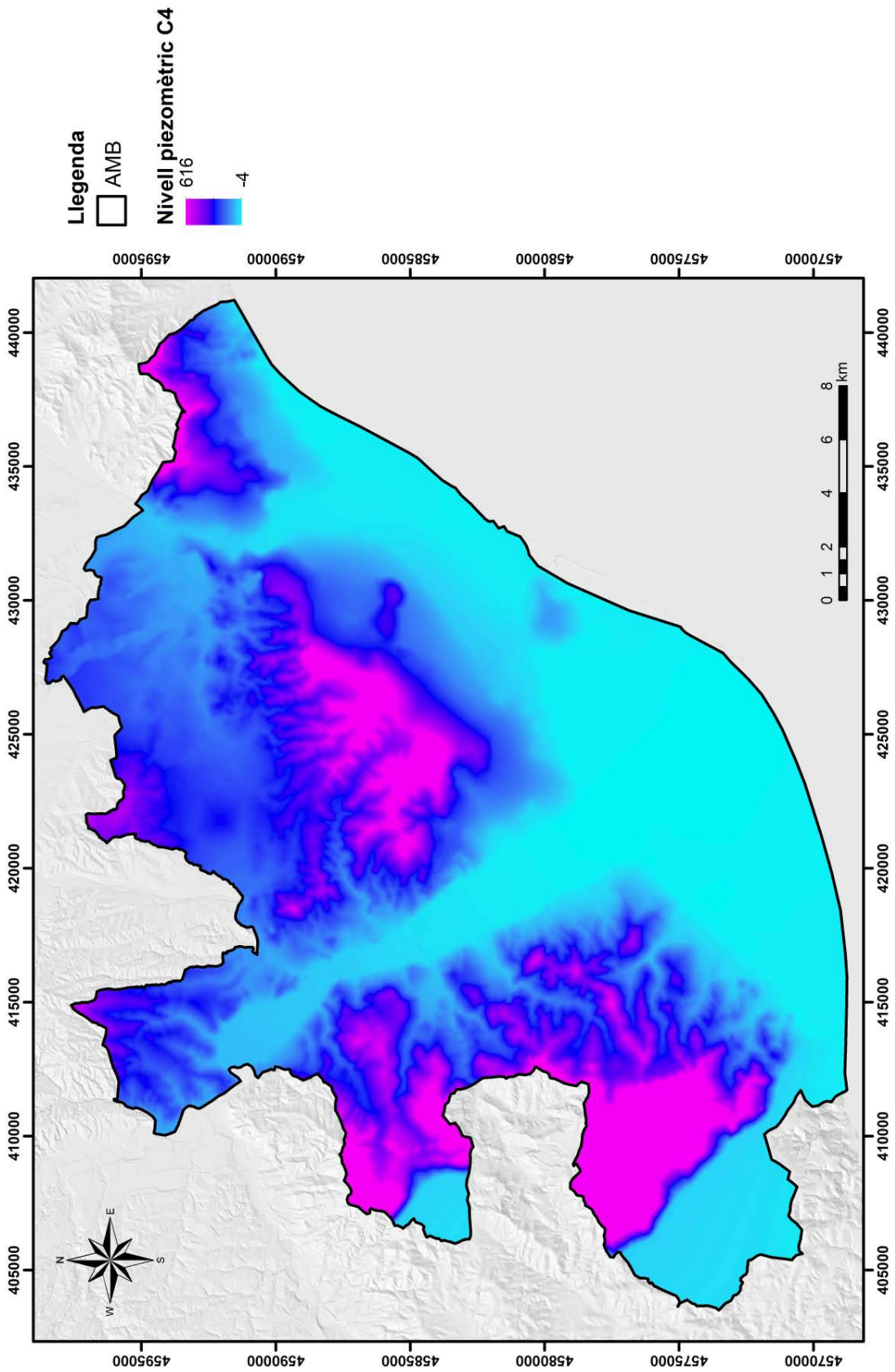


Fig A3.11: Superfície piezomètrica de la capa 4.

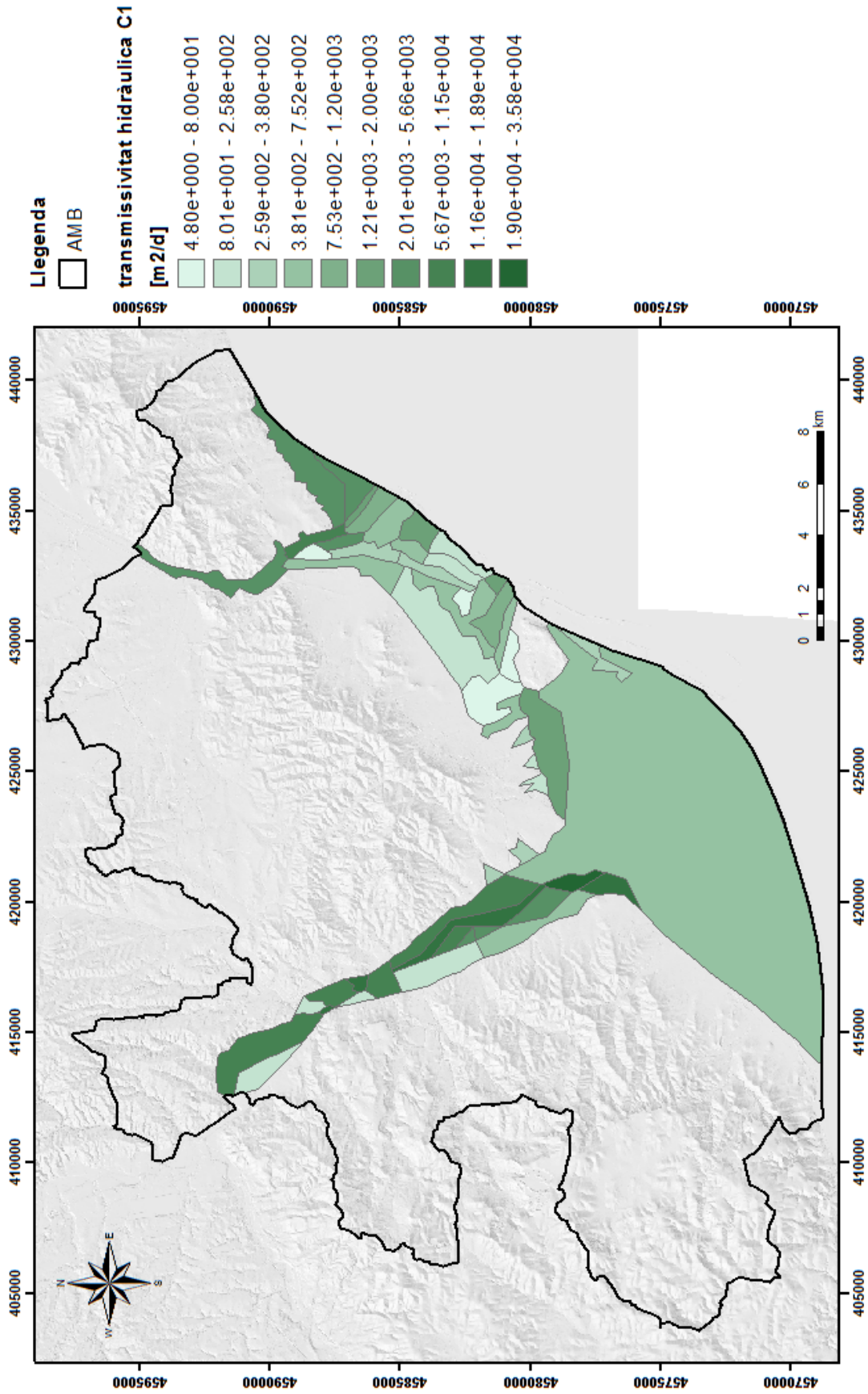


Fig A3.12: Mapa de transmissivitats de la capa 1.

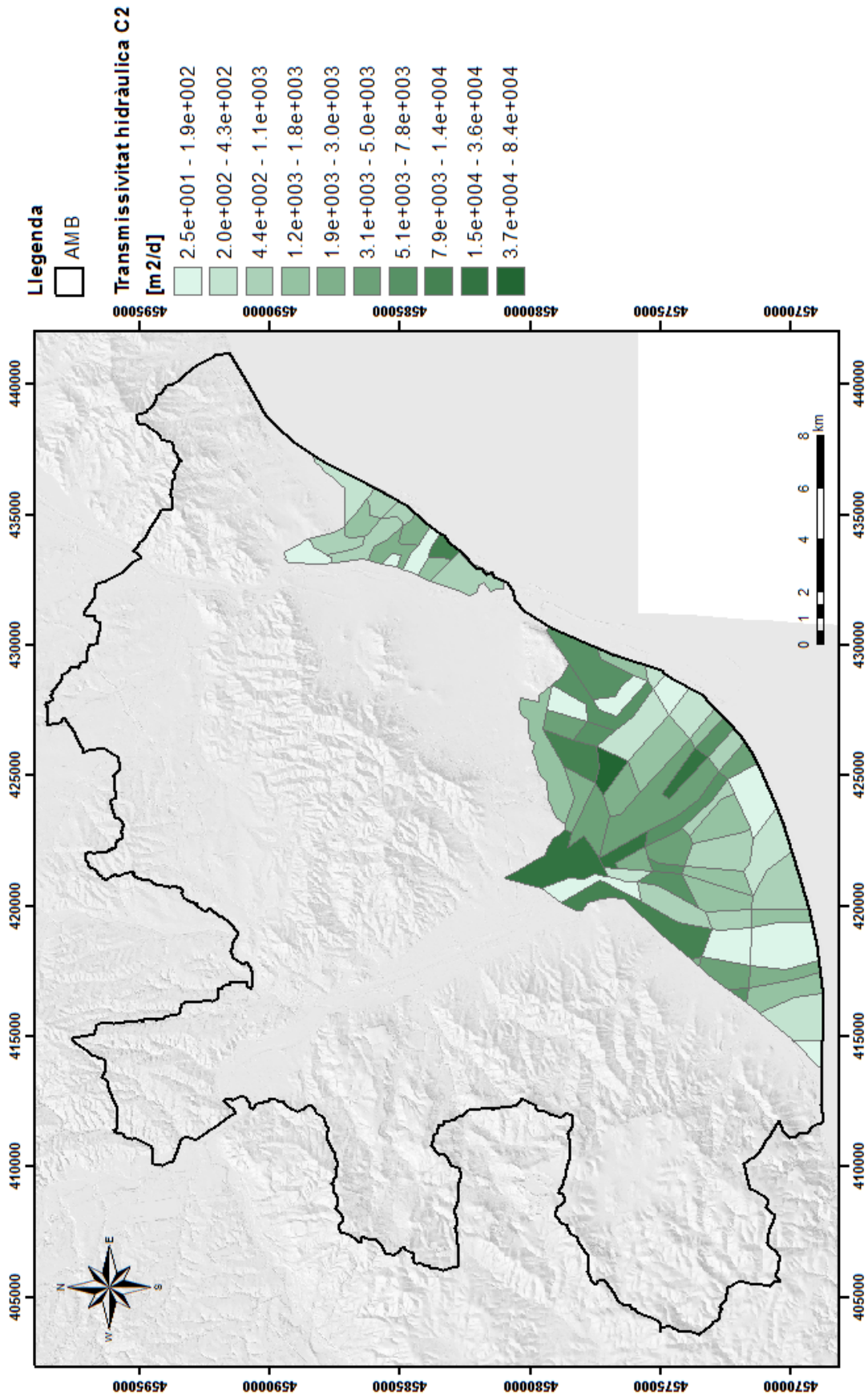


Fig A3.13: Mapa de transmissivitats de la capa 2.

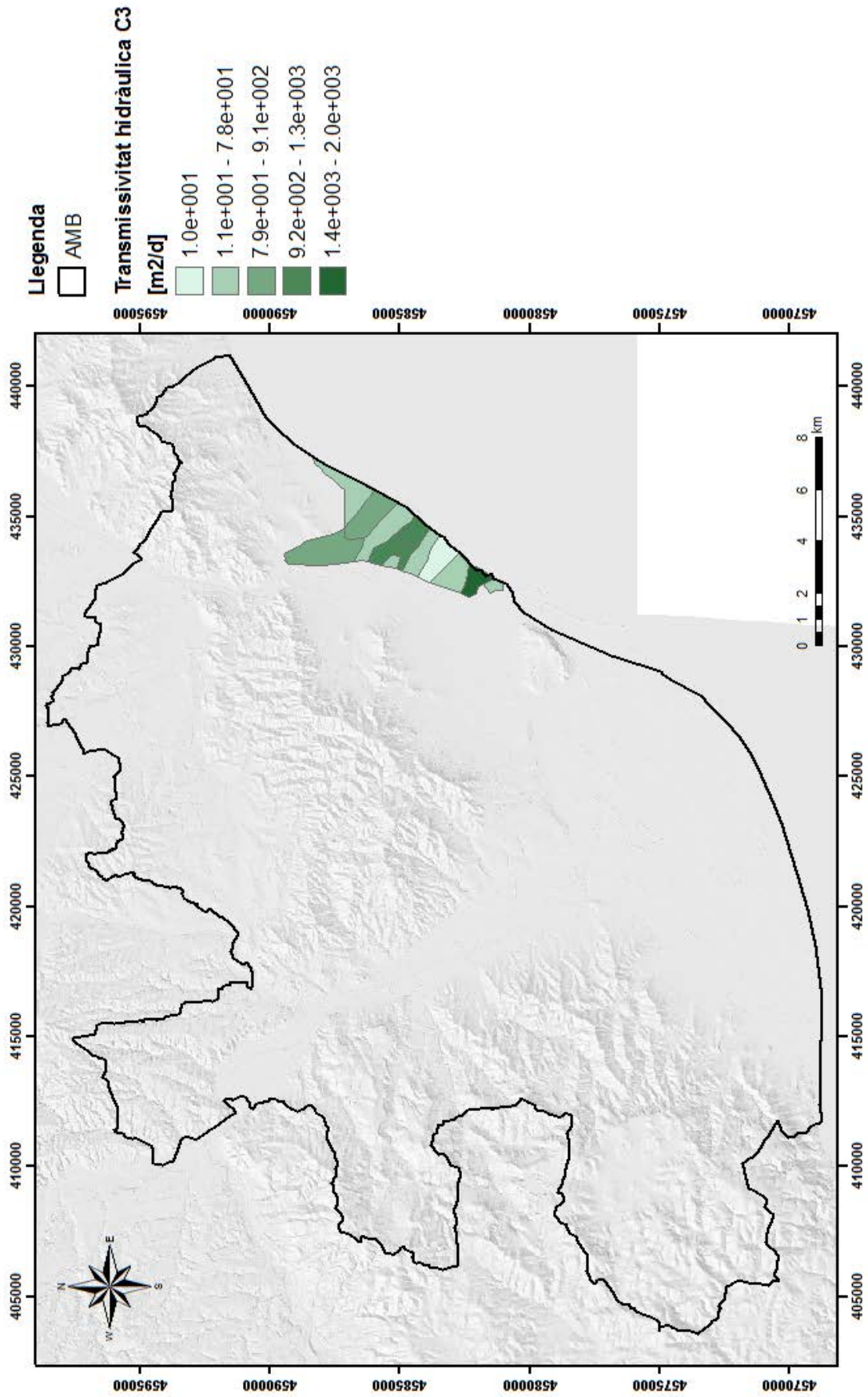


Fig A3.14: Mapa de transmissivitats de la capa 3.

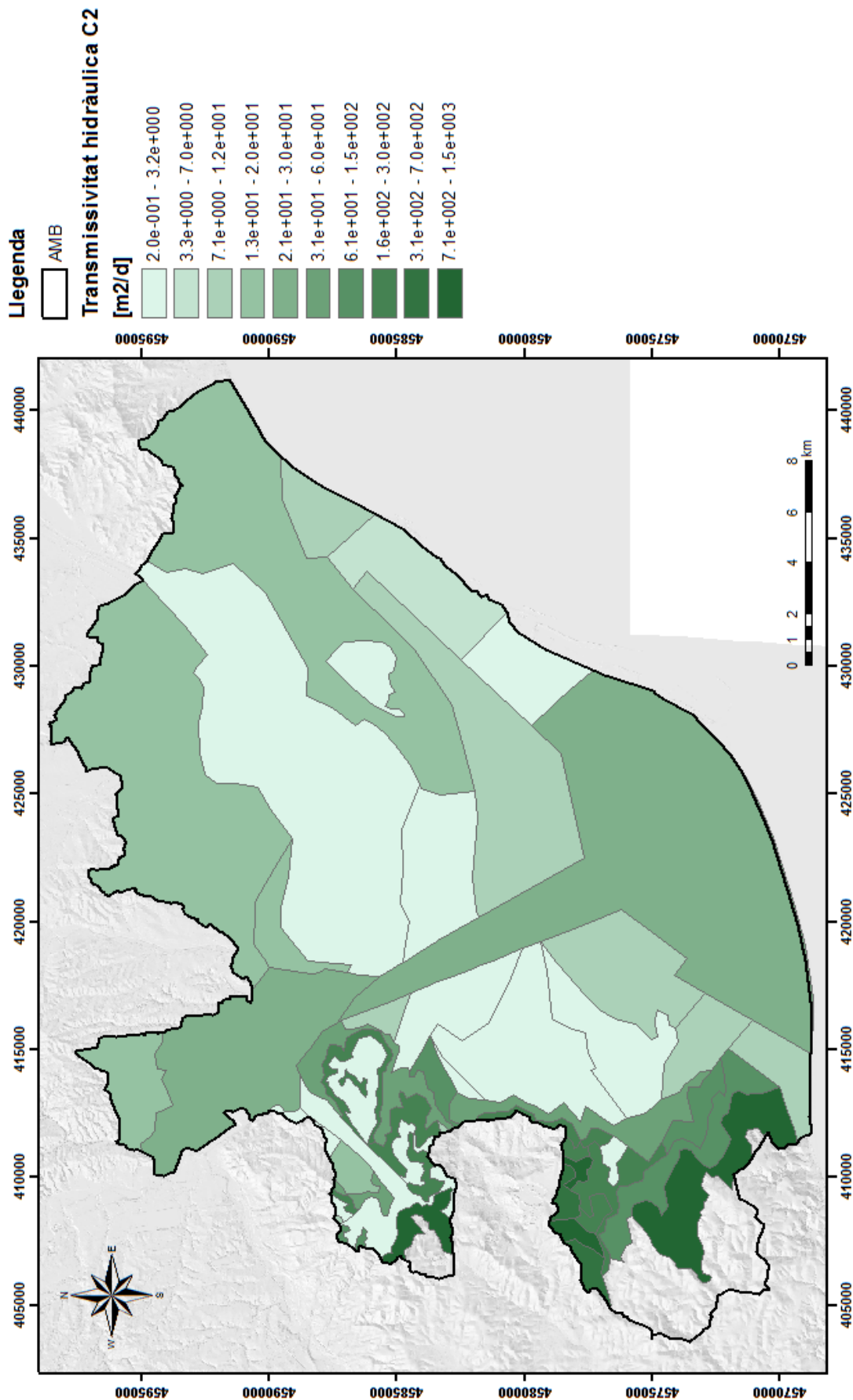


Fig A3.15: Mapa de transmissivitats de la capa 4.

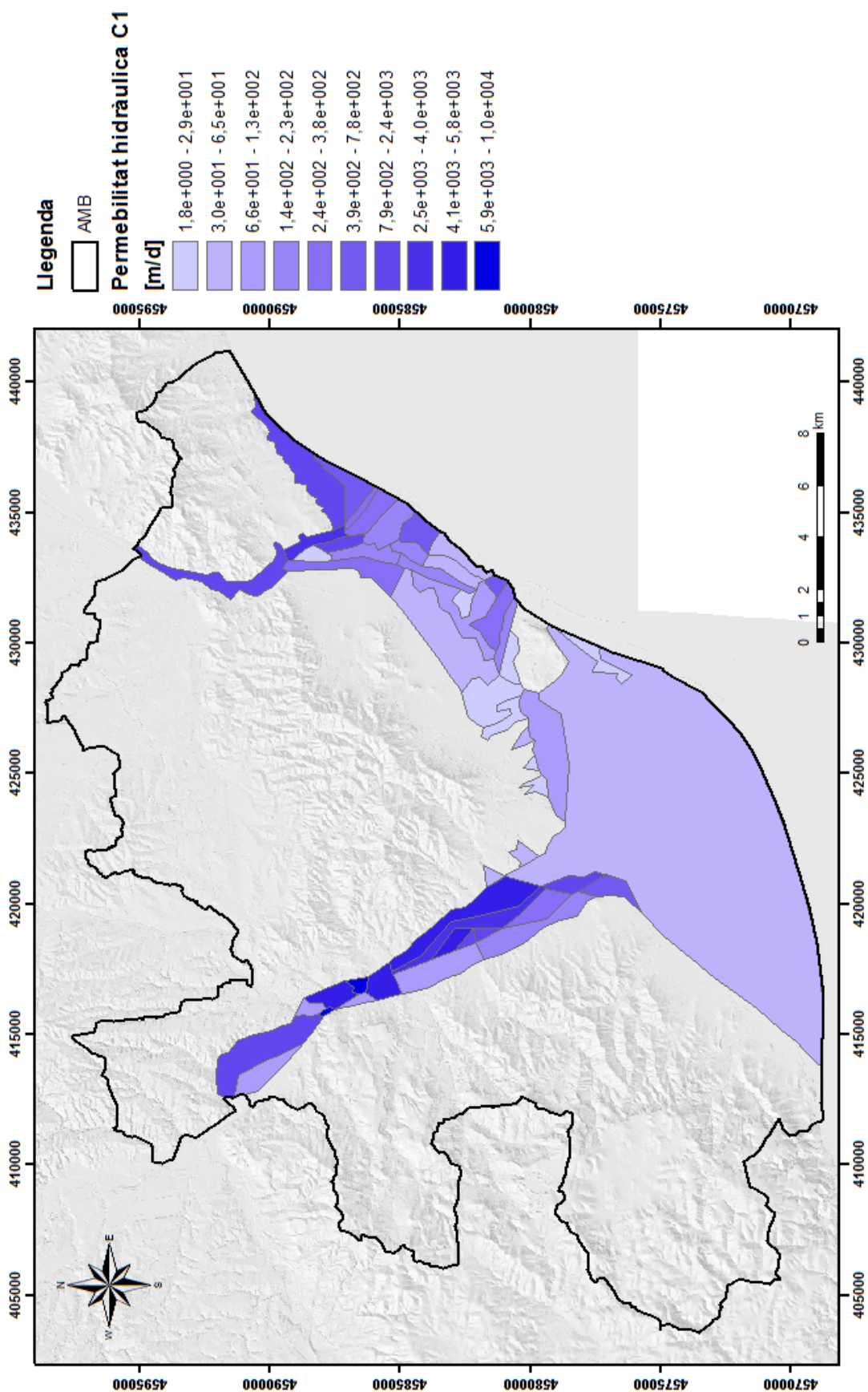


Fig A3.16: Mapa de la permeabilitat hidràulica de la capa 1.

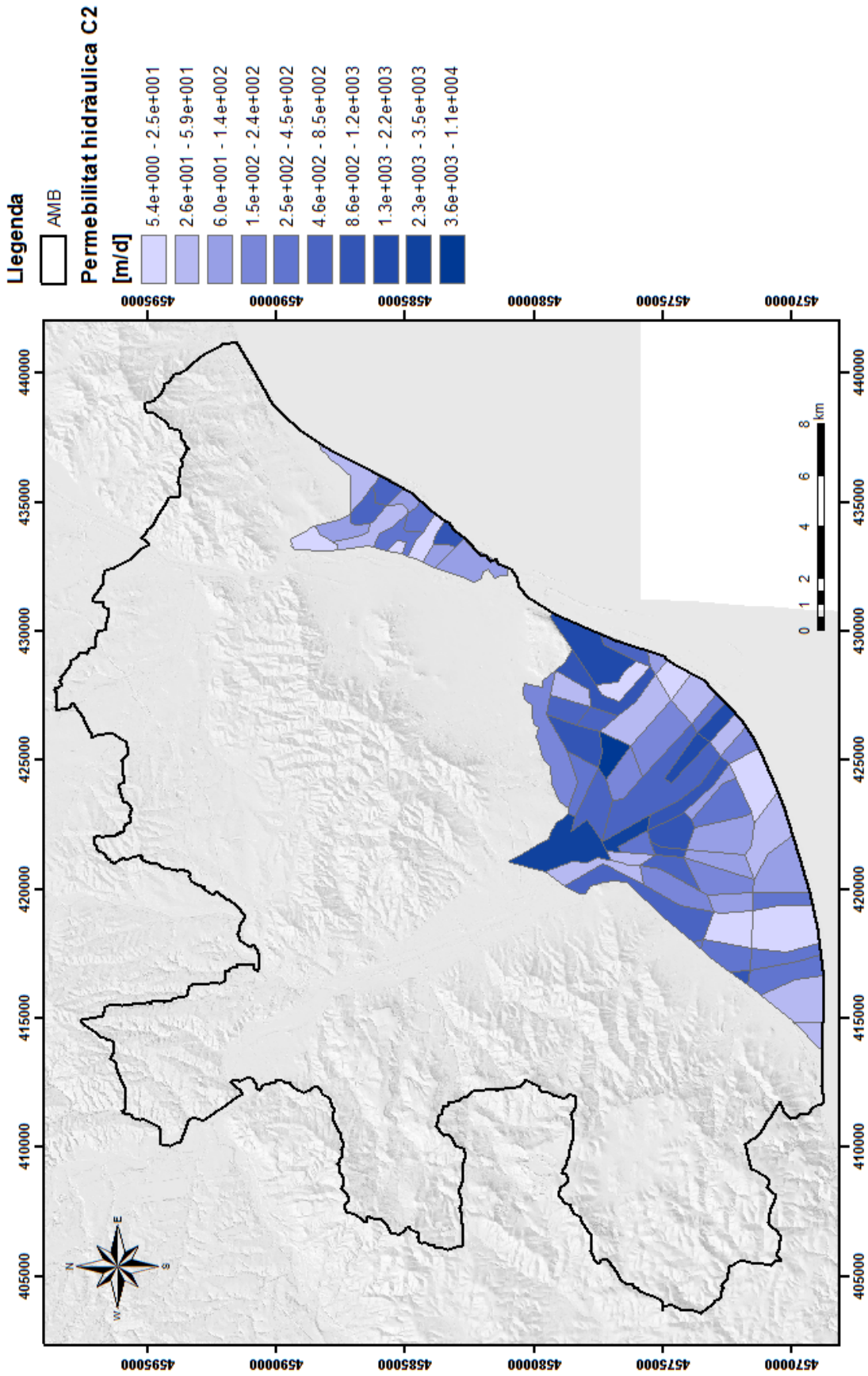


Fig A3.17: Mapa de la permeabilitat hidràulica de la capa 2.

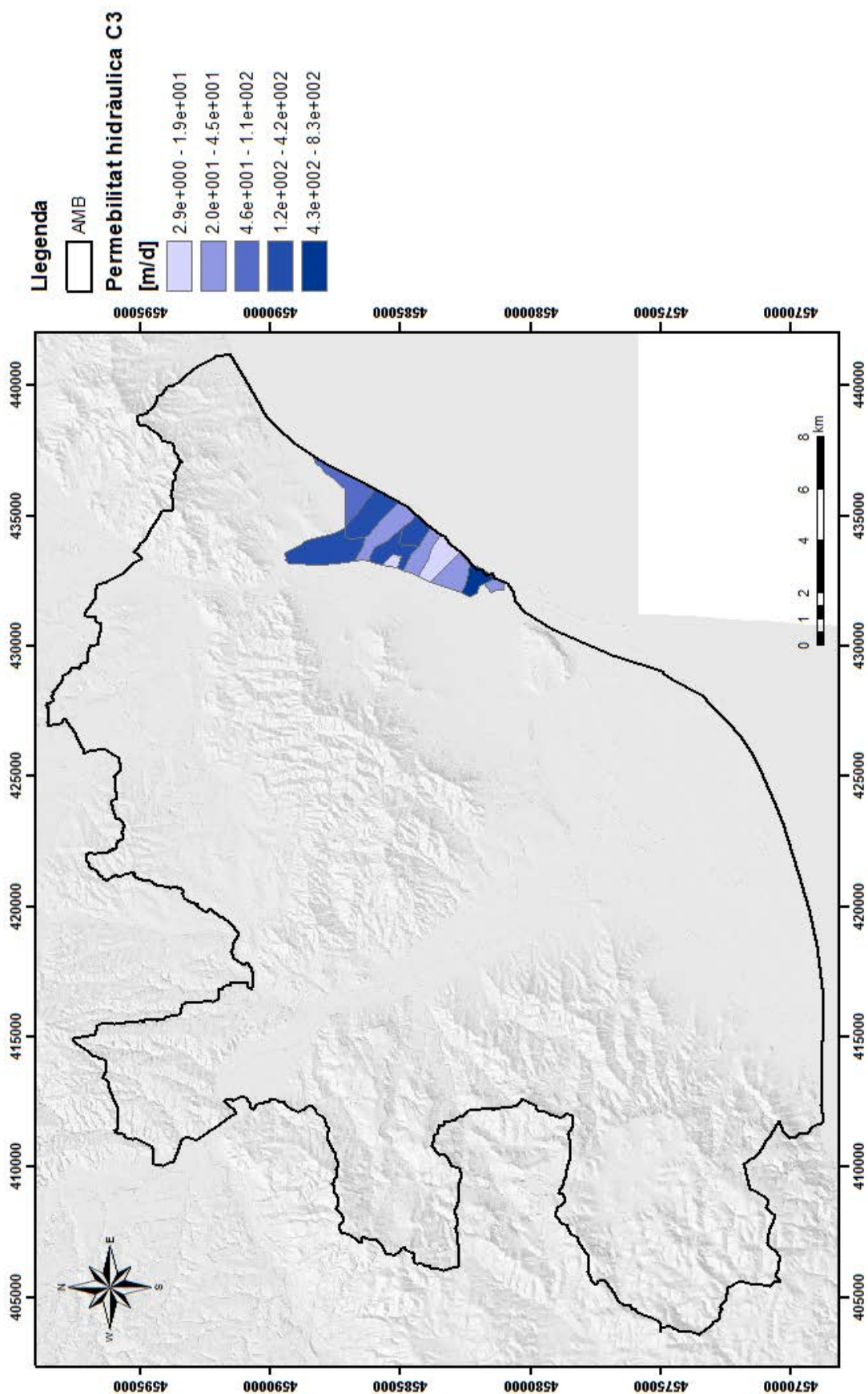


Fig A3.18: Mapa de la permeabilitat hidràulica de la capa 3.

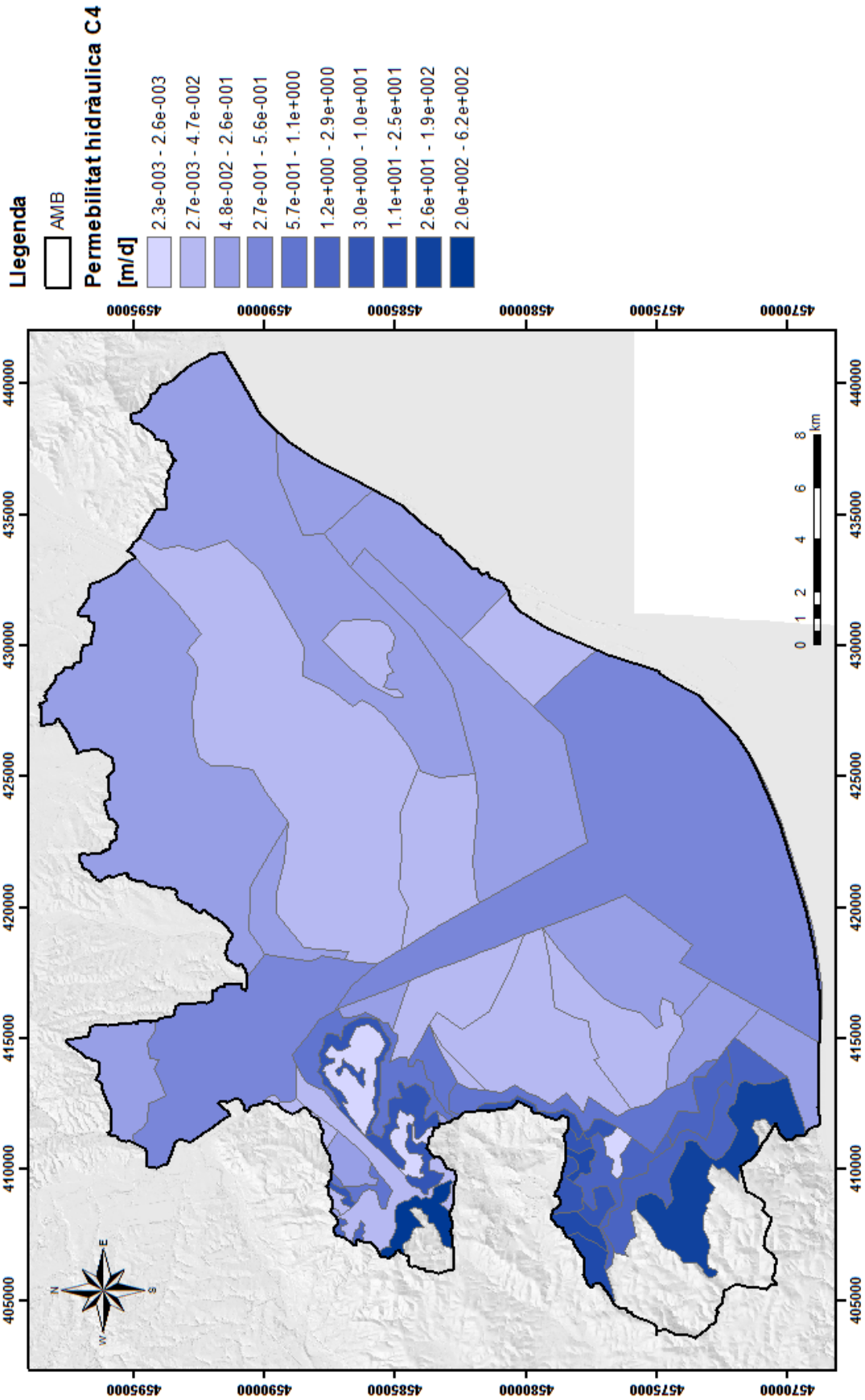


Fig A3.19: Mapa de la permeabilitat hidràulica de la capa 4.

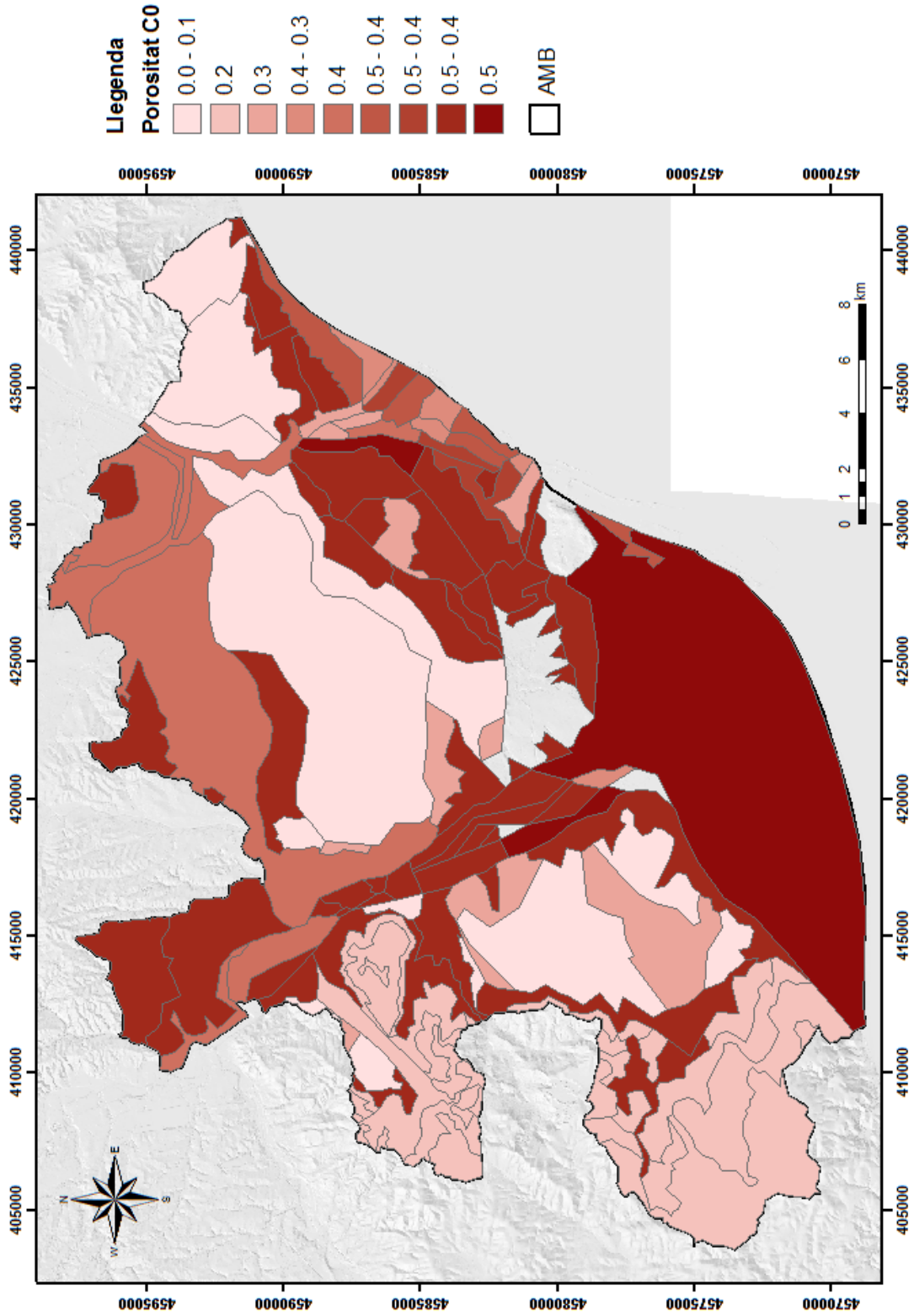


Fig A3.20: Mapa de porositats de la capa 0.

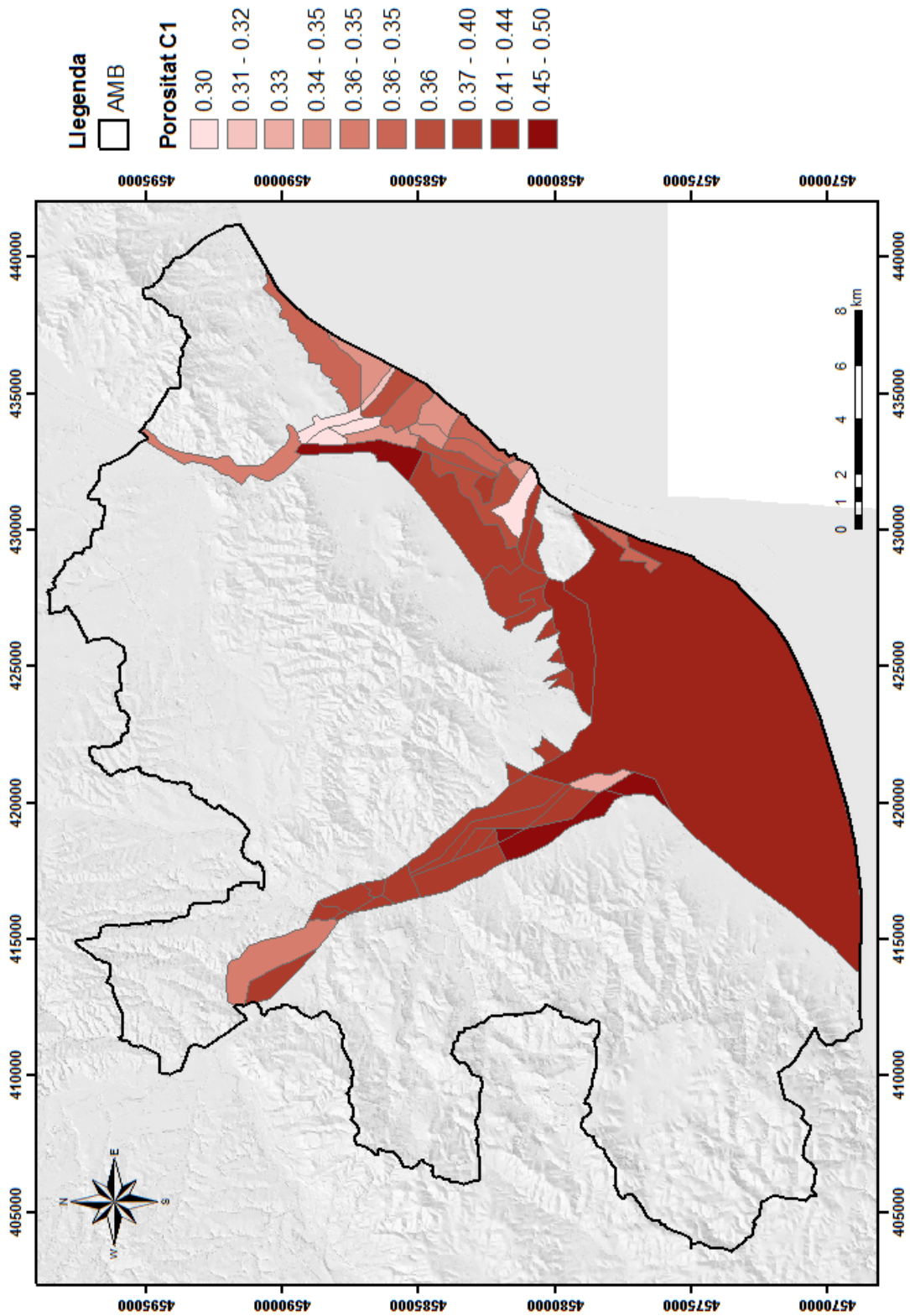


Fig A3.21: Mapa de porositats de la capa 1.

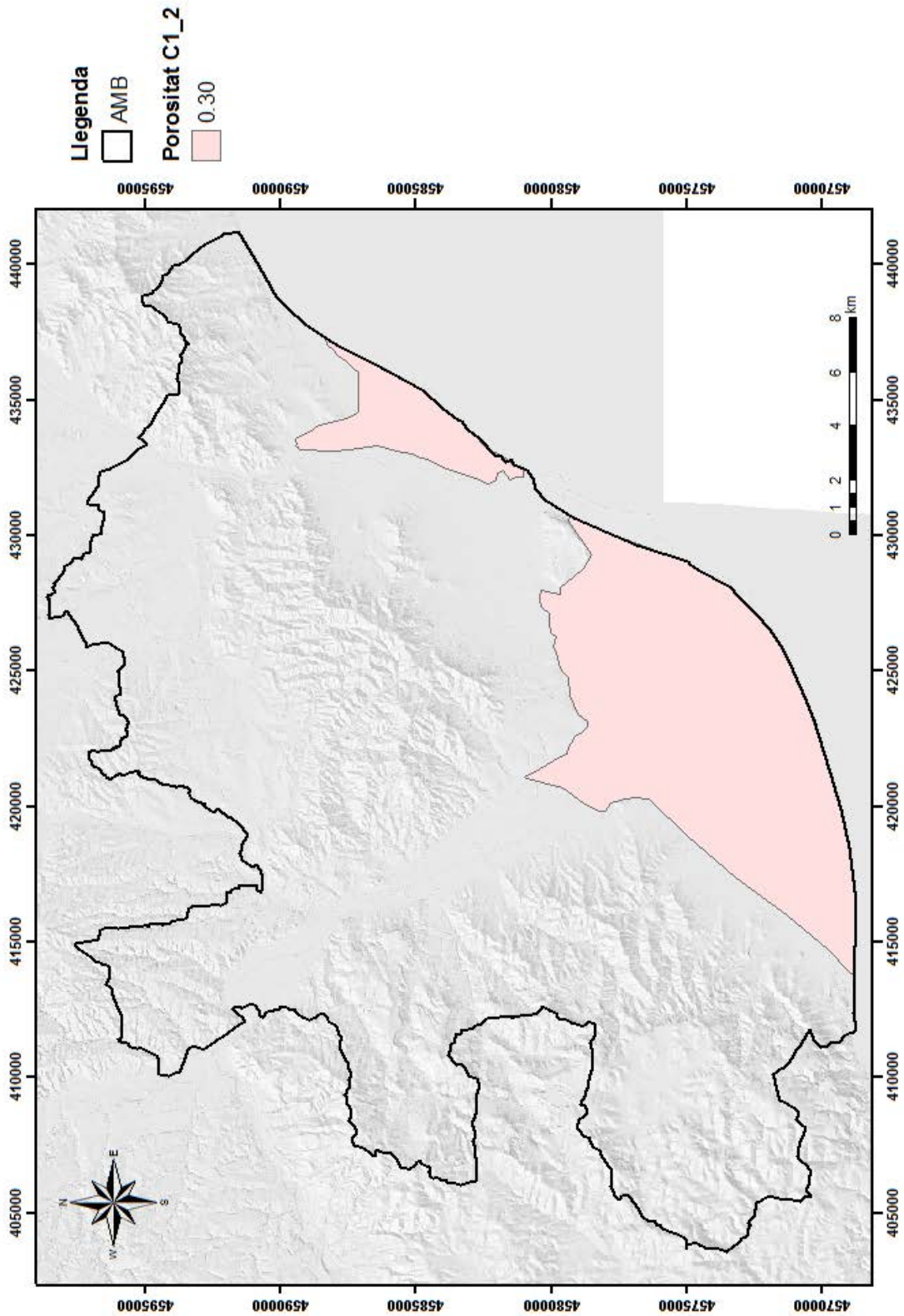


Fig A3.22: Mapa de porositats de la capa 1_2.

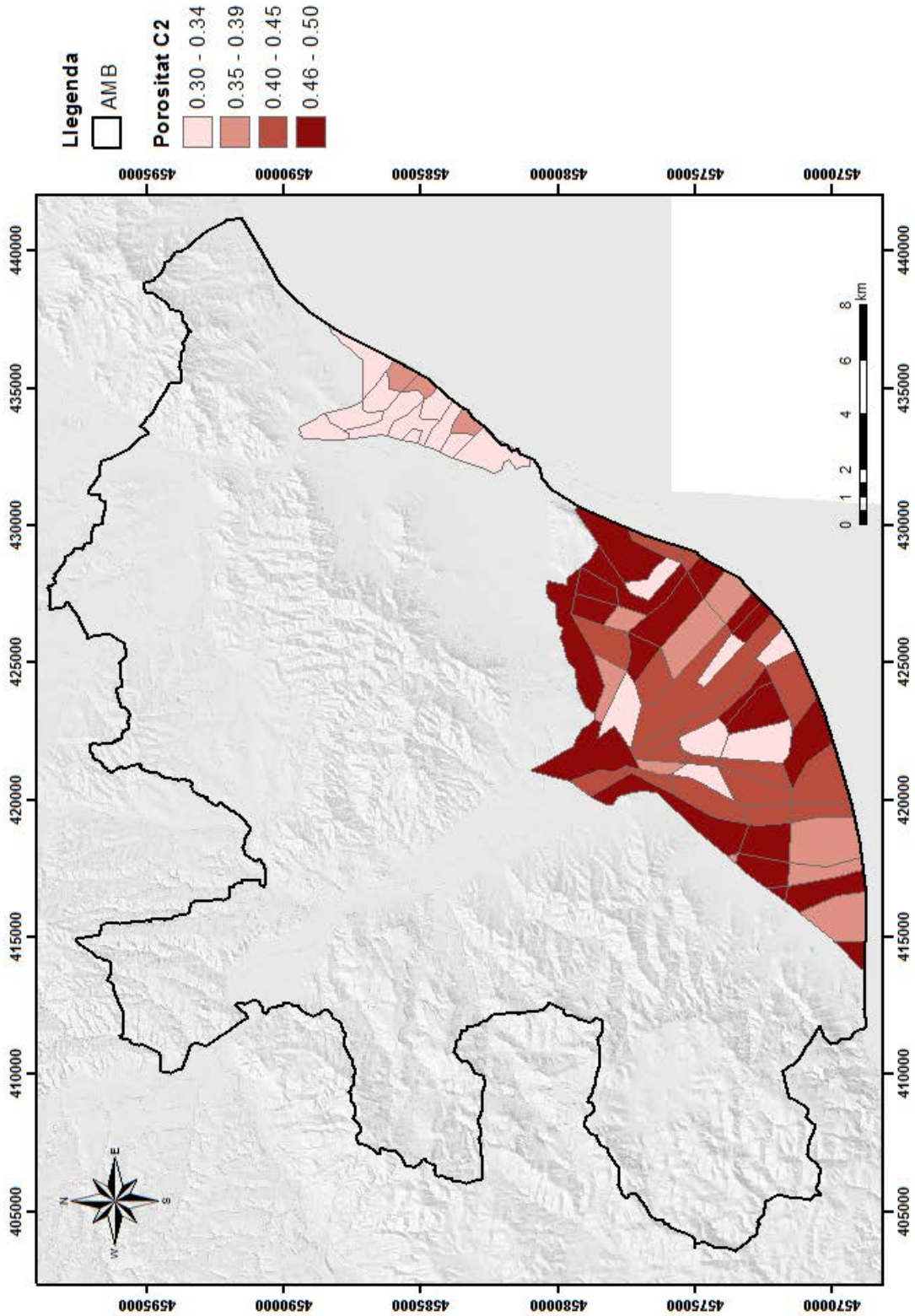


Fig A3.23: Mapa de porositats de la capa 2.

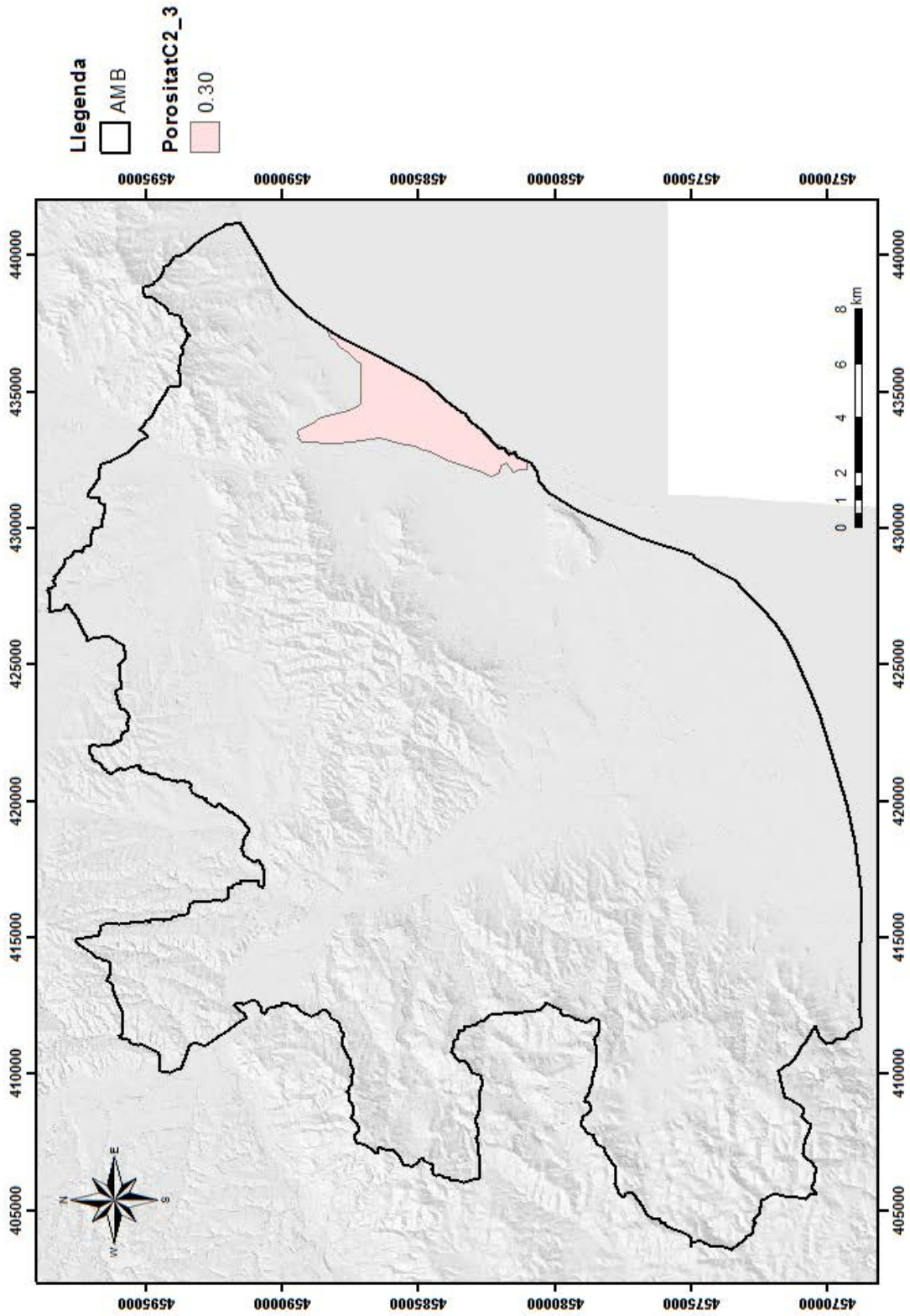


Fig A3.24: Mapa de porositats de la capa 2_3.

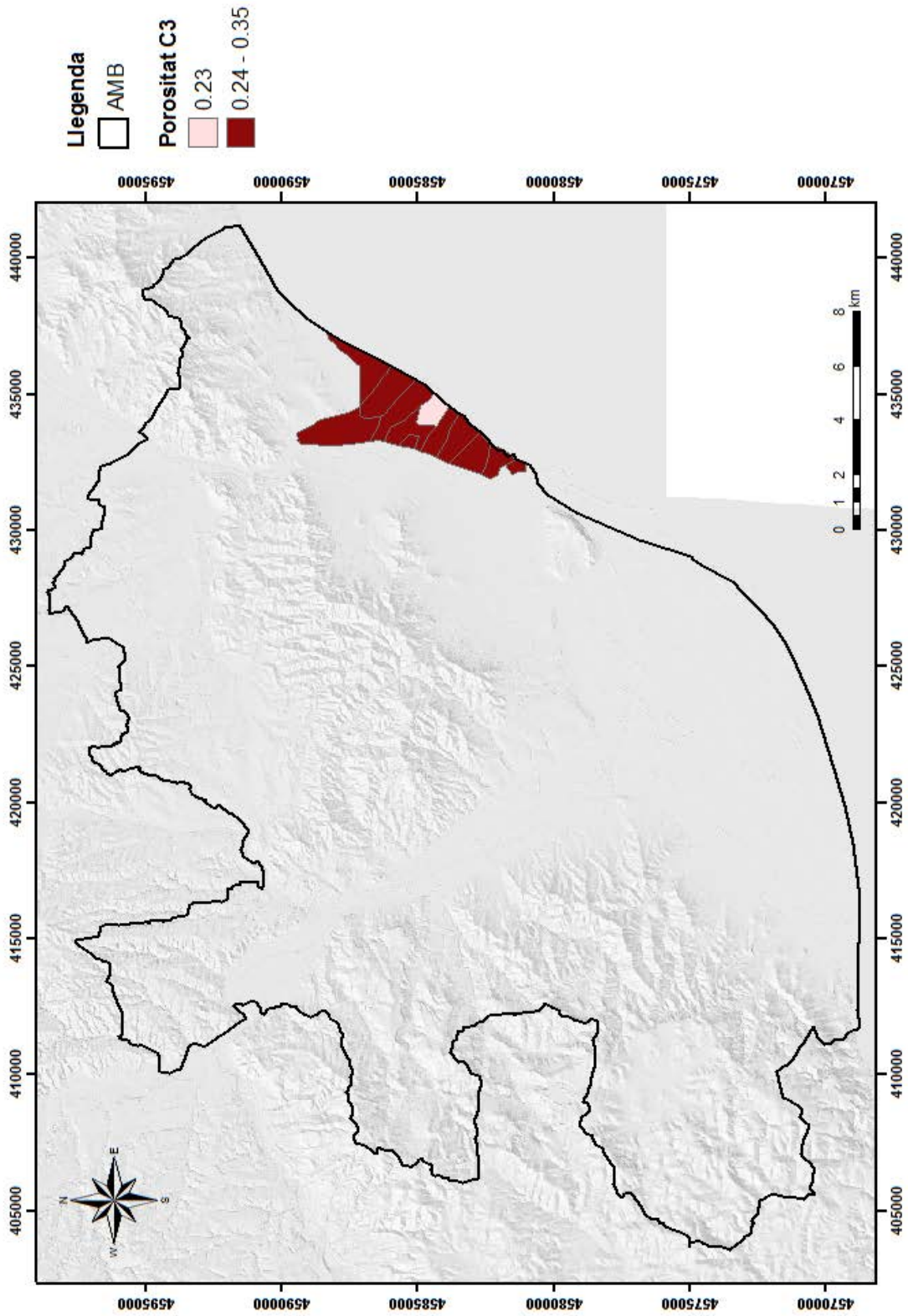


Fig A3.25: Mapa de porositats de la capa 3.

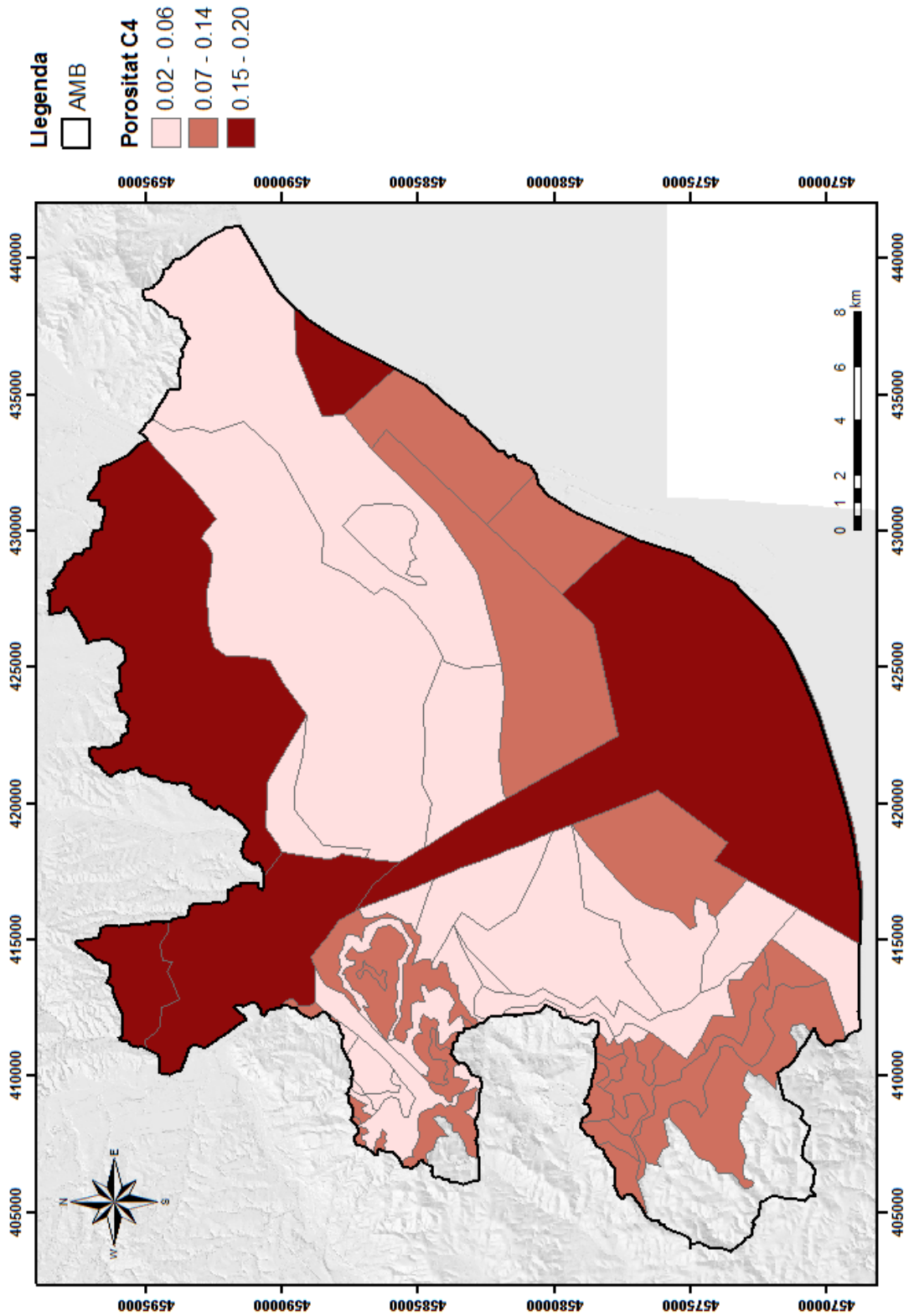


Fig A3.26: Mapa de porositats de la capa 4.

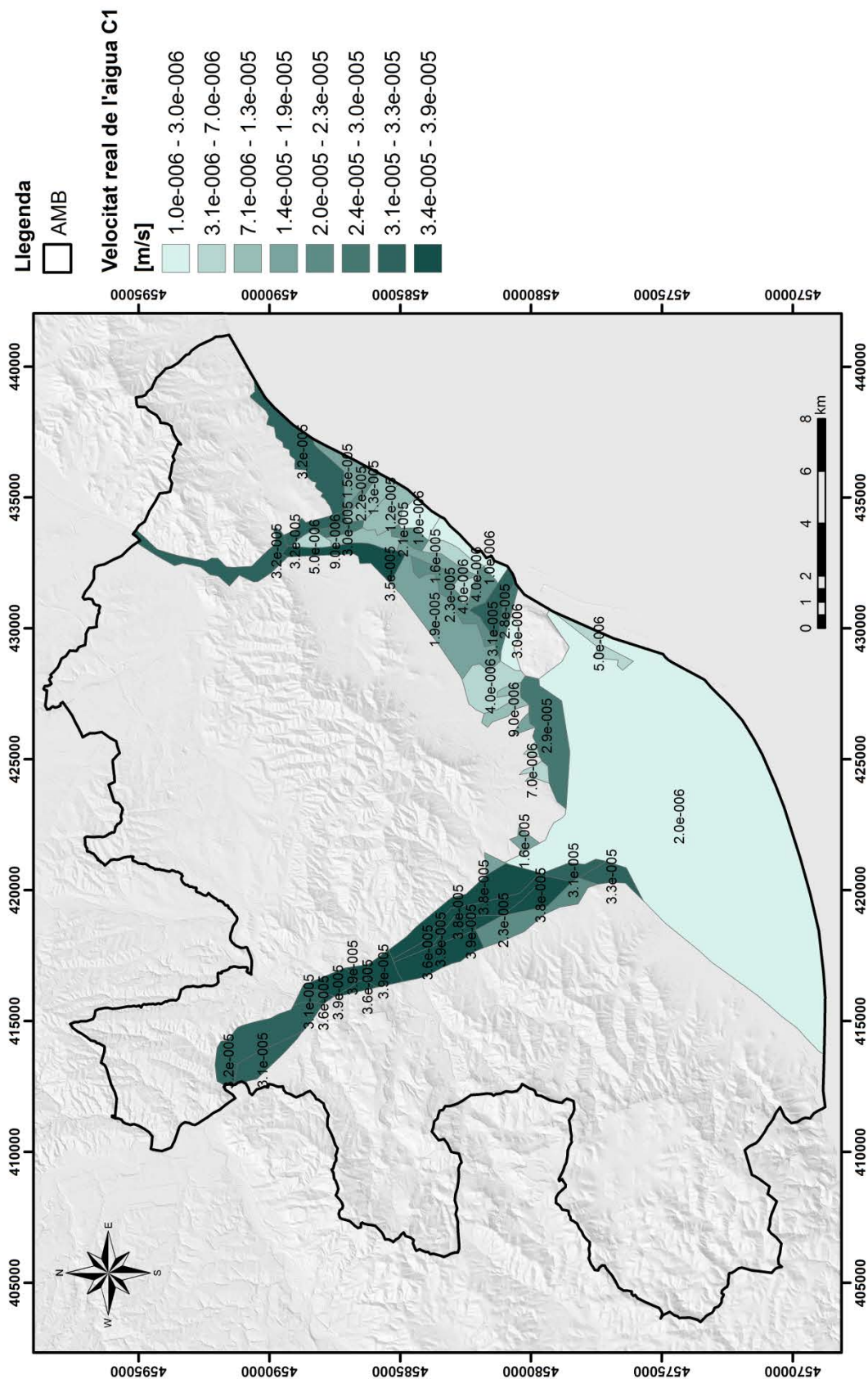


Fig A3.27: Mapa de velocitat real de l'aigua subterrània de la capa 1.

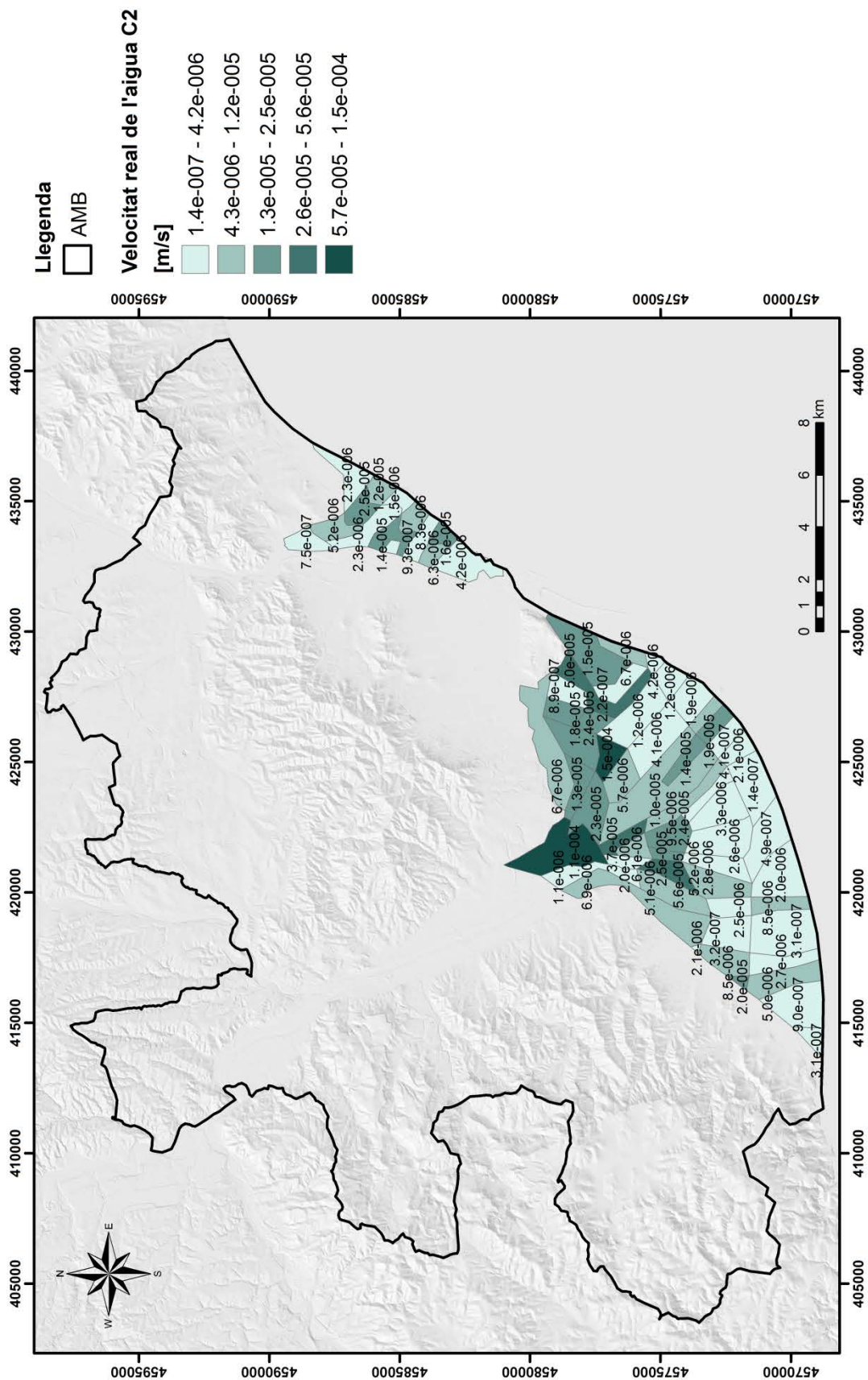


Fig A3.28: Mapa de velocitat real de l'aigua subterrània de la capa 2.

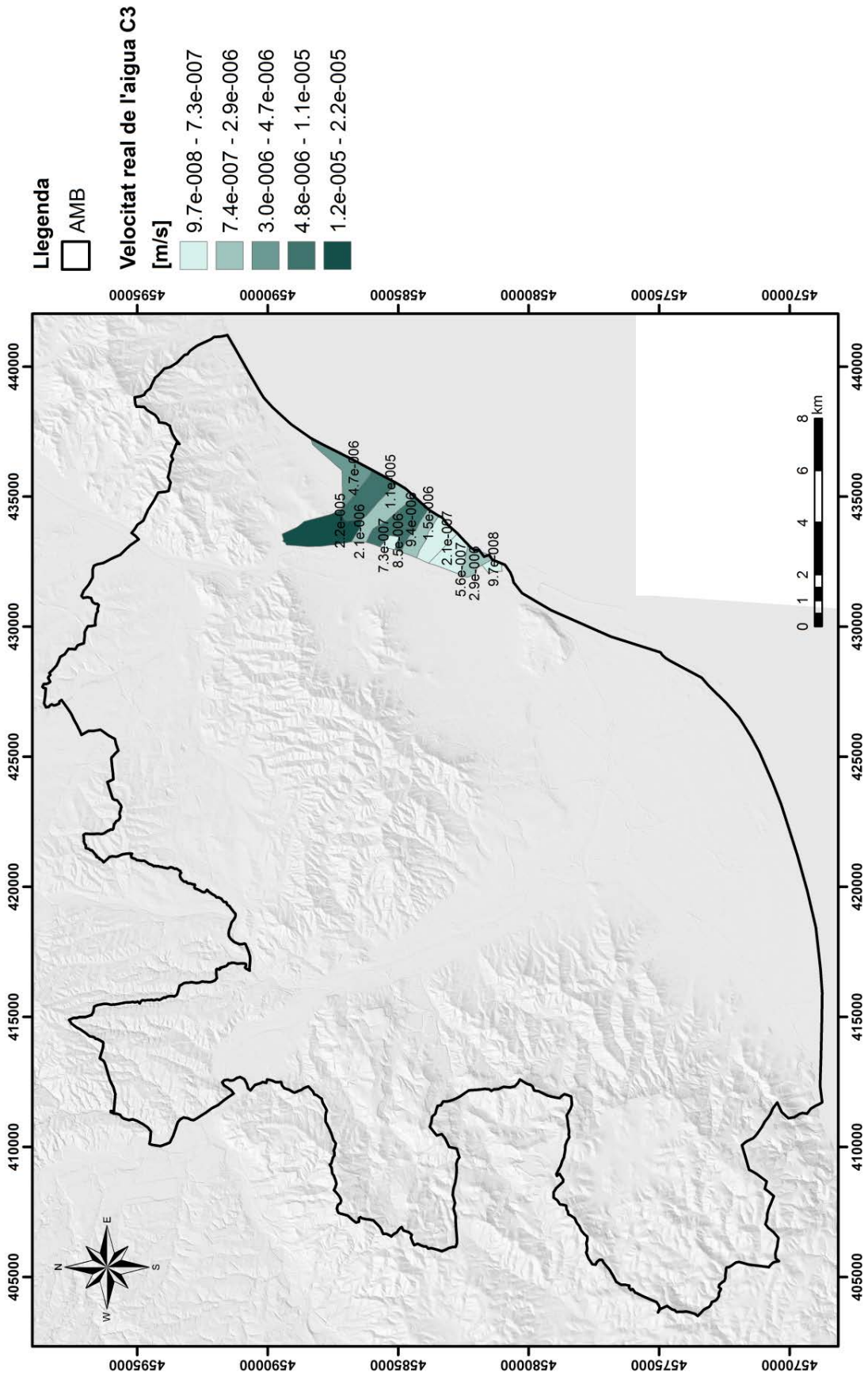


Fig A3.29: Mapa de velocitat real de l'aigua subterrània de la capa 3.

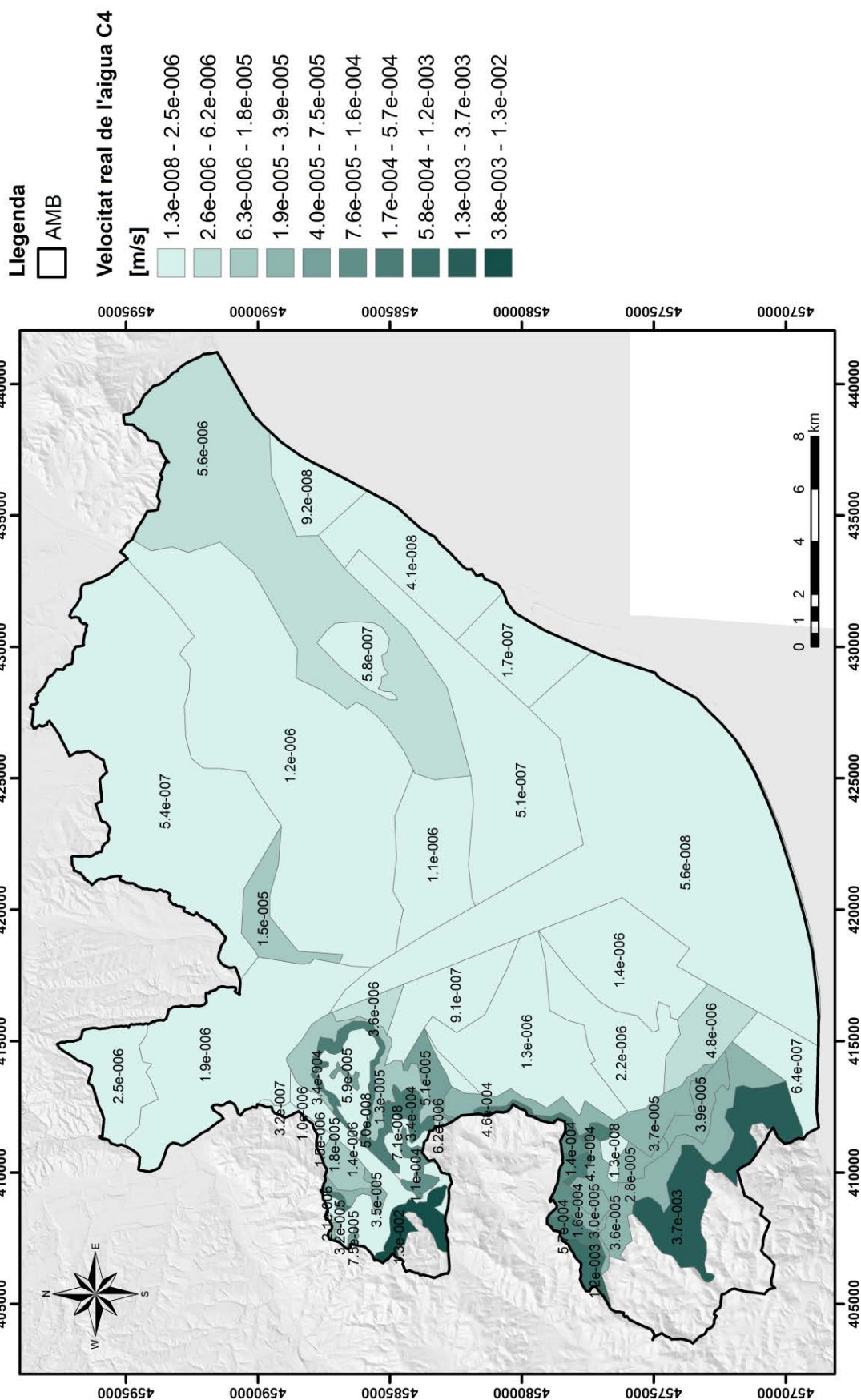


Fig A3.30: Mapa de velocitat real de l'aigua subterrània de la capa 4.

ANNEX 4 PARÀMETRES GEOTÈRMICS 1

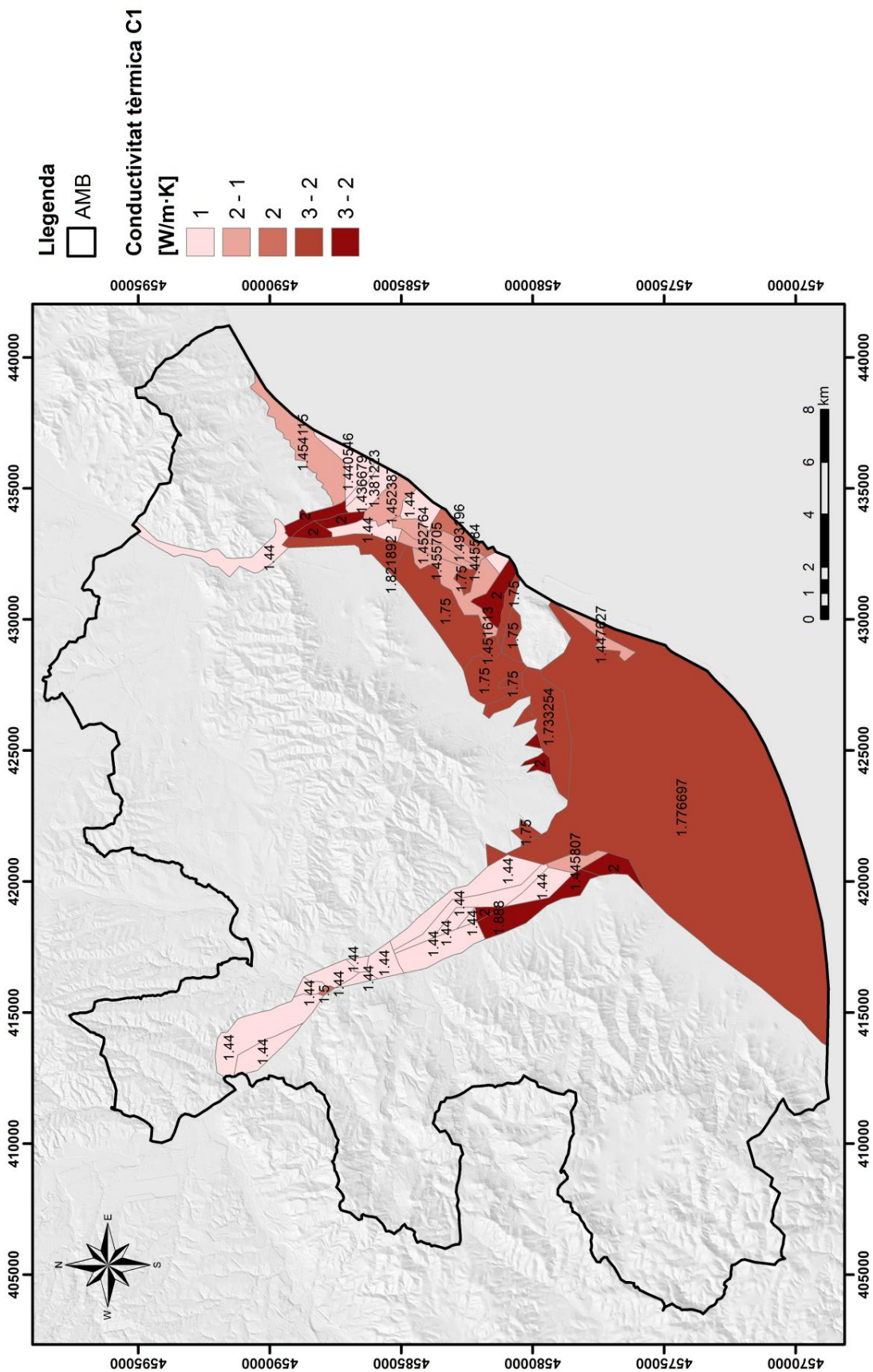


Fig A4.2: Mapa de conductivitat tèrmica de la capa 1.

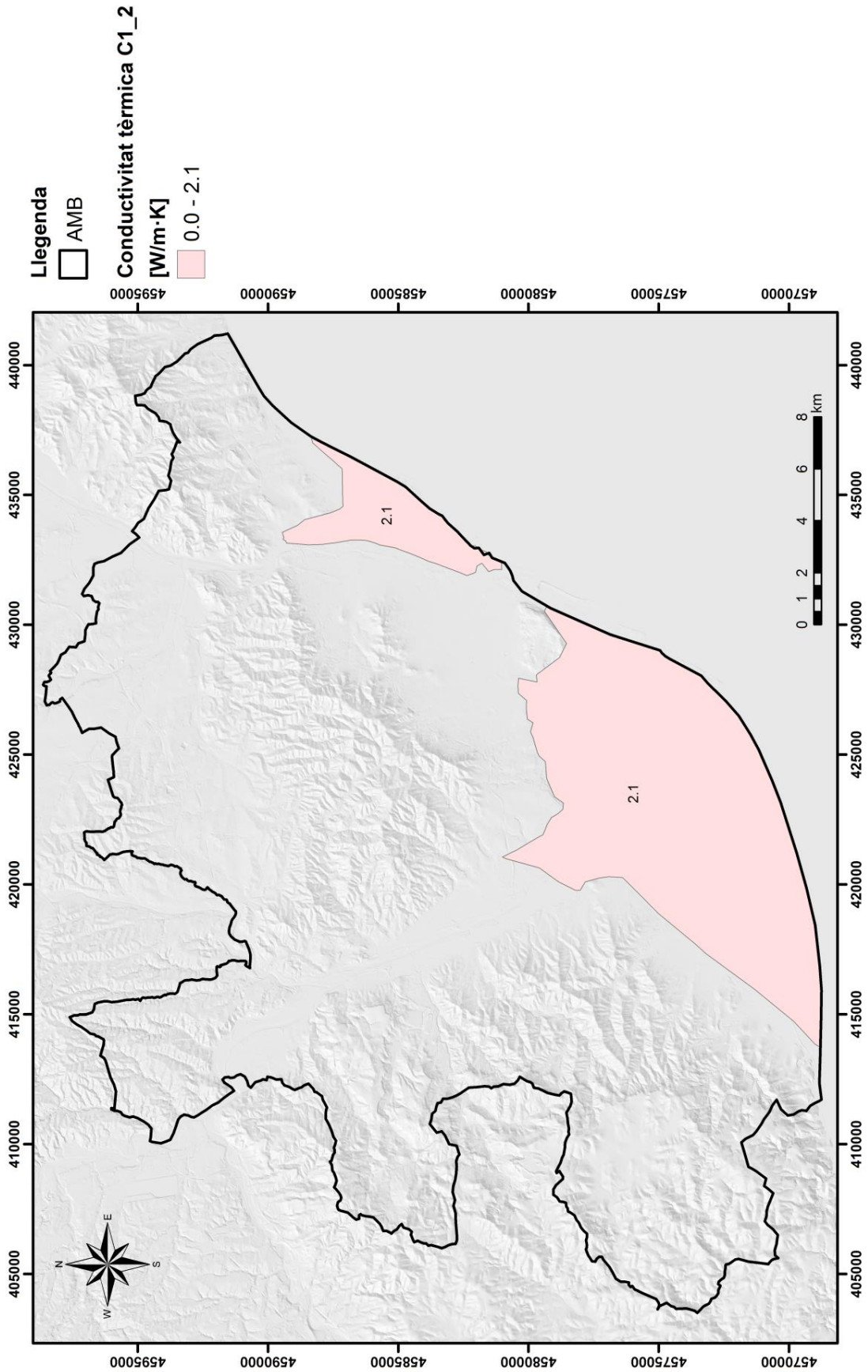


Fig A4.3: Mapa de conductivitat tèrmica de la capa 1_2.

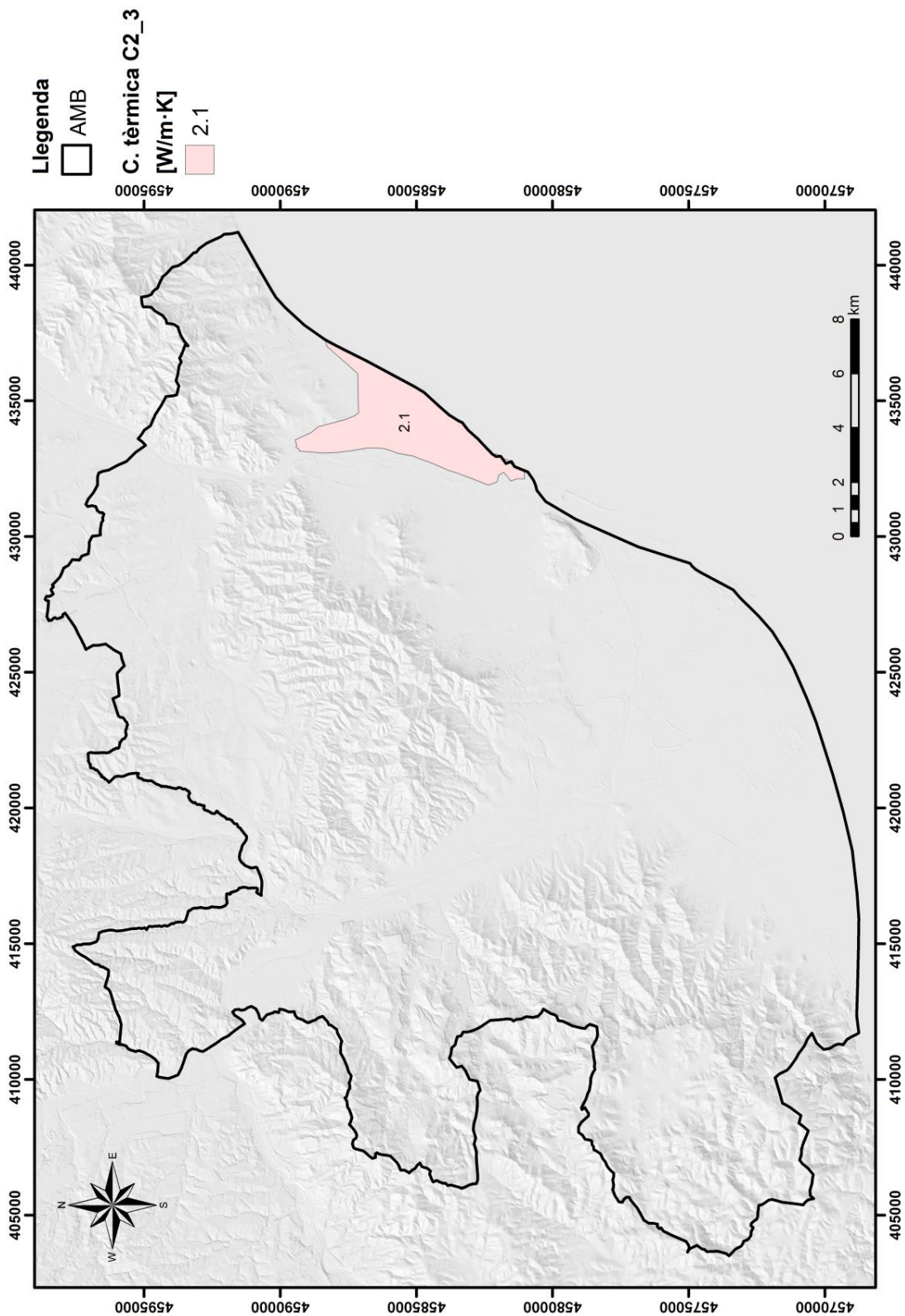


Fig A4.5: Mapa de conductivitat tèrmica de la capa 2_3.

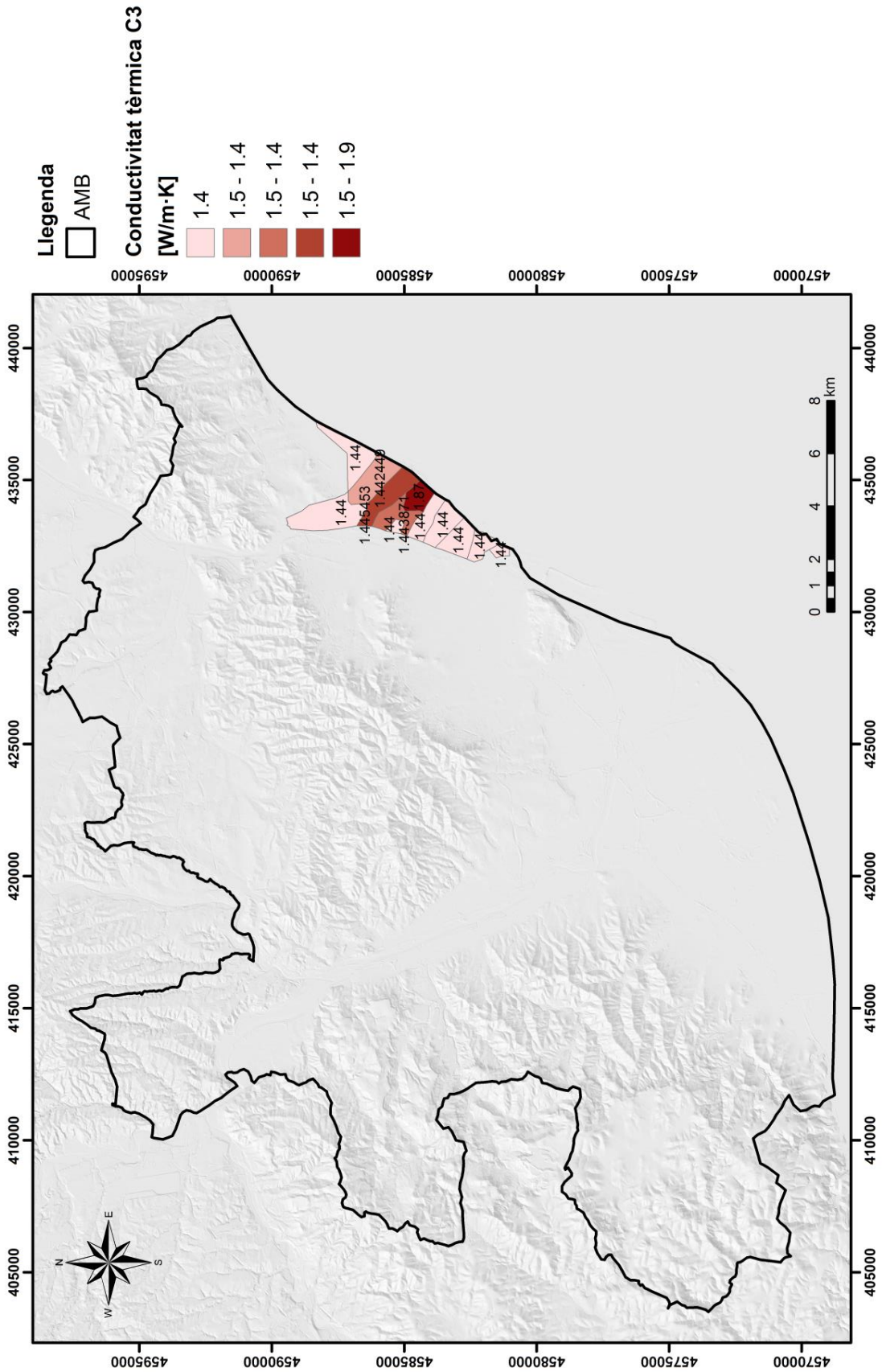


Fig A4.6: Mapa de conductivitat tèrmica de la capa 3.

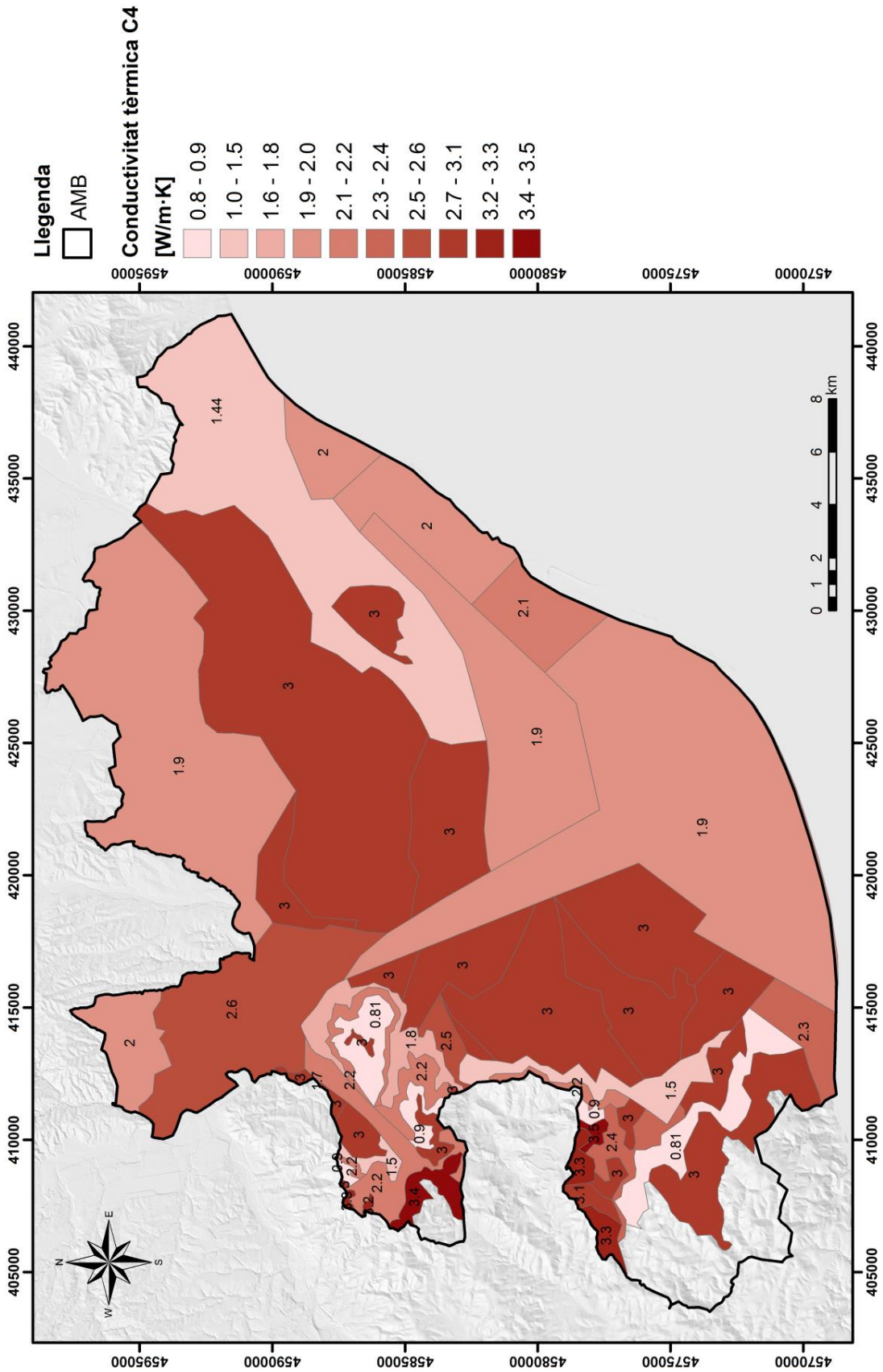


Fig A4.7: Mapa de conductivitat tèrmica de la capa 4.

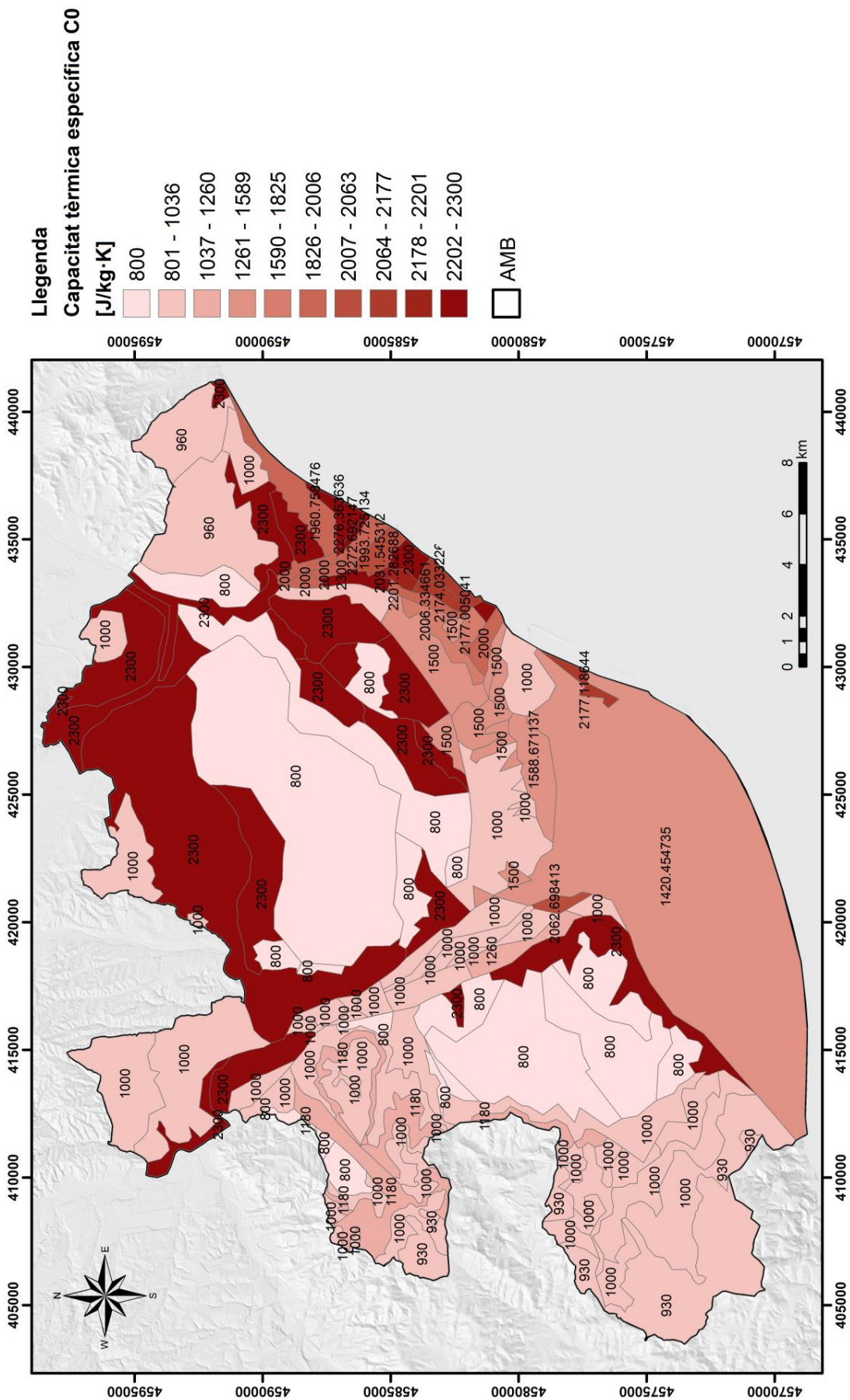


Fig A4.8: Mapa de capacitat calorífica específica de la capa 0.

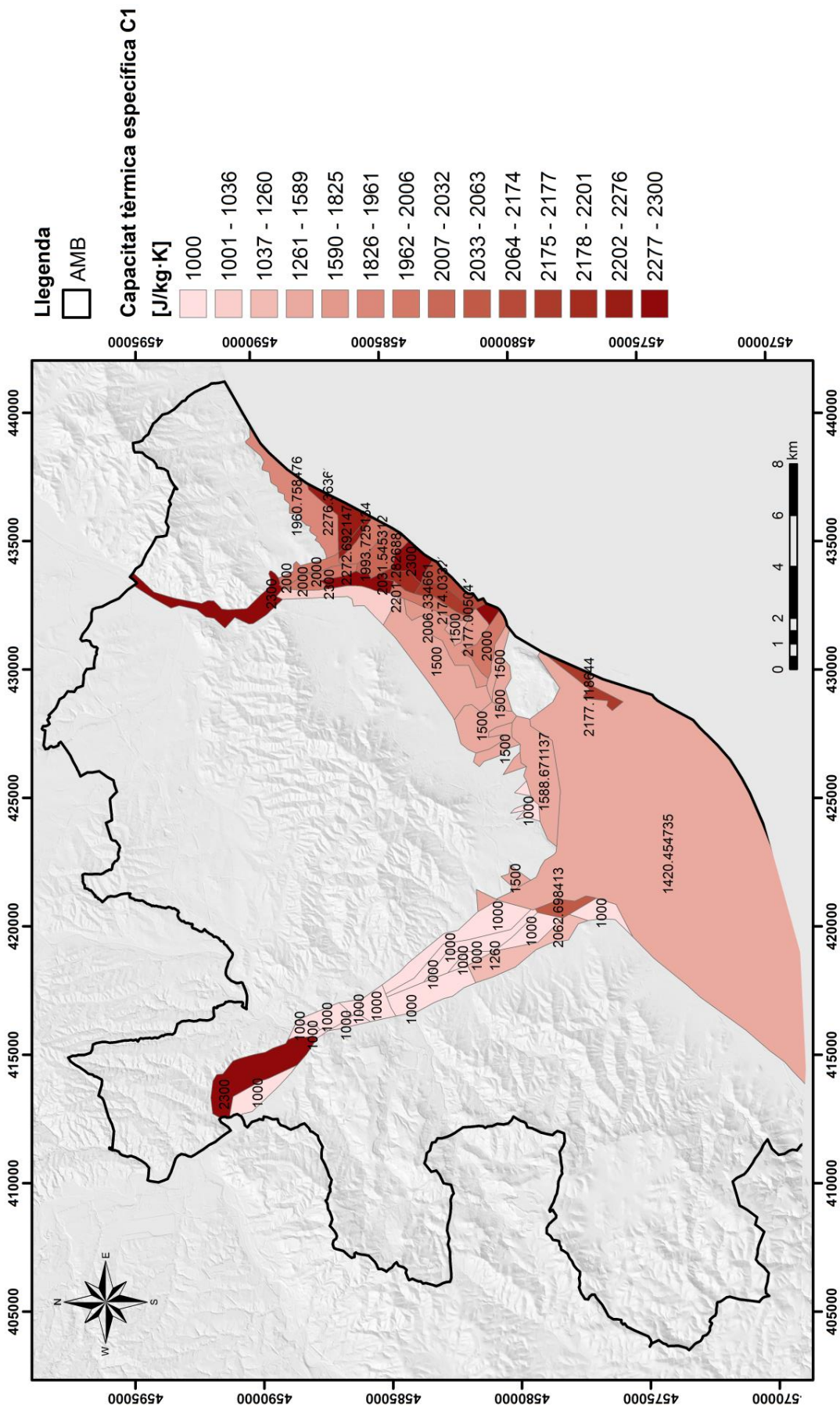


Fig A4.9: Mapa de capacitat calorífica específica de la capa 1.

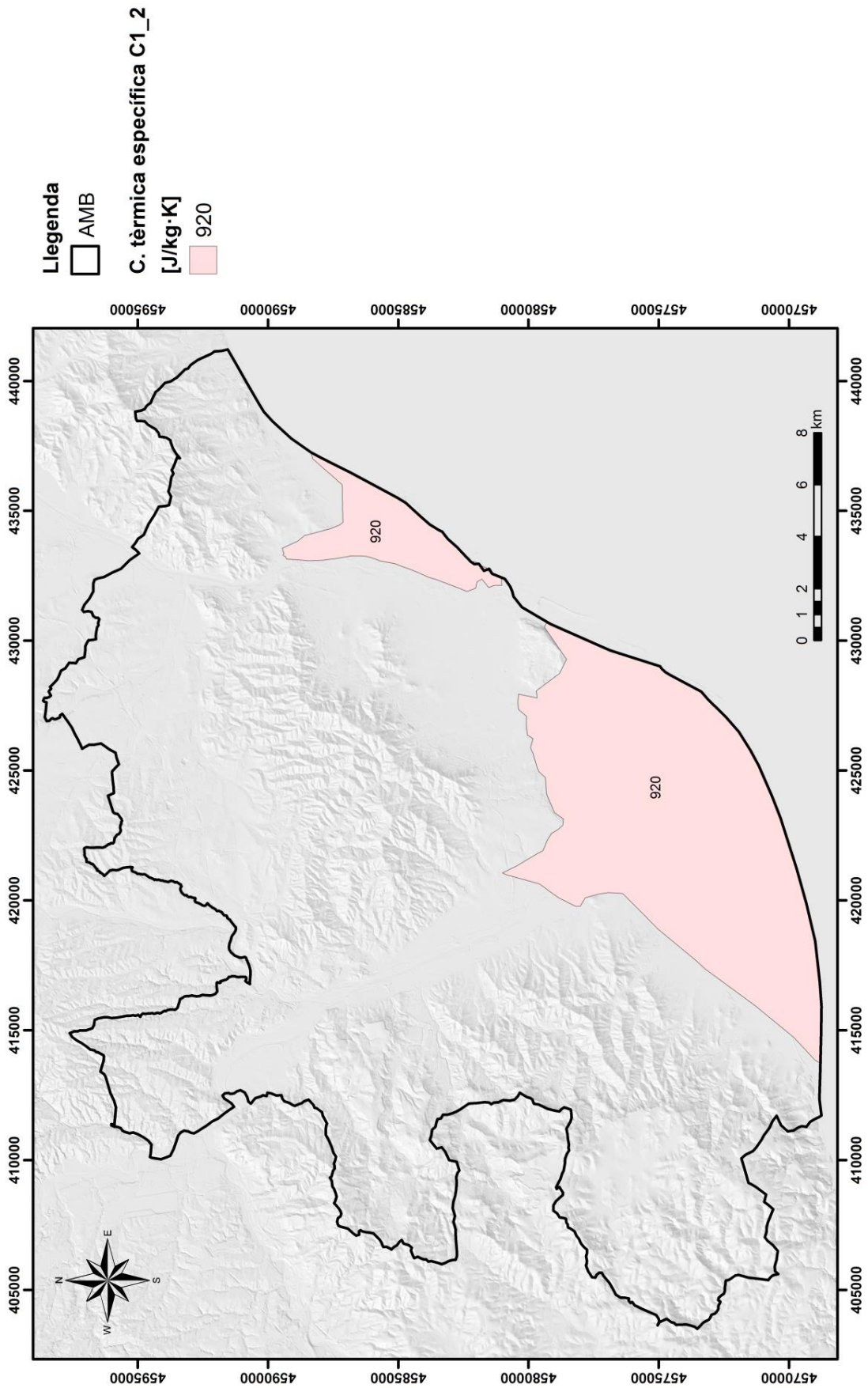


Fig A4.10: Mapa de capacitat calorífica específica de la capa 1_2.

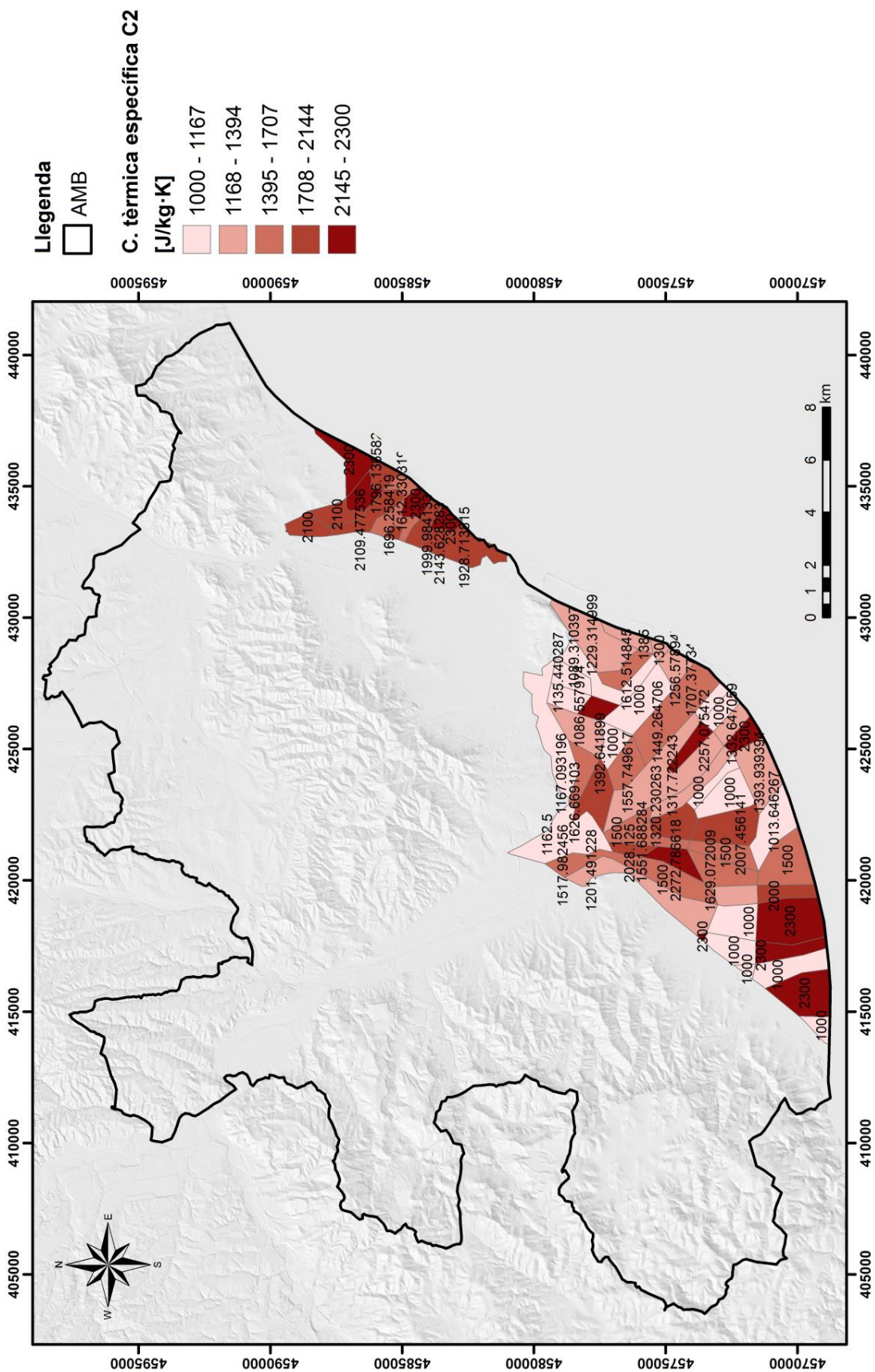


Fig A4.11: Mapa de capacitat calorífica específica de la capa 2.

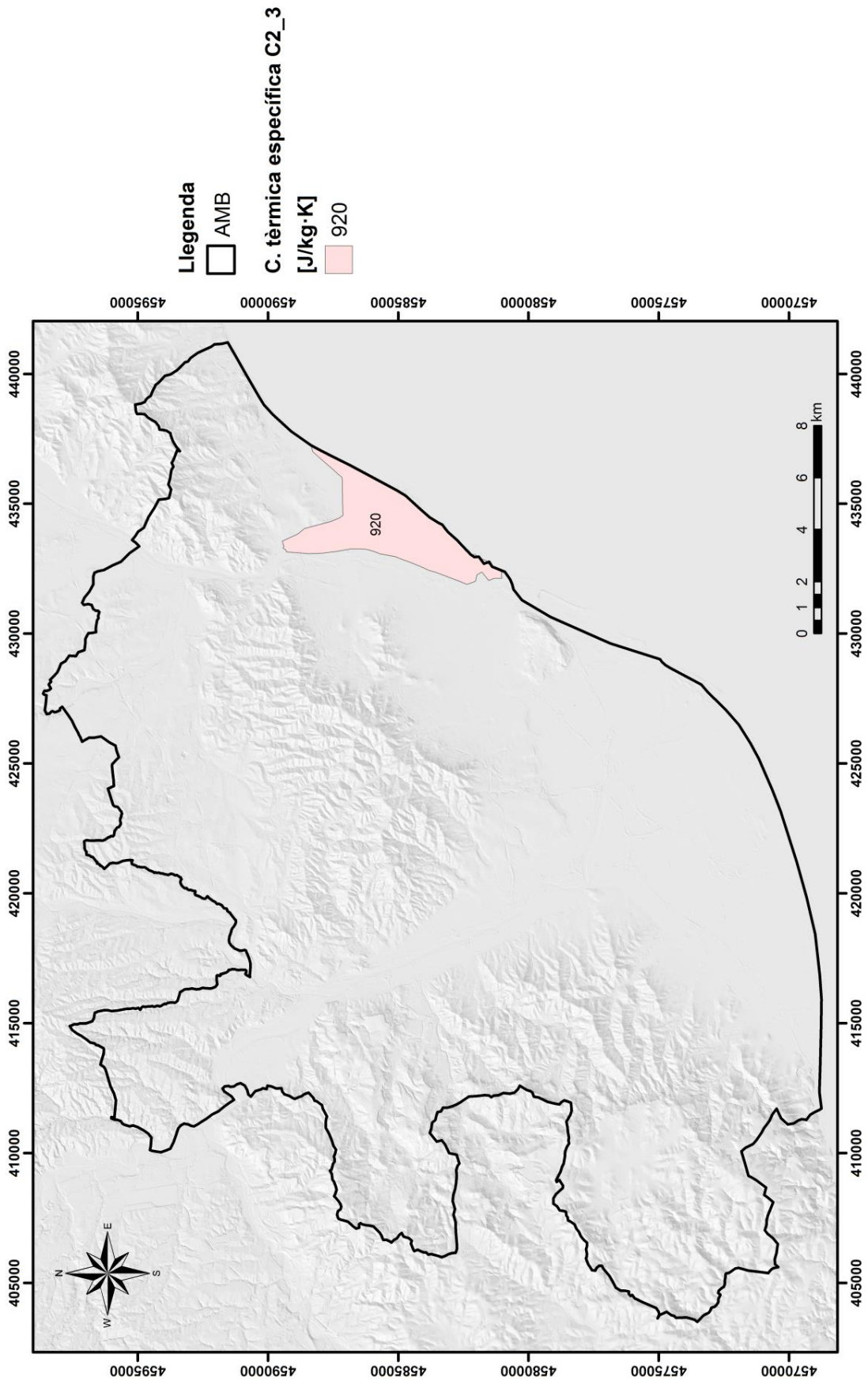


Fig A4.12: Mapa de capacitat calorífica específica de la capa 2_3.

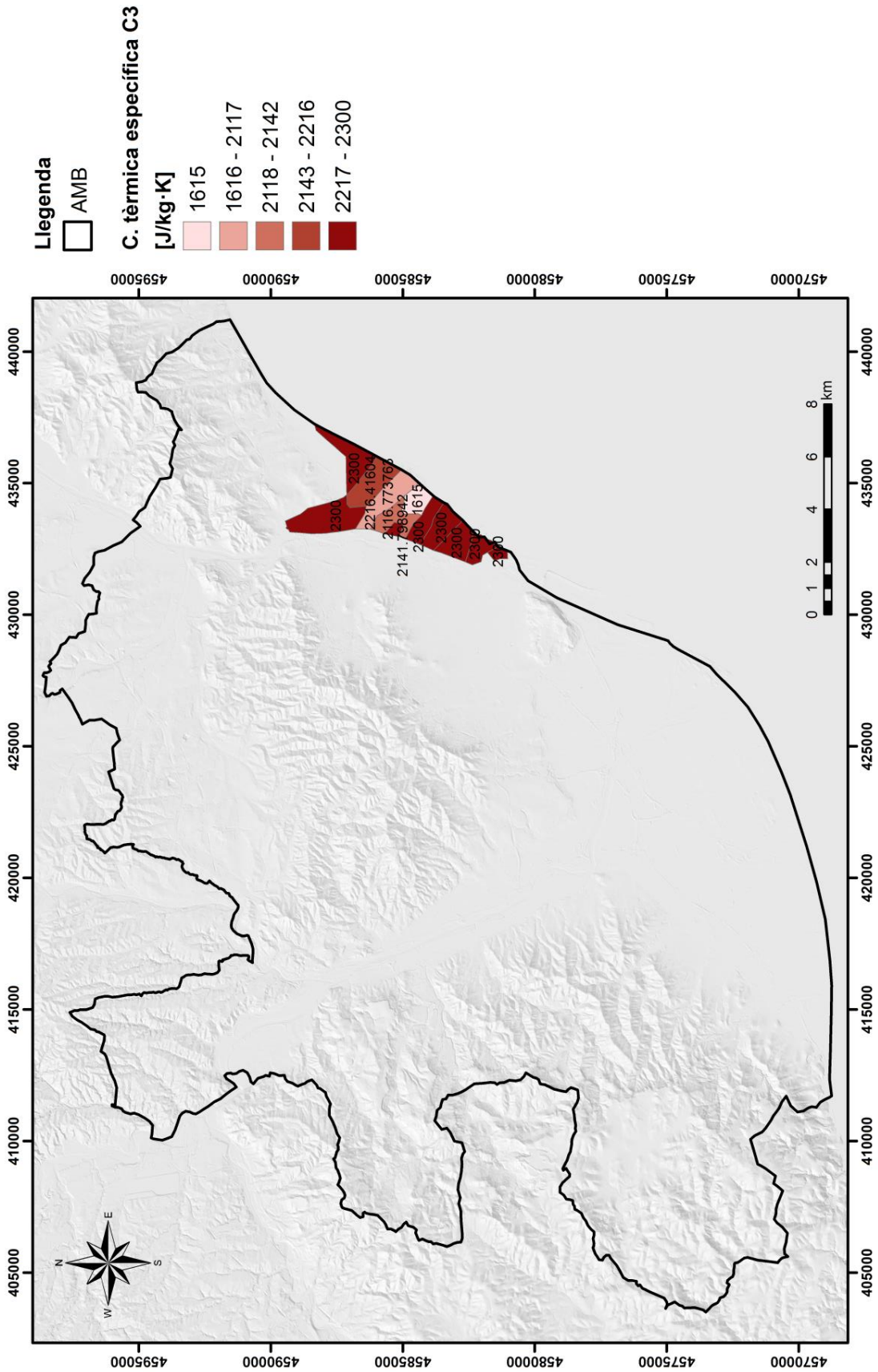


Fig A4.13: Mapa de capacitat calorífica específica de la capa 3.

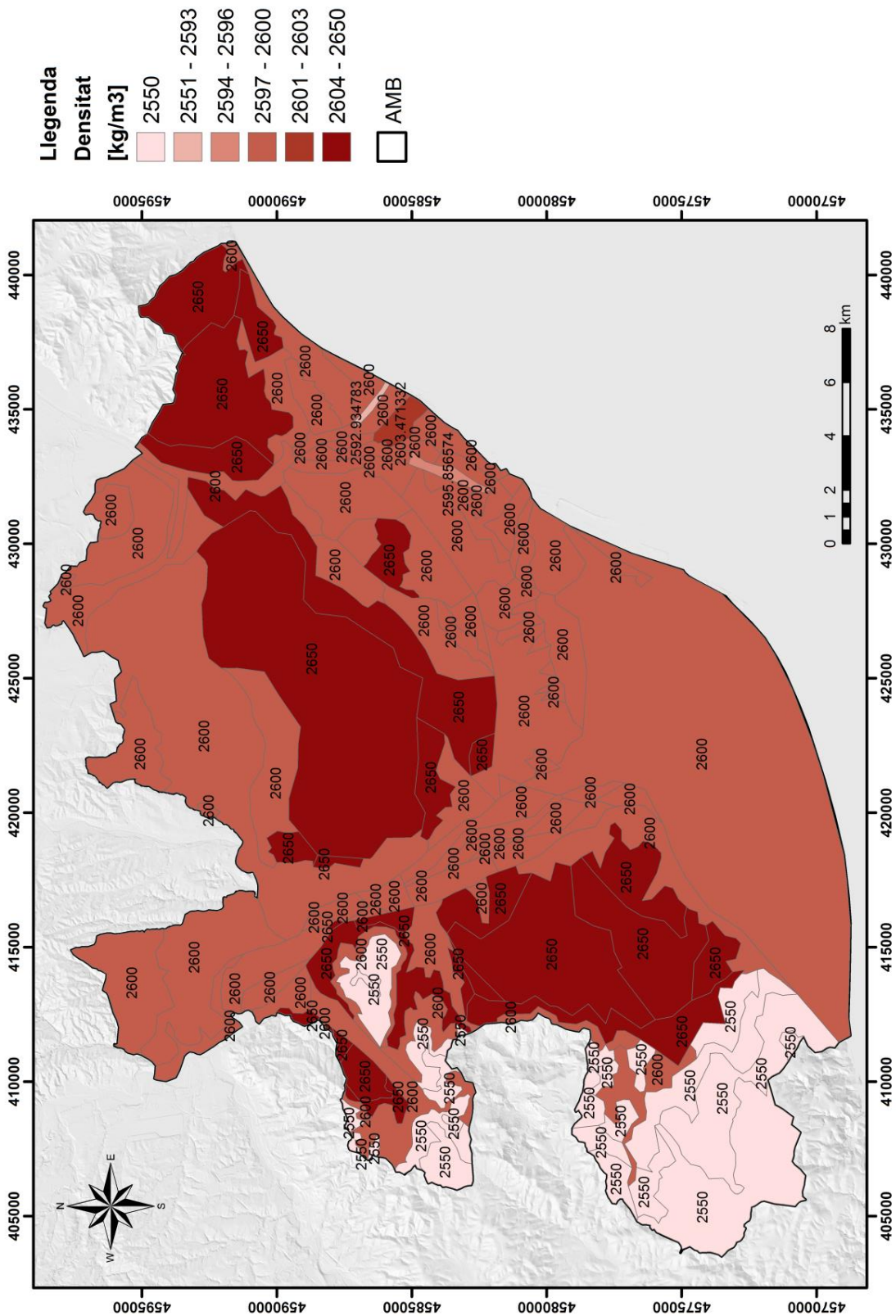


Fig A4.15: Mapa de densitat de la capa 0.

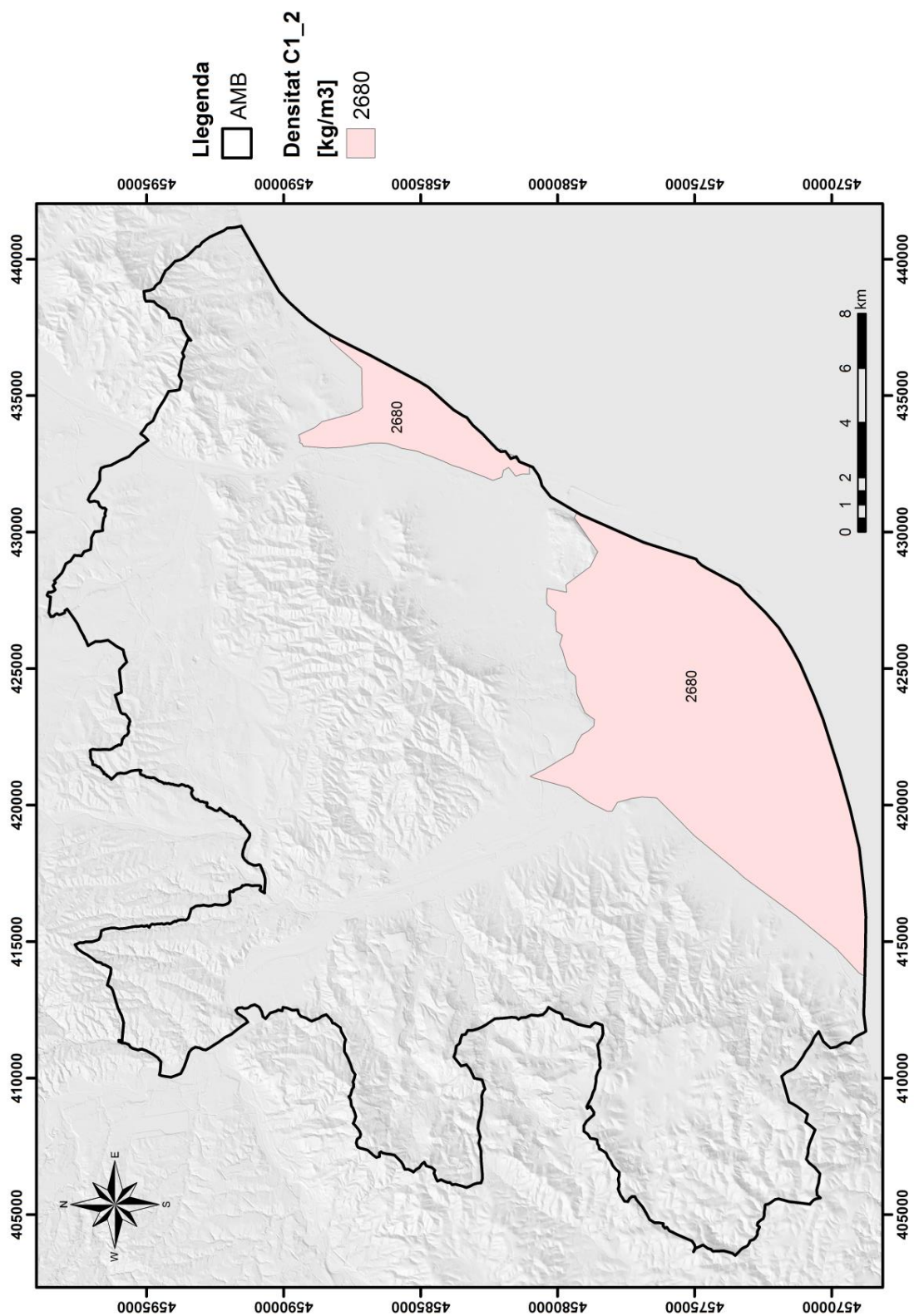


Fig A4.17: Mapa de densitats de la capa 1_2.

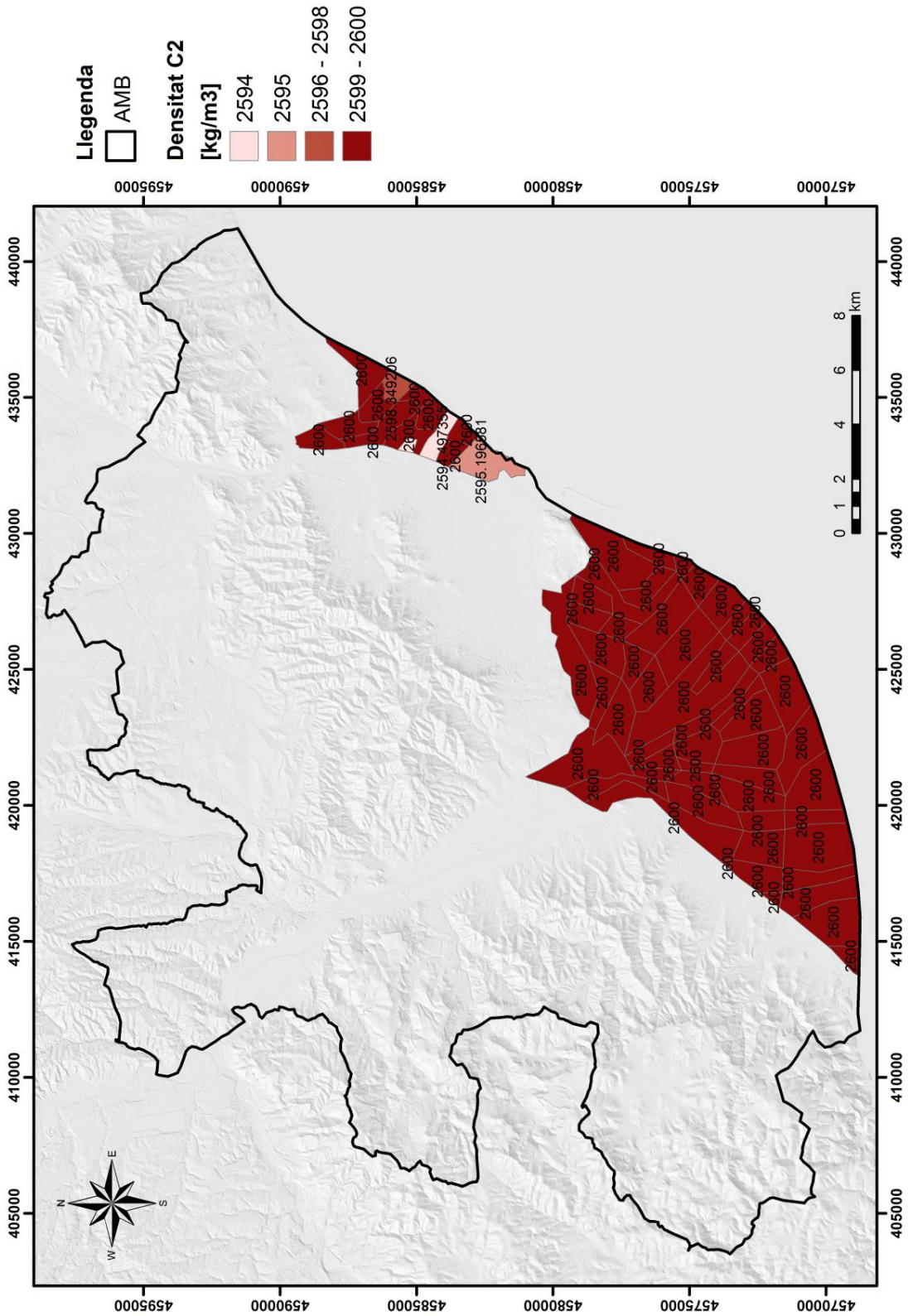


Fig A4.18: Mapa de densitats de la capa 2.

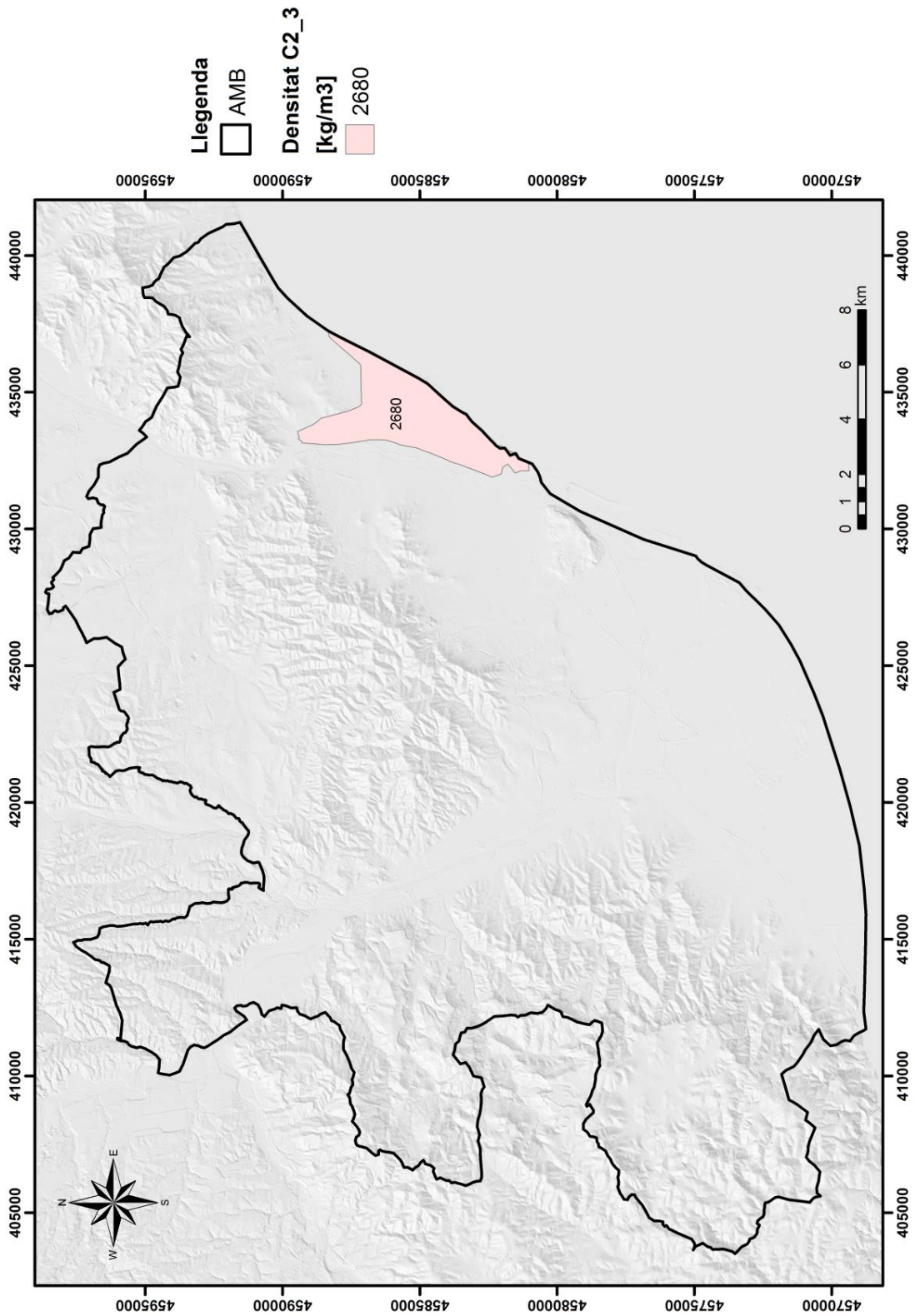


Fig A4.19: Mapa de densitats de la capa 2_3.

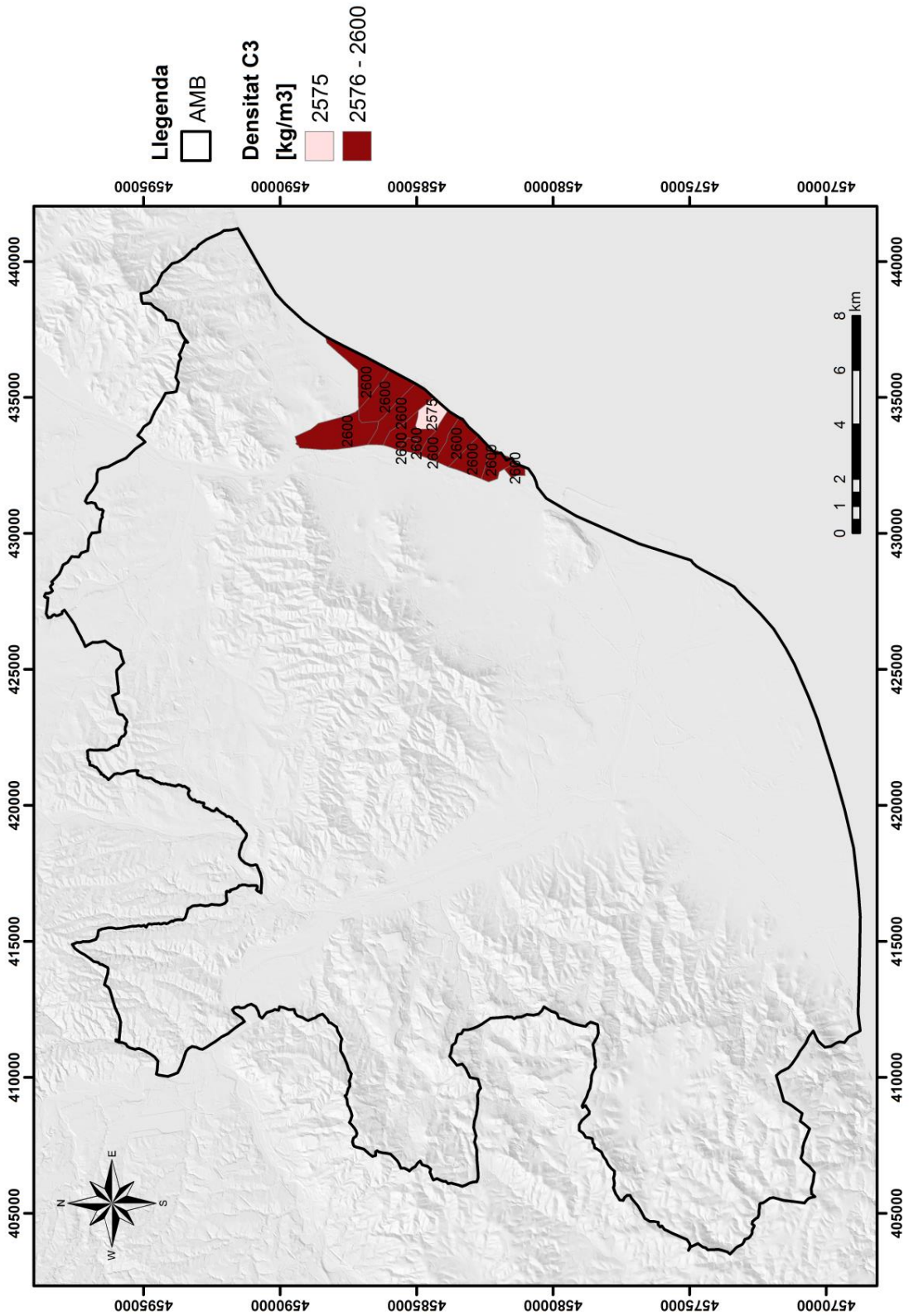


Fig A4.20: Mapa de densitats de la capa 3.

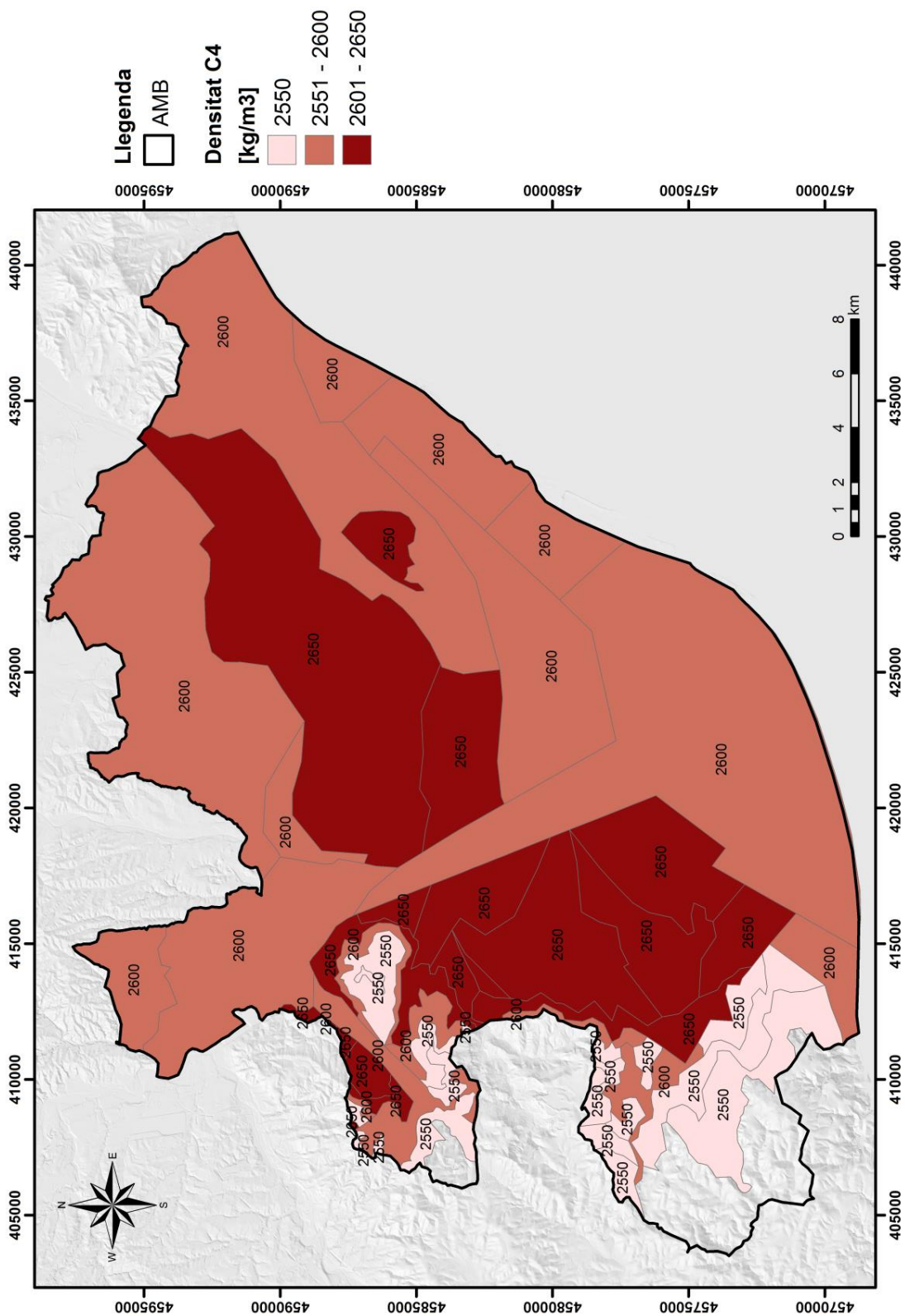


Fig A4.21: Mapa de densitats de la capa 4.

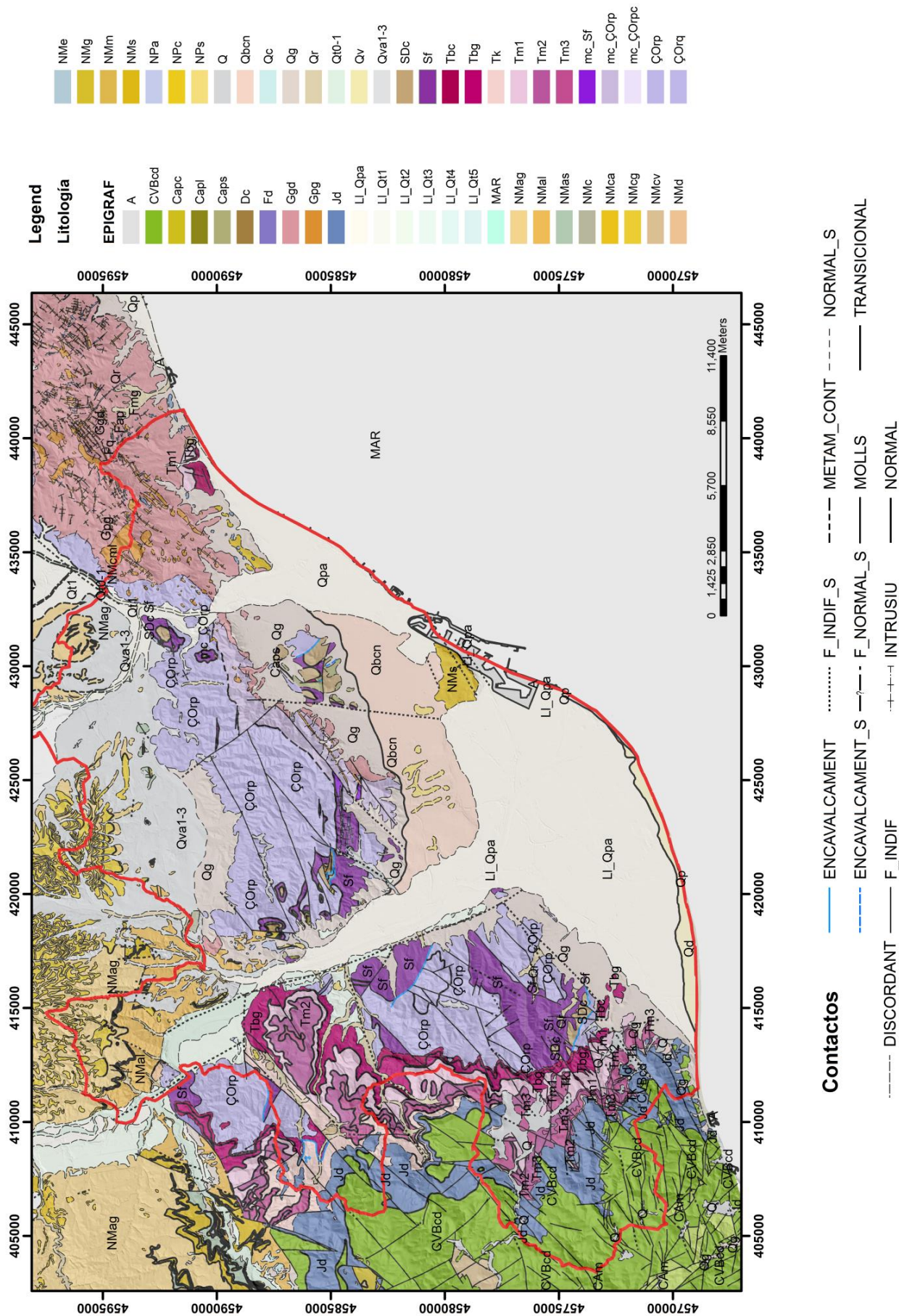


Fig A4.23: Mapa Geològic de superfície de l'IGC.

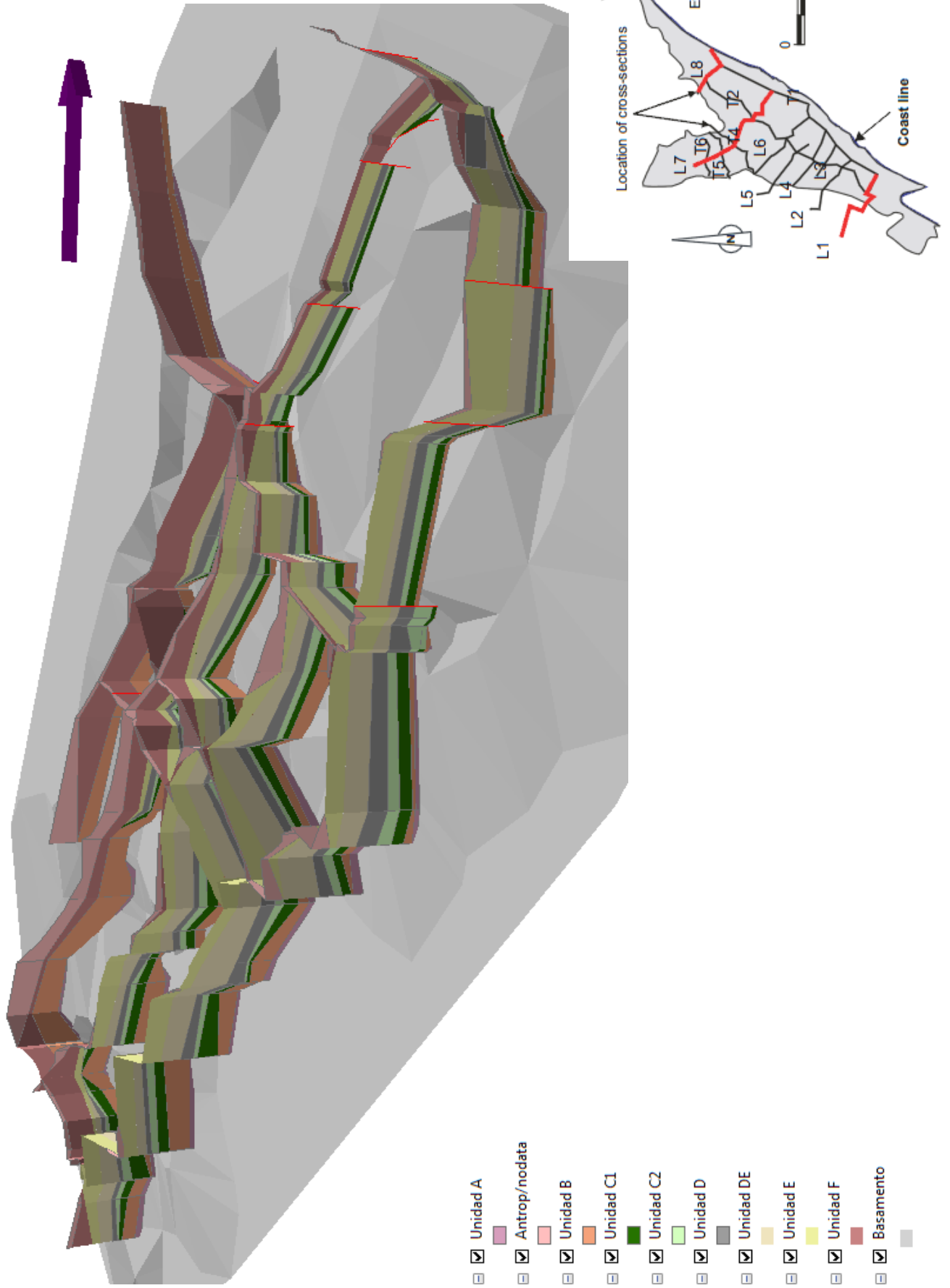


Fig A4.24: Fence Diagram del Delta del Besòs i la plana de Barcelona.

ANNEX 5

PARÀMETRES GEOTÈRMICS 2

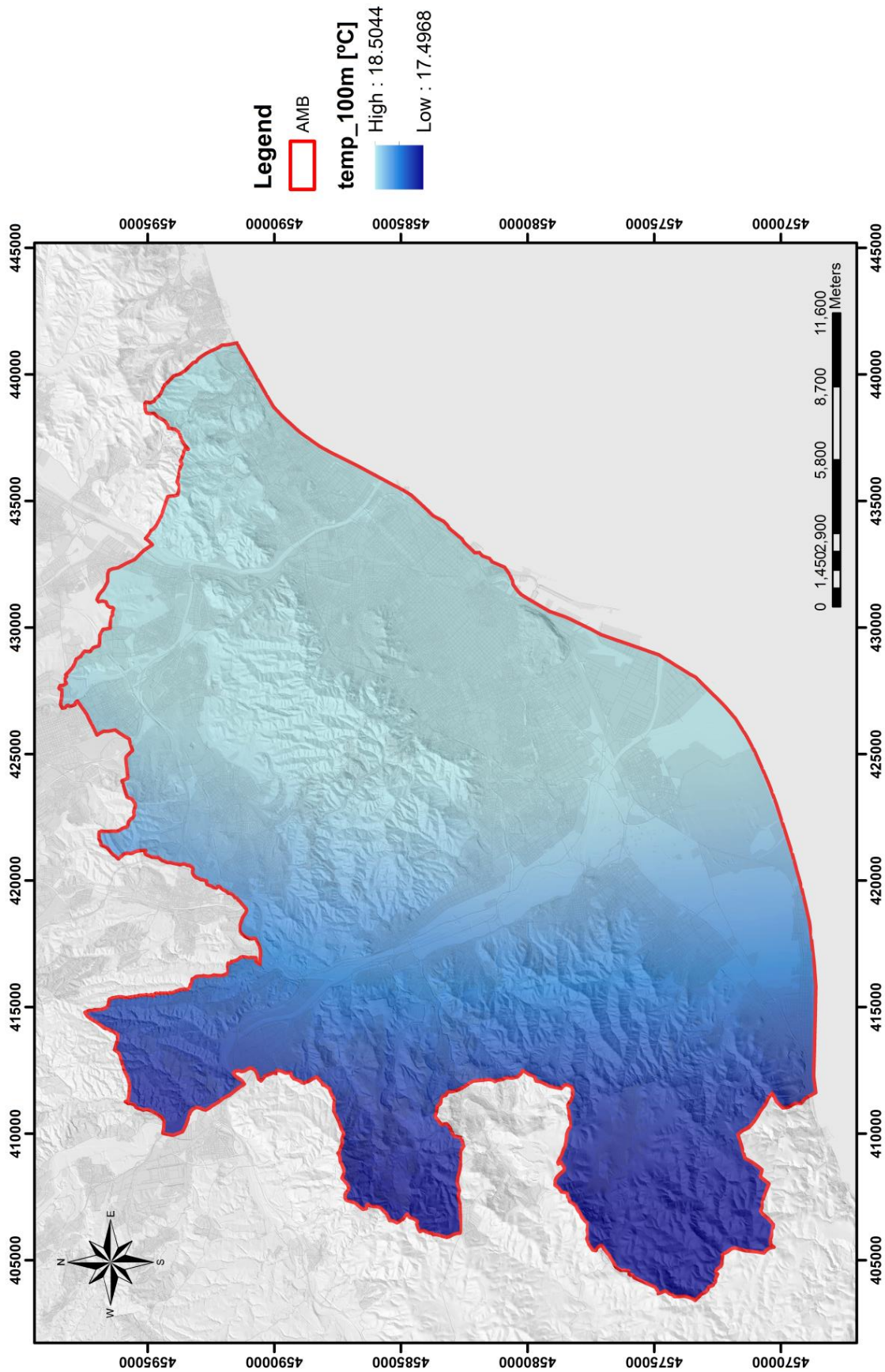


Fig A5.0: Distribució de la temperatura de l'aigua subterrània a 100 m de profunditat segons l'Atles Geotèrmic de Catalunya (IGC, 2012).

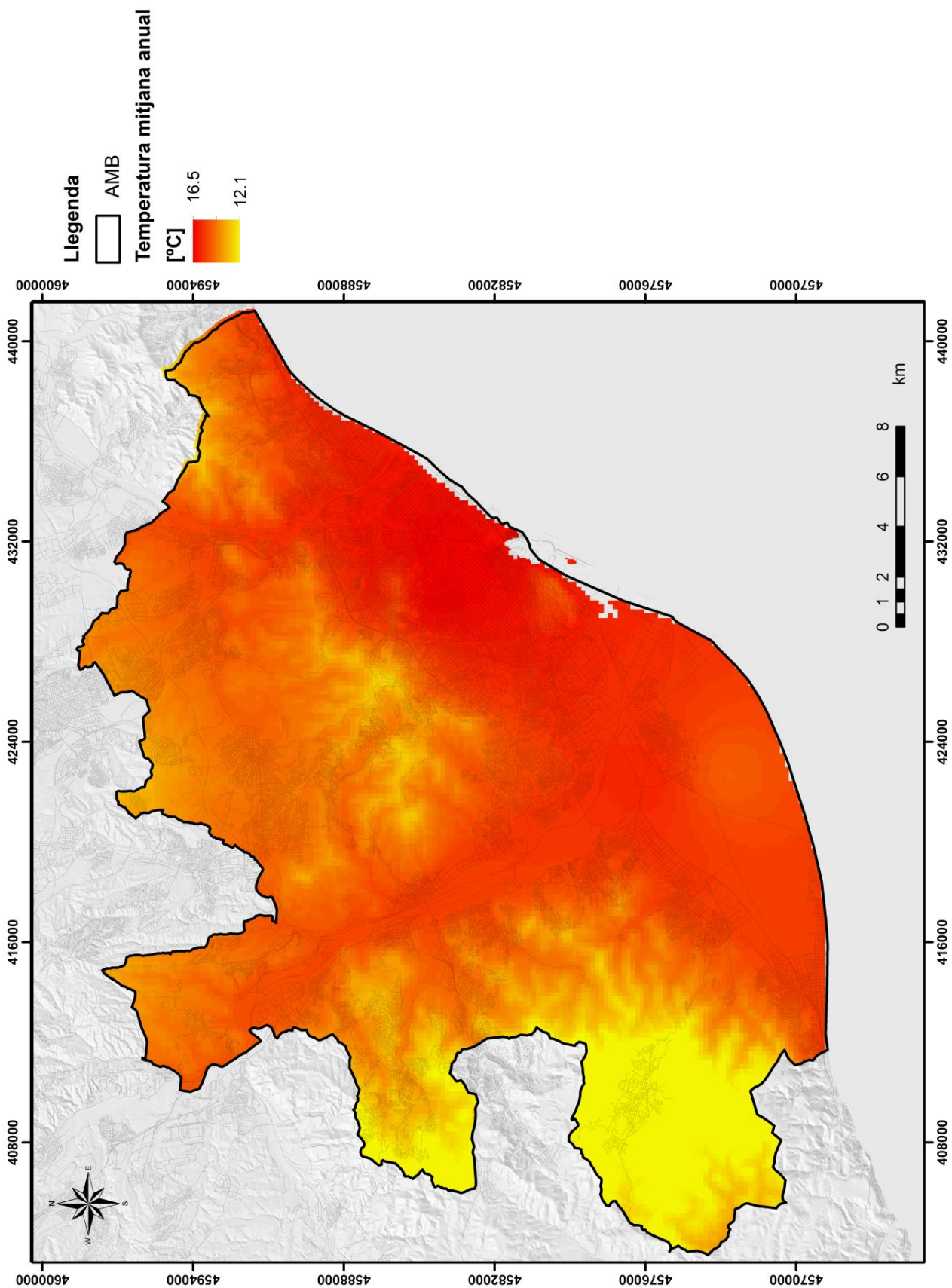


Fig A5.1: Distribució de la temperatura mitjana anual a AMB.

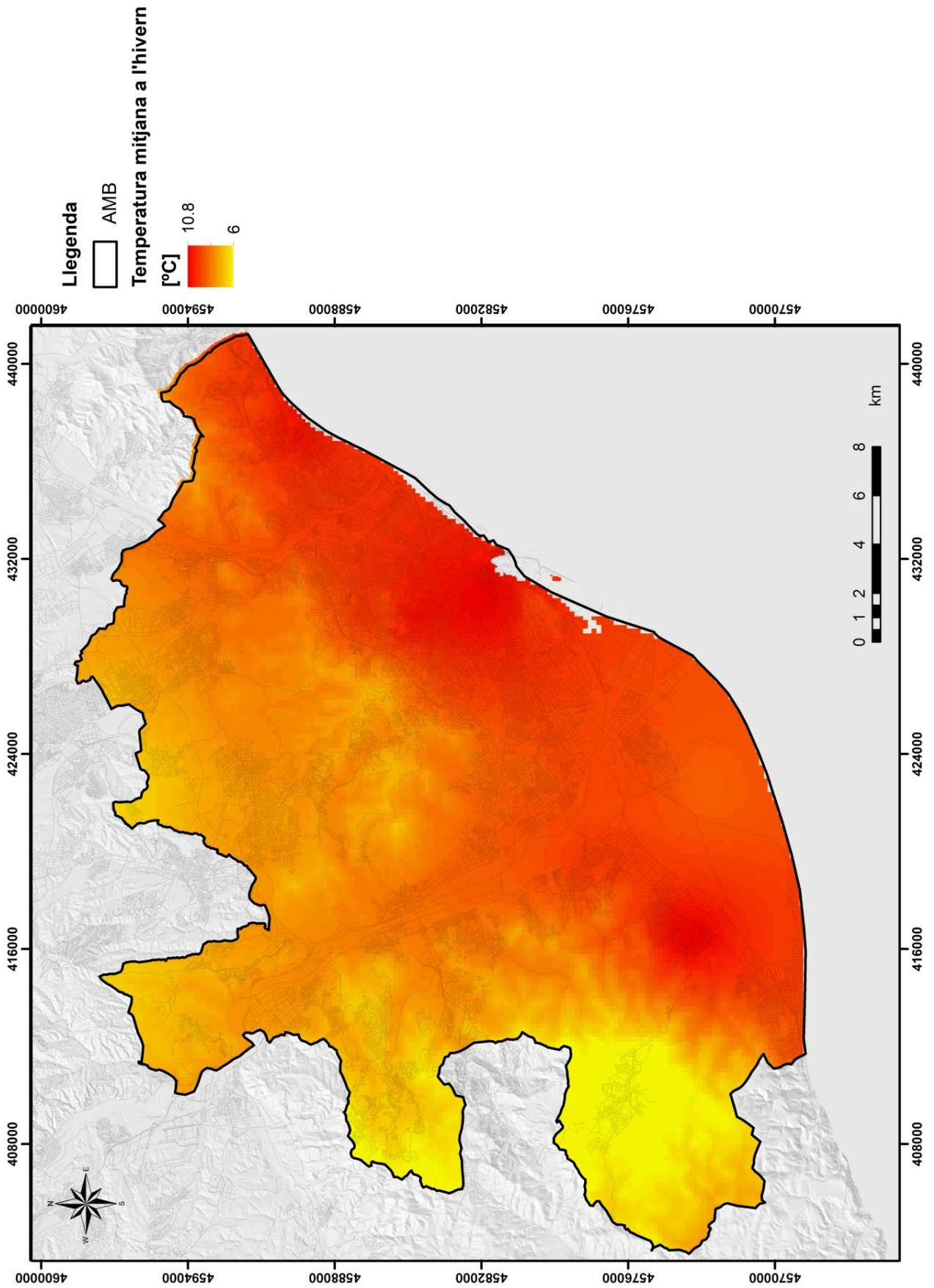


Fig A5.2: Distribució de la temperatura mitjana estacional d'hivern a AMB.

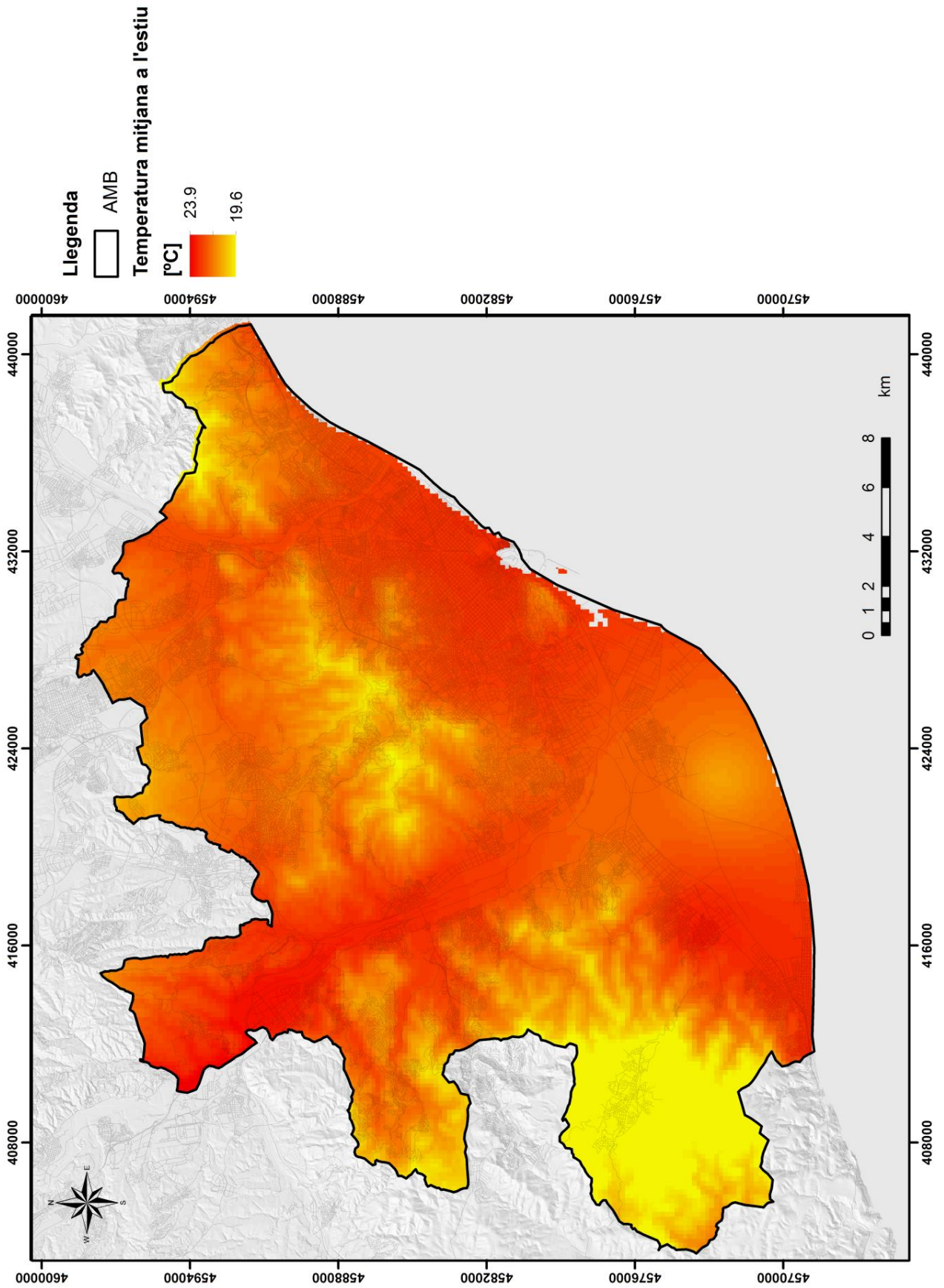


Fig A5.3: Distribució de la temperatura mitjana estacional d'estiu a AMB.

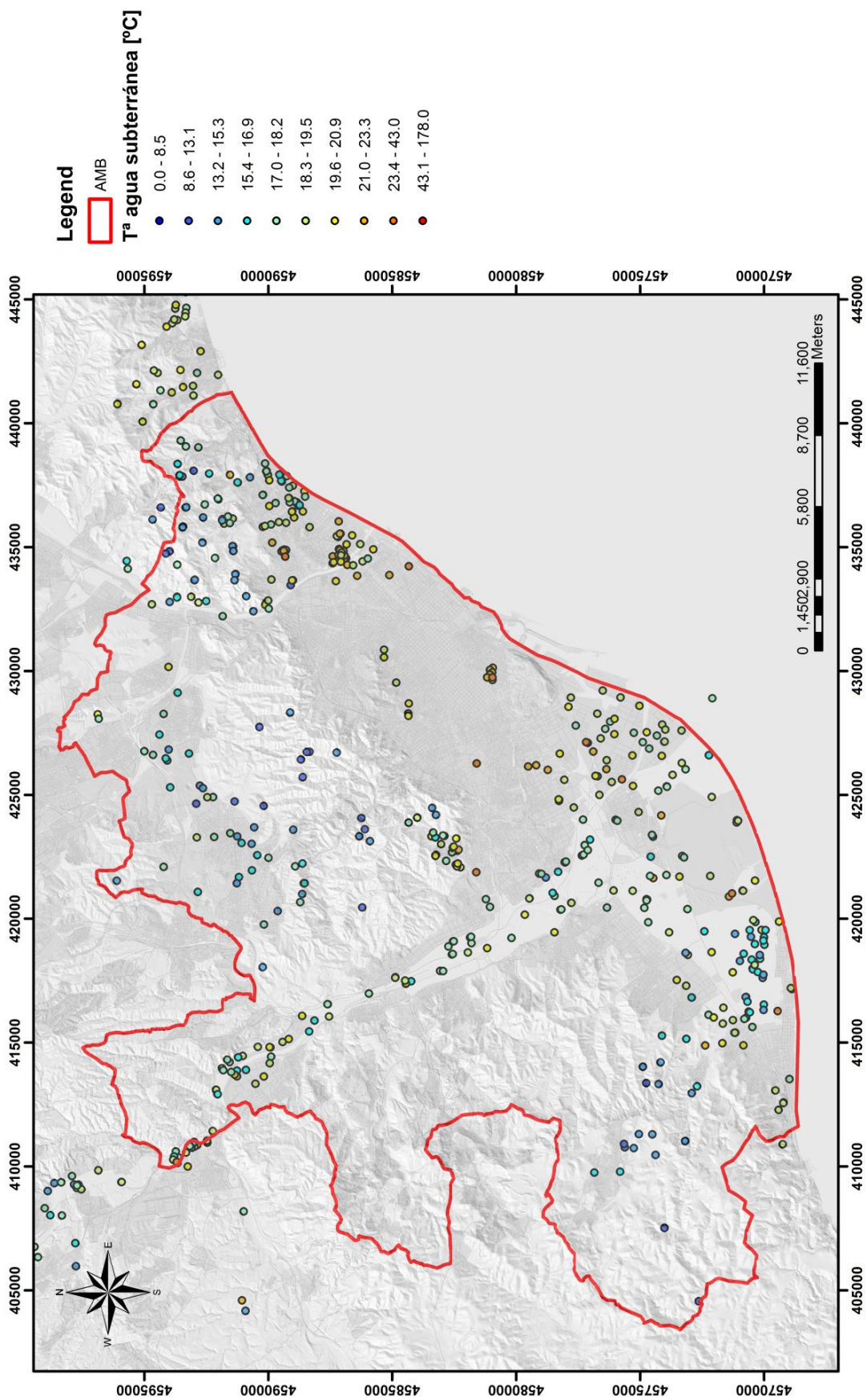


Fig A5.4: Mesures de la temperatura de l'aigua subterrània a AMB.

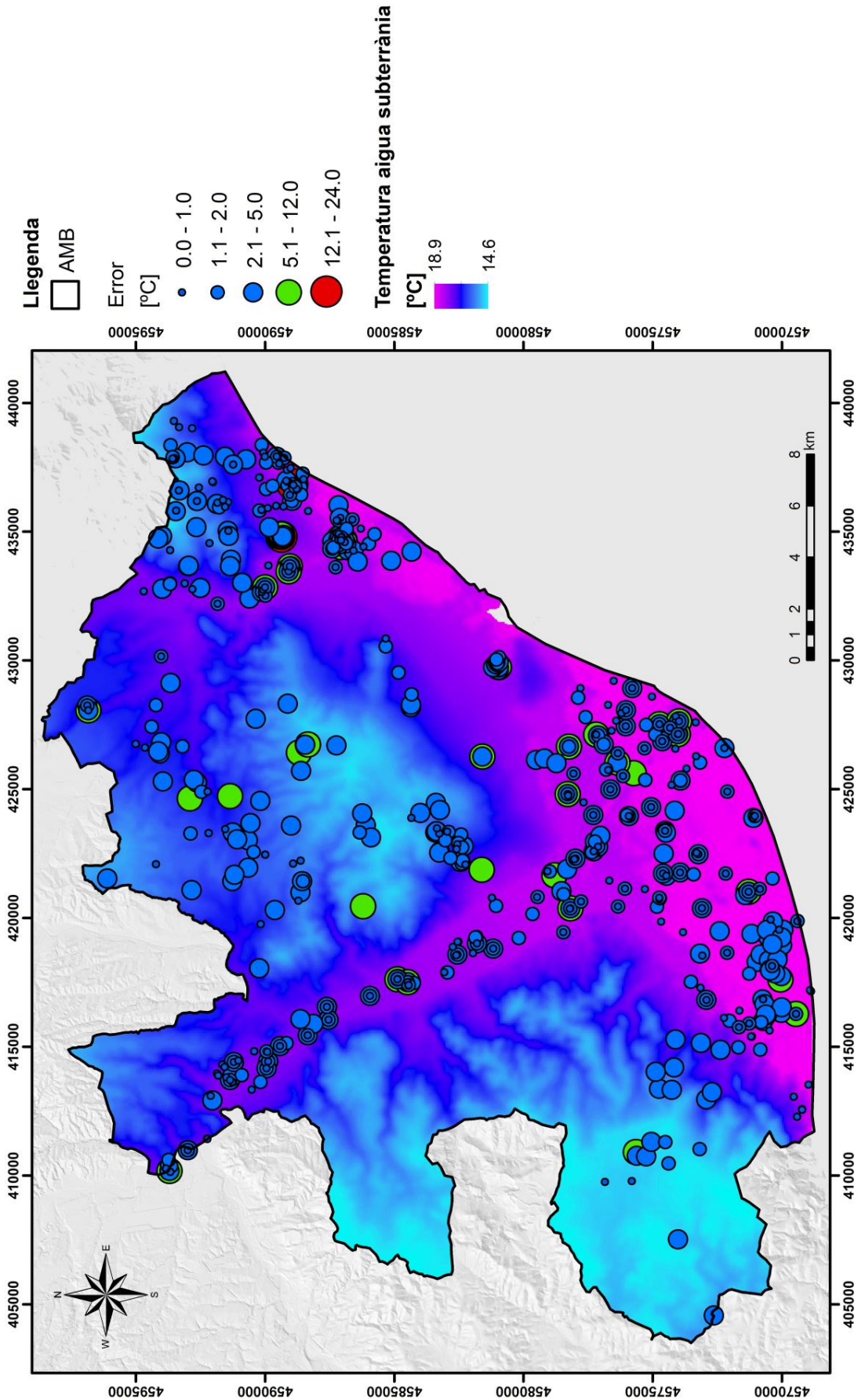


Fig A5.5: Model estadístic de temperatura d'aigües subterrània en AMB i els errors del model.

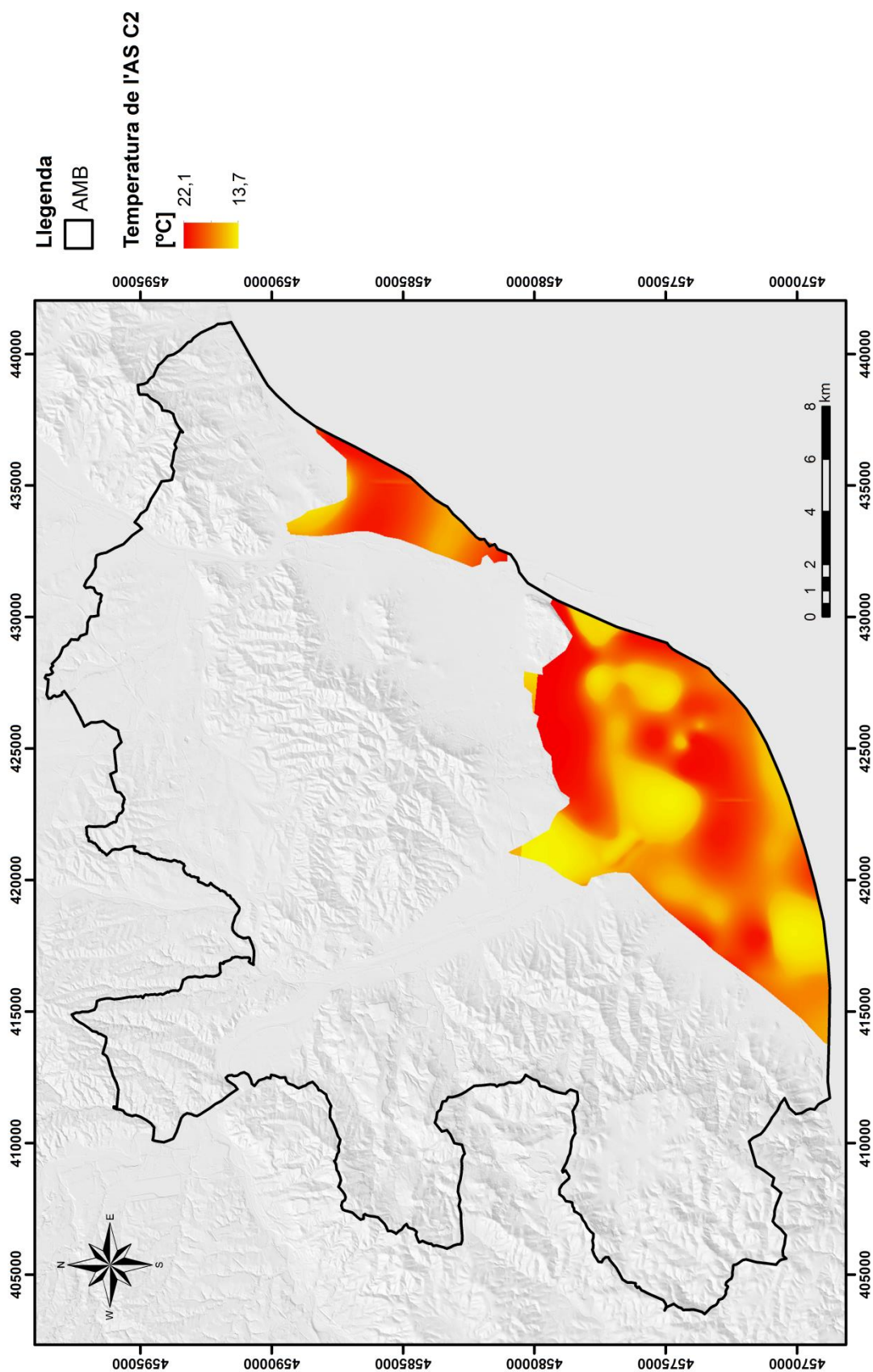


Fig A5.6: Distribució de la temperatura de l'aigua subterrània a la capa 2.

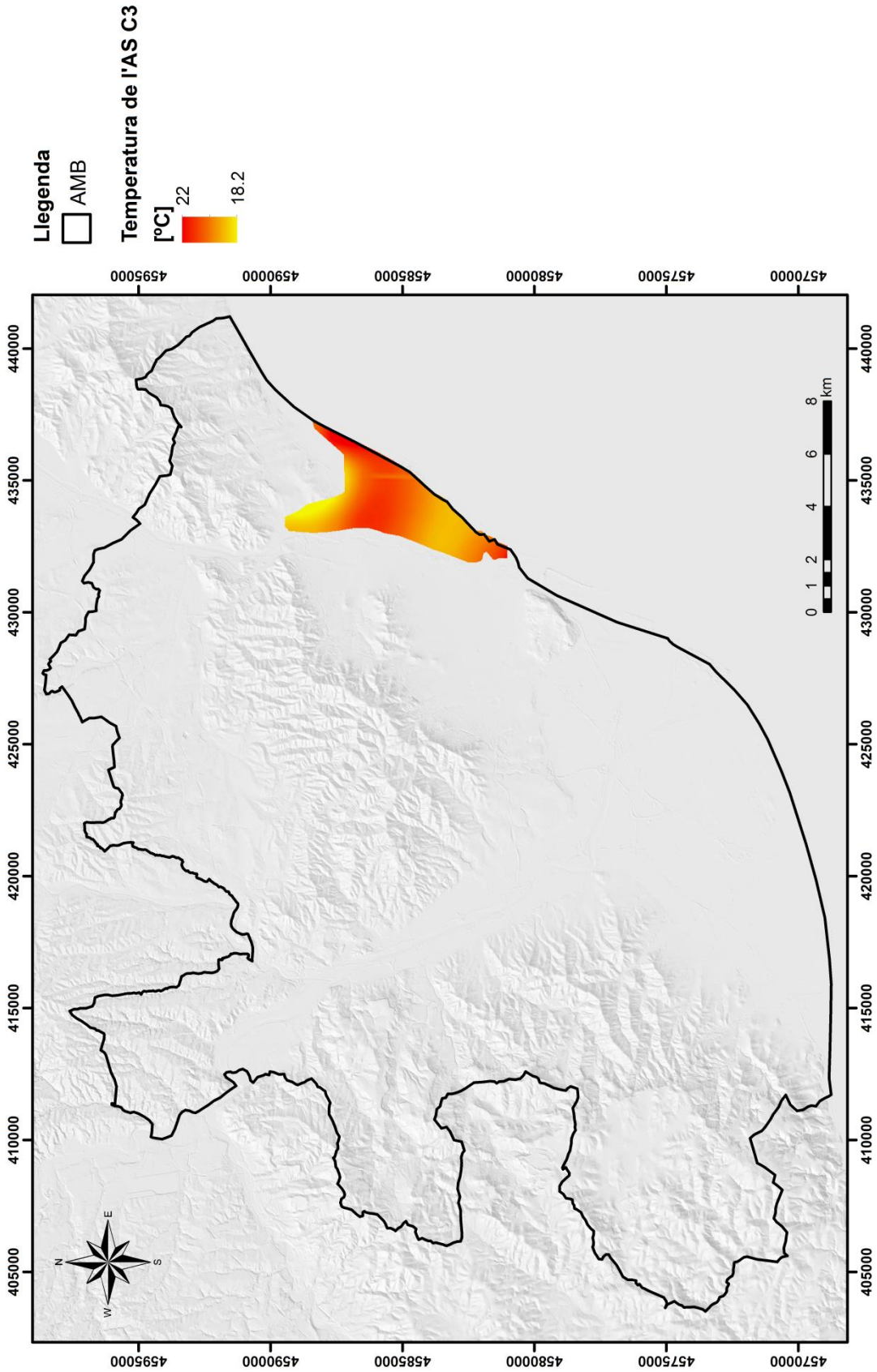


Fig A5.7: Distribució de la temperatura de l'aigua subterrània a la capa 3.

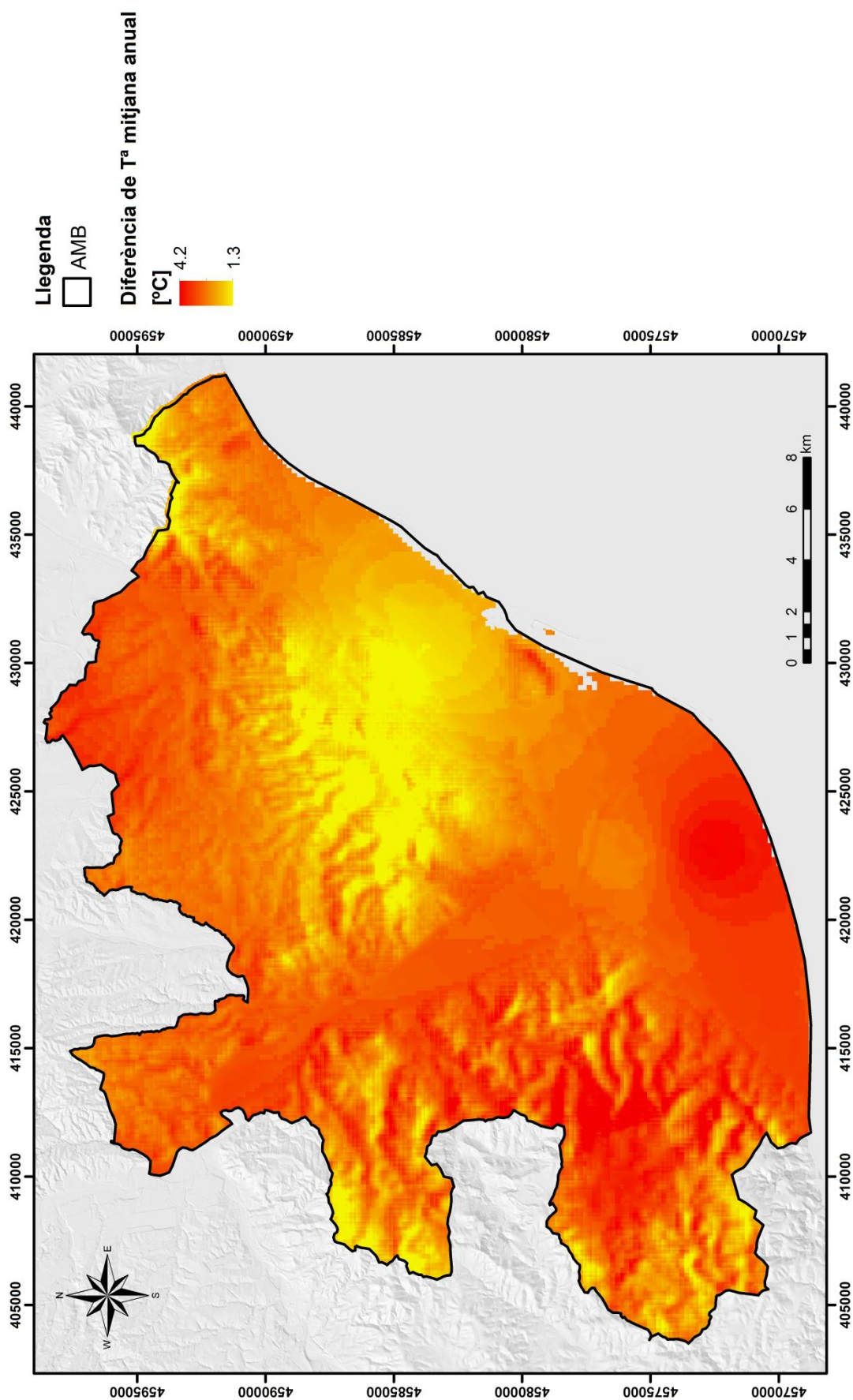


Fig A5.8: Diferència de temperatura entre la temperatura mitjana anual i la temperatura de l'aigua subterrània.

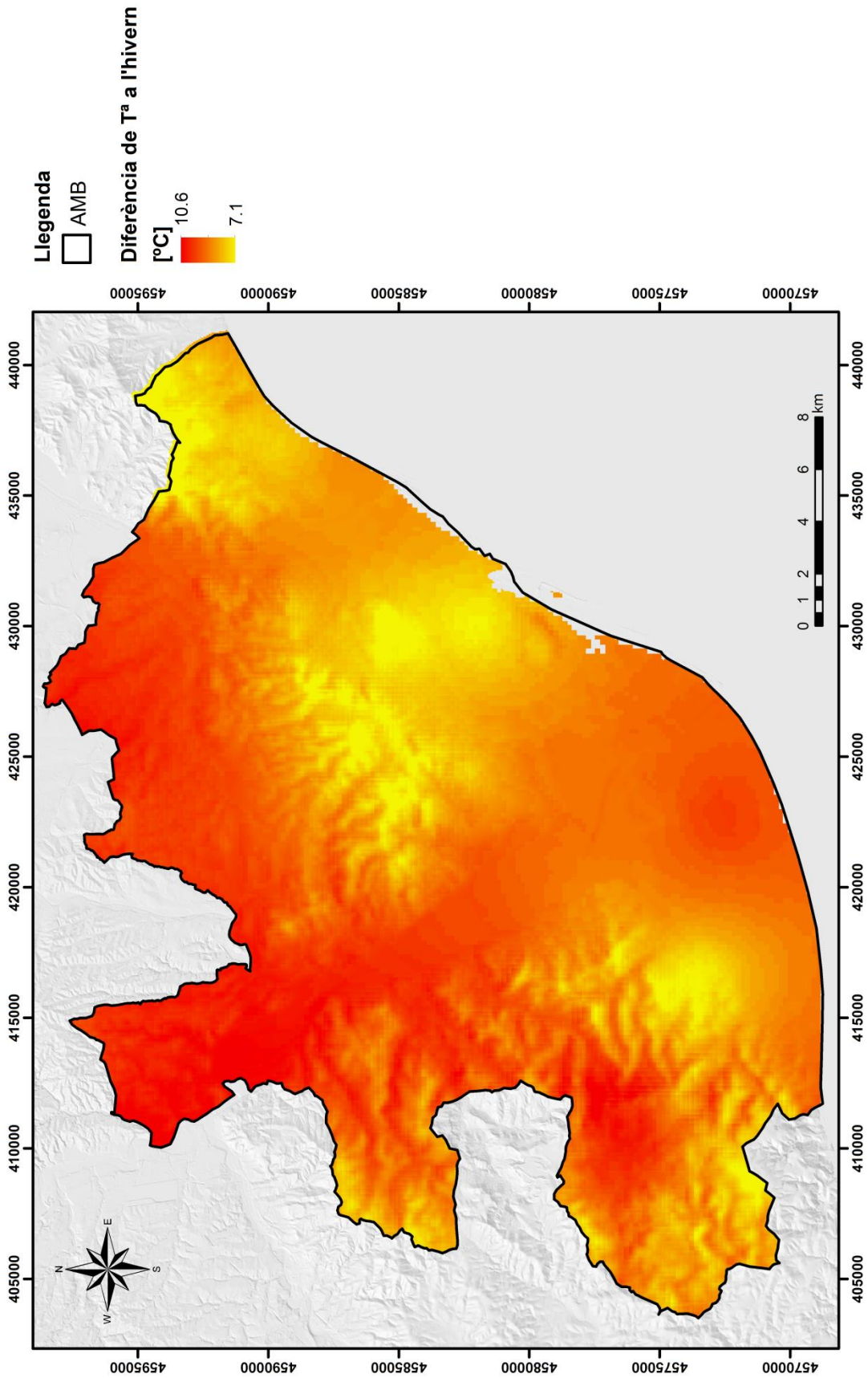


Fig A5.9: Diferència de temperatura entre la temperatura mitjana estacional d'hivern i la temperatura de l'aigua subterrània.

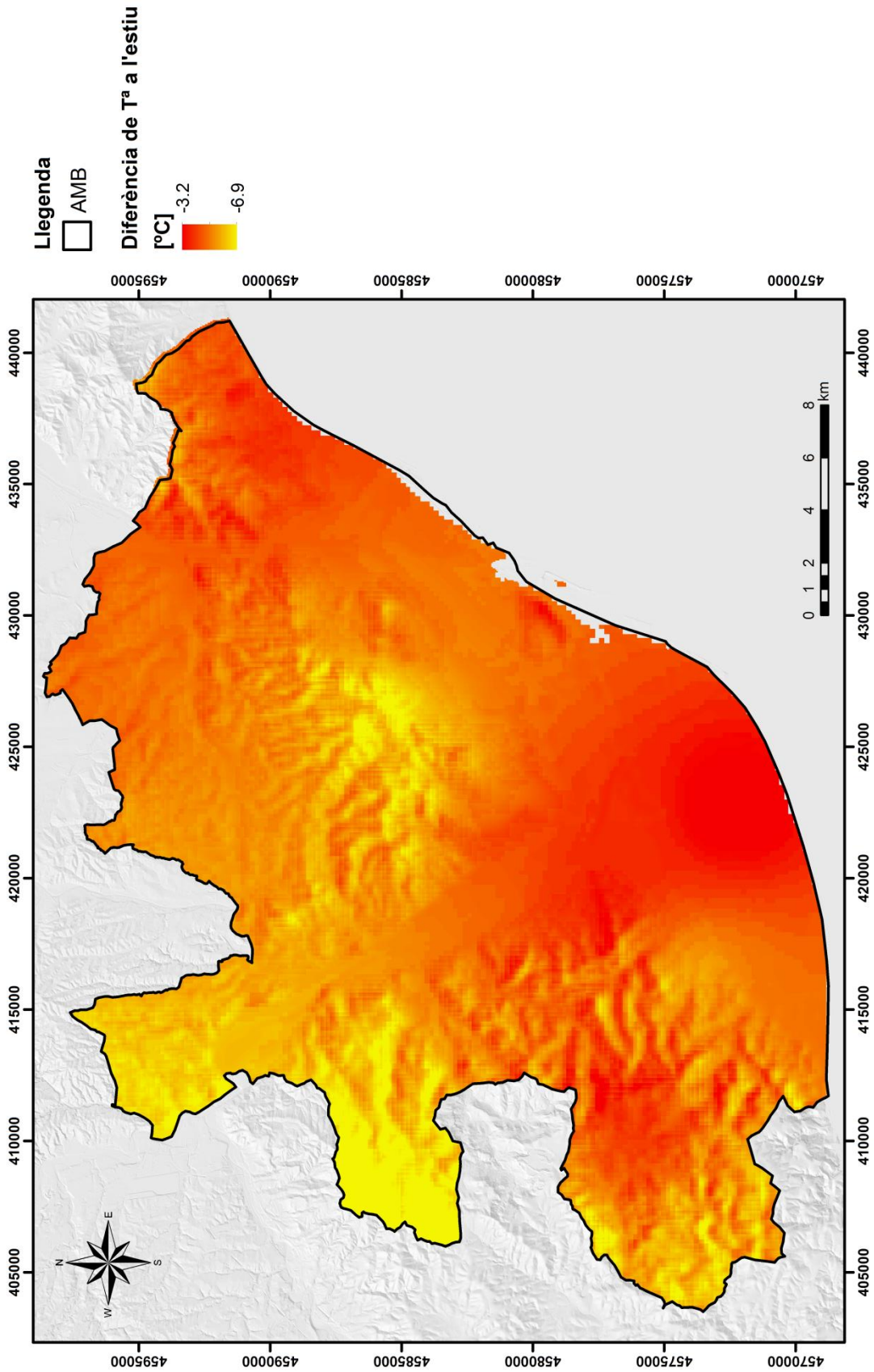


Fig A5.10: Diferència de temperatura entre la temperatura mitjana estacional d'estiu i la temperatura de l'aigua subterrània

ANNEX 6

MAPES DE POTENCIAL GEOTÈRMIC

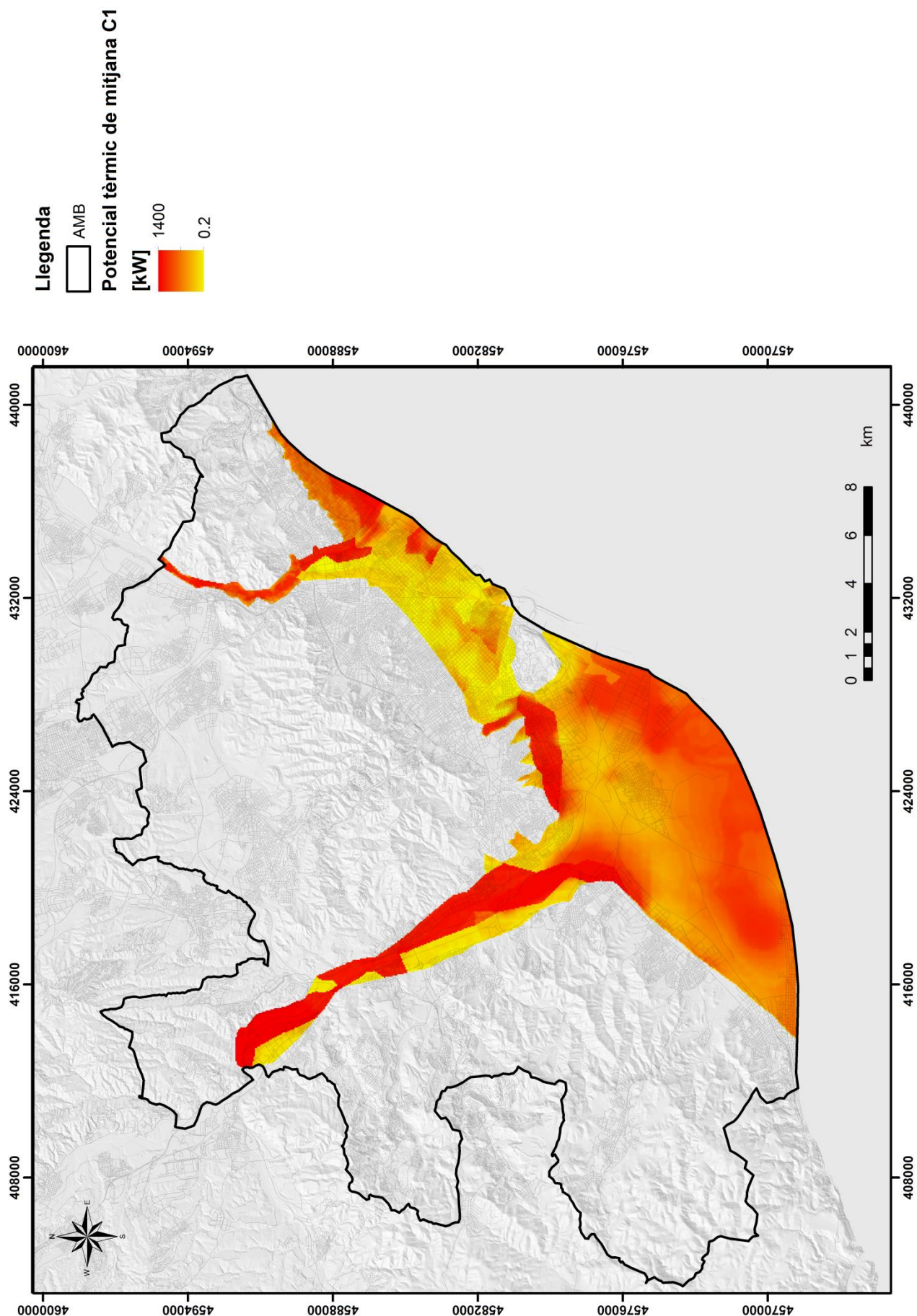


Fig A6.1: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts anual a la capa 1 en kW.

Llegenda



AMB

Potencial tèrmic de mitjana C2

1500

24

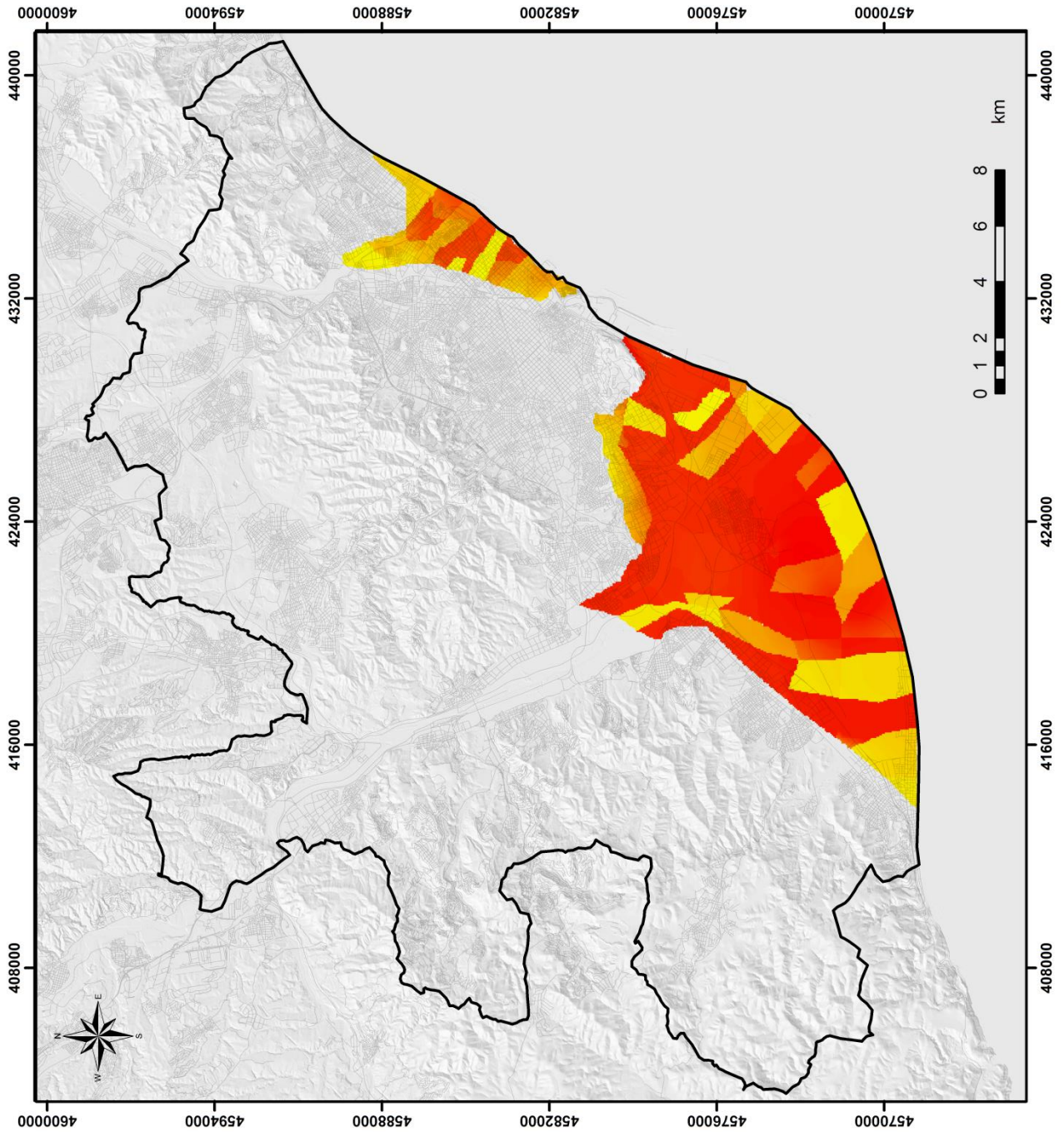


Fig A6.2: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts anual a la capa 2 en kW.

Llegenda



AMB

Potencial tèrmic de mitjana C3



1100

6

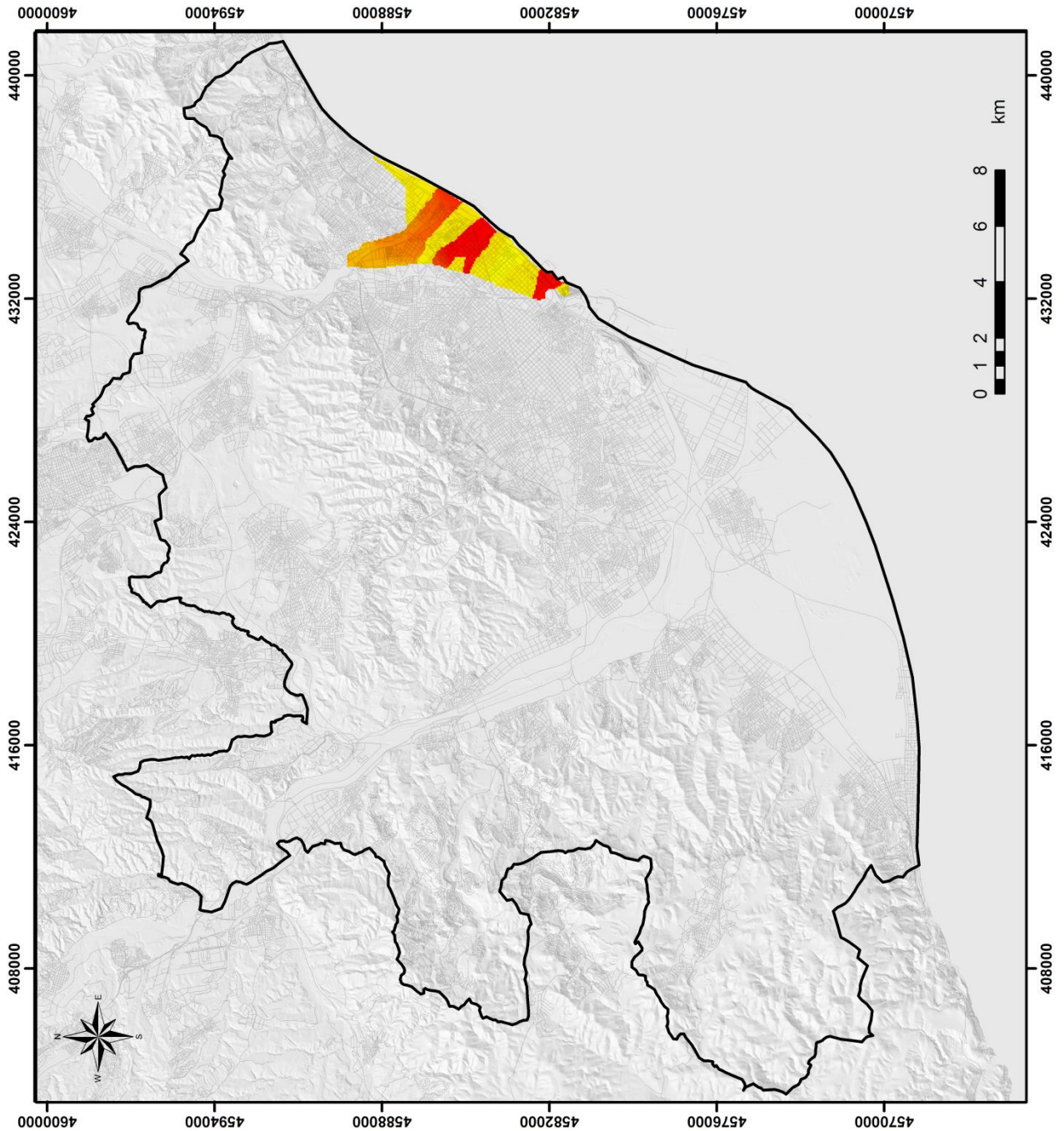


Fig A6.3: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts anual a la capa 3 en kW.

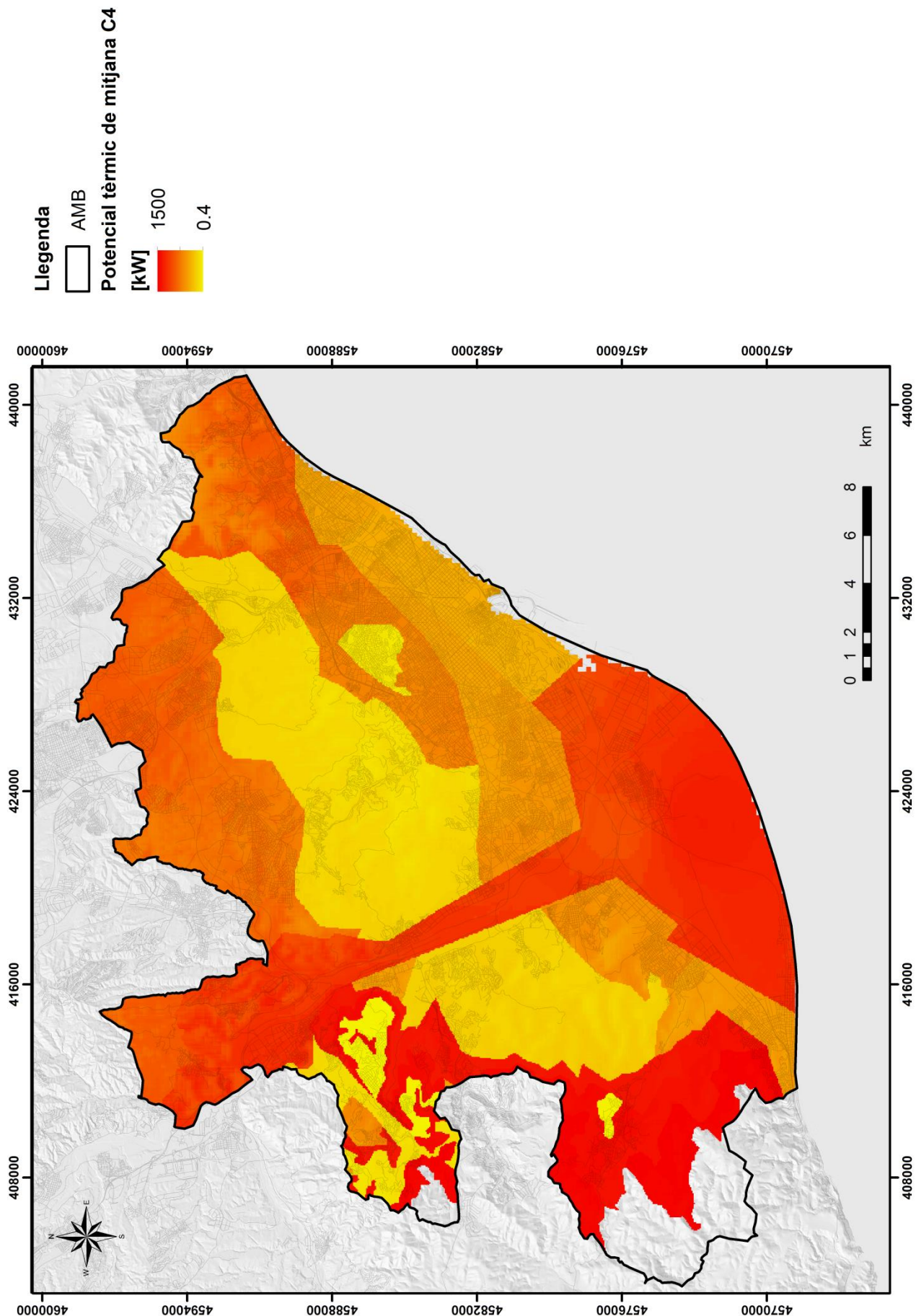


Fig A6.4: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts anual a la capa 4 en kW.

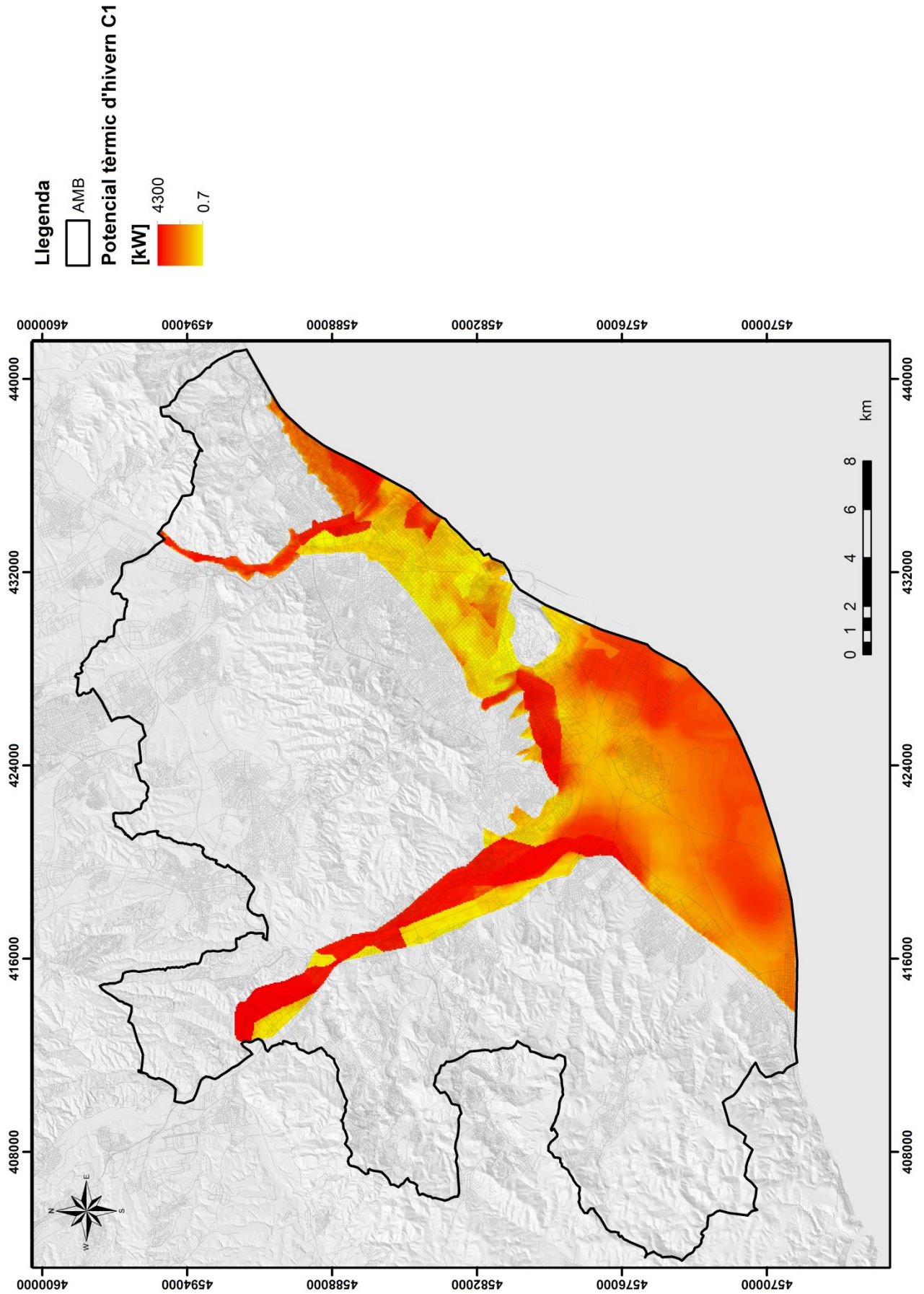


Fig A6.5: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts a l'hivern a la capa 1 en kW.

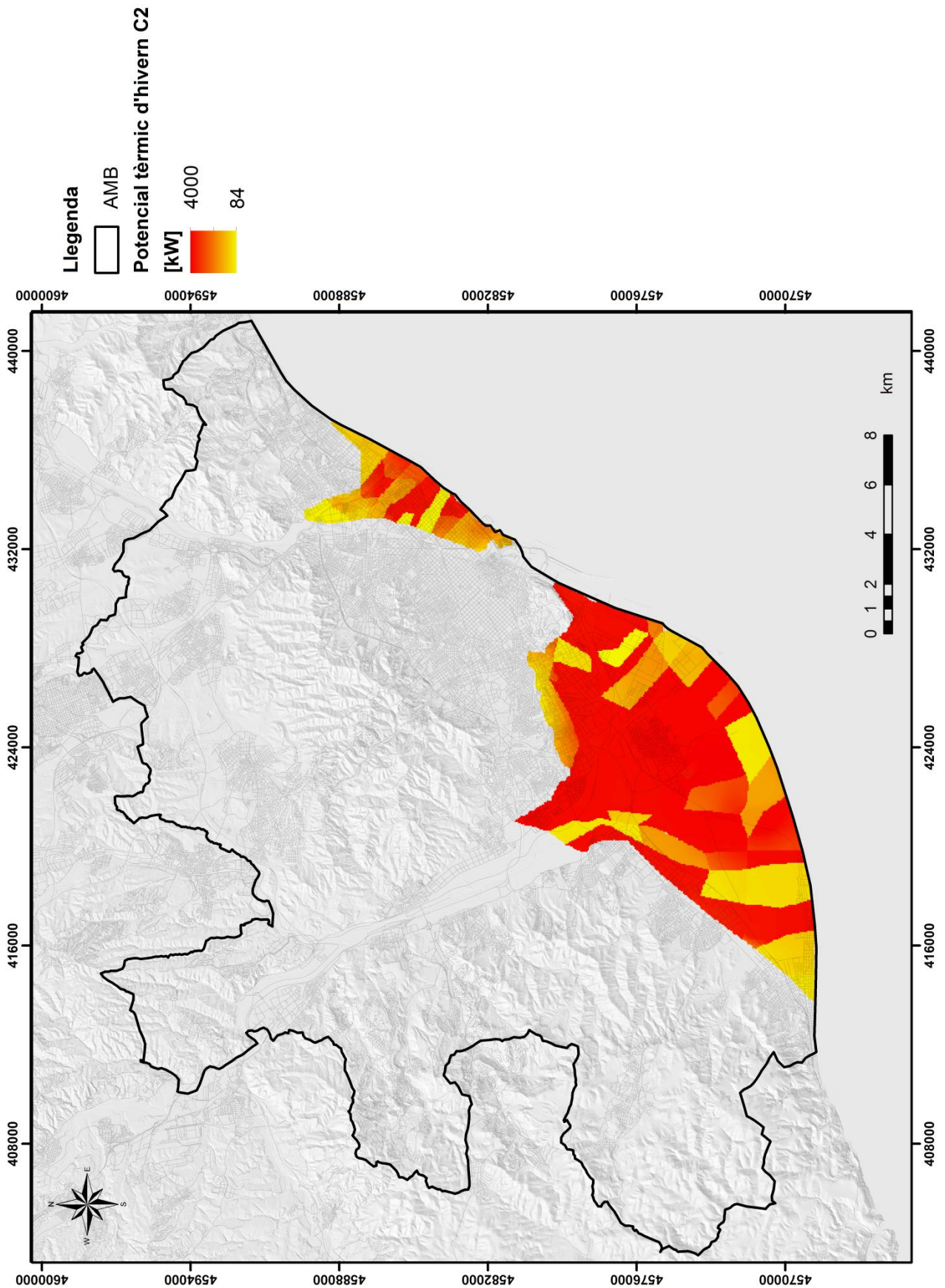


Fig A6.6: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts a l'hivern en la capa 2 en kW.

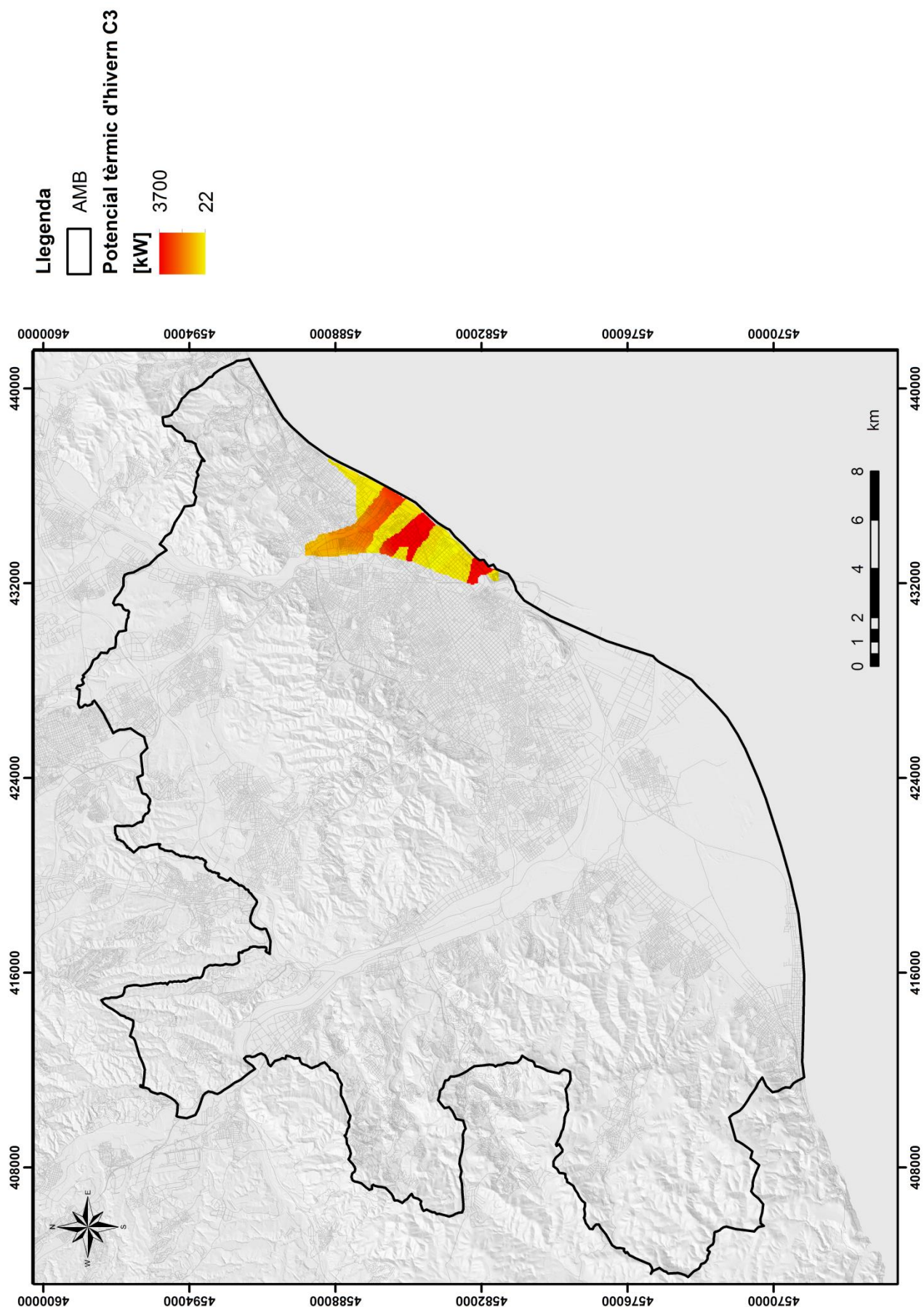


Fig A6.7: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts a l'hivern a la capa 3 en kW.

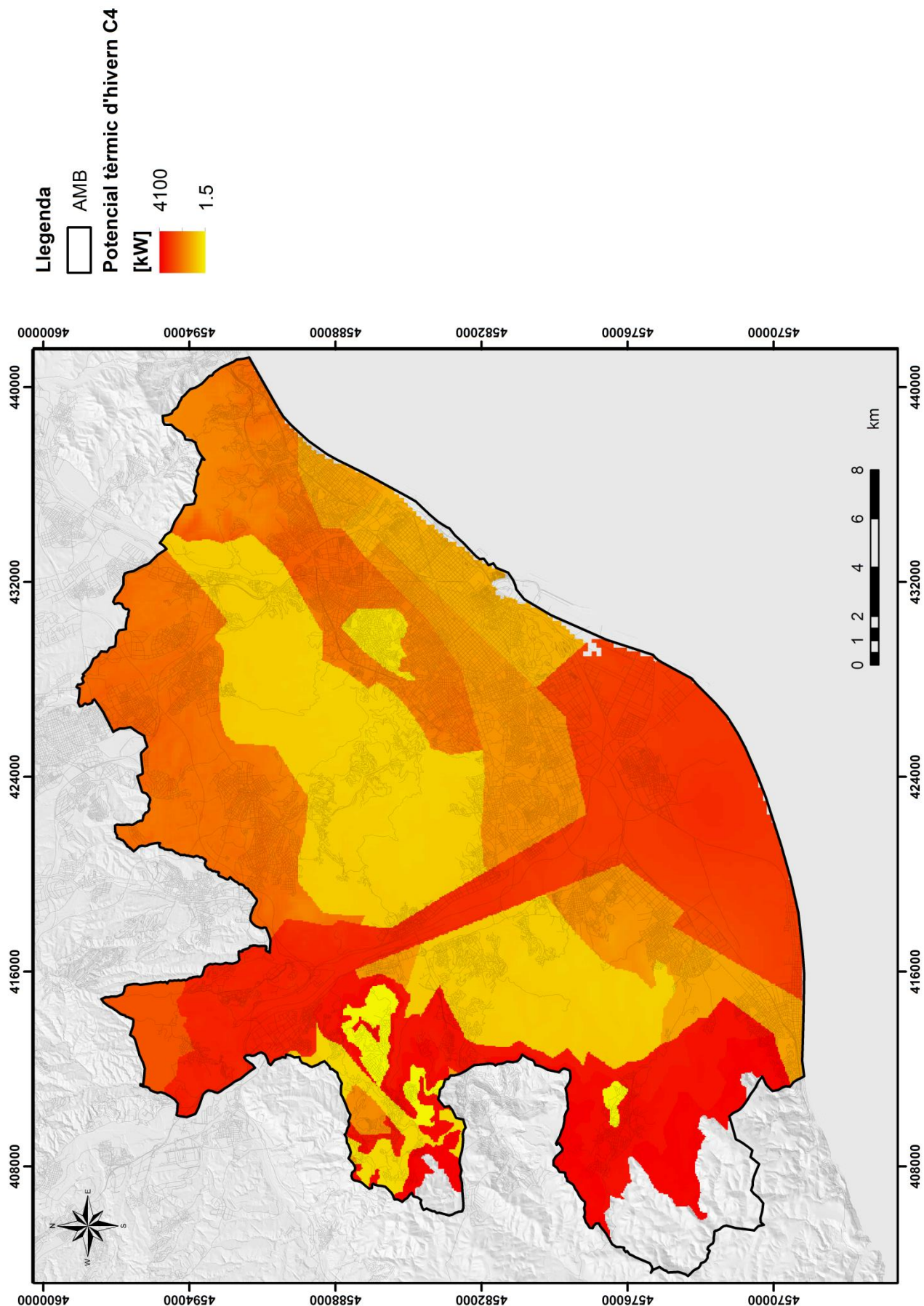


Fig A6.8: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts a l'hivern a la capa 4 en kW.

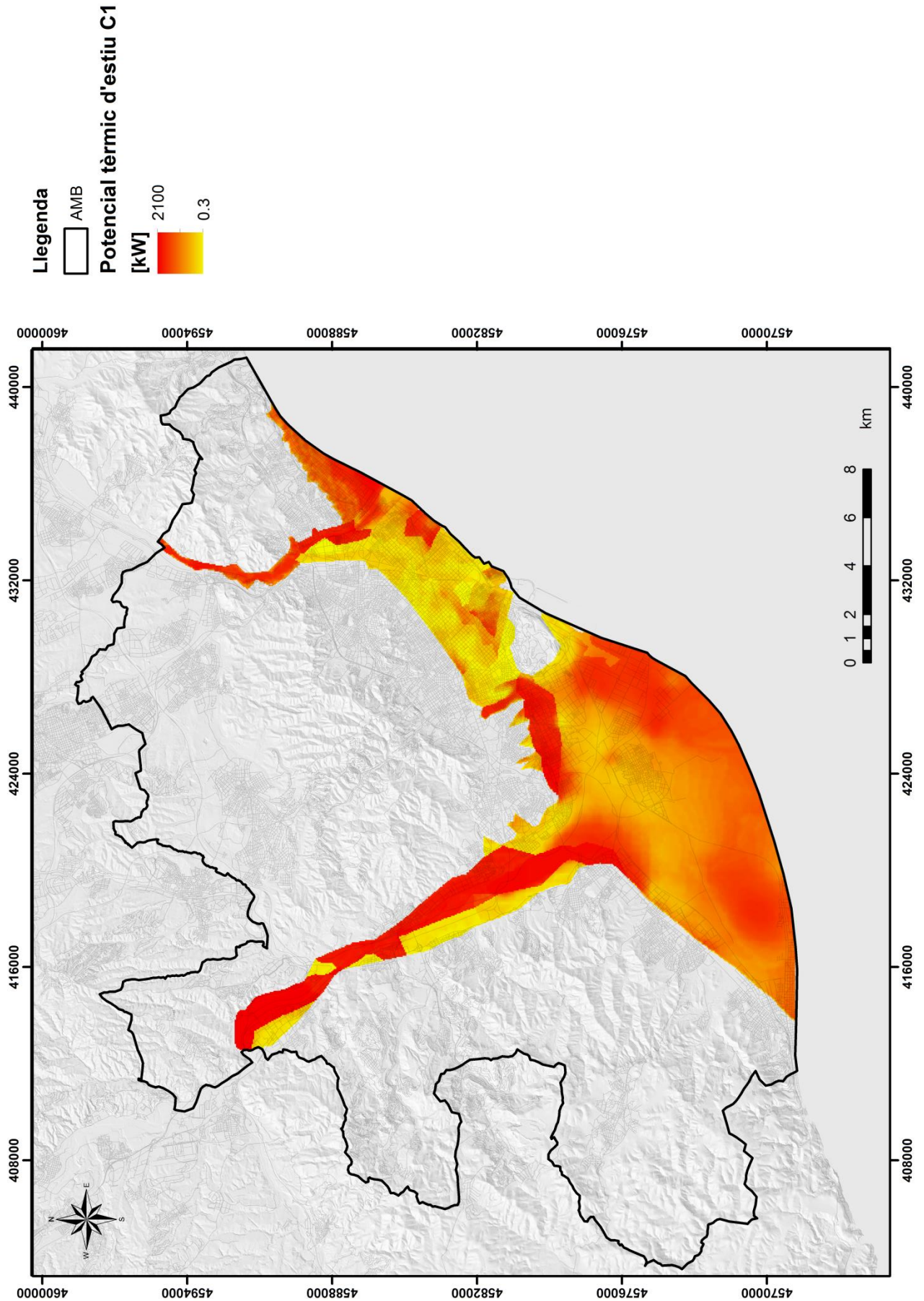


Fig A6.9: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts a l'estiu a la capa 1 en kW.

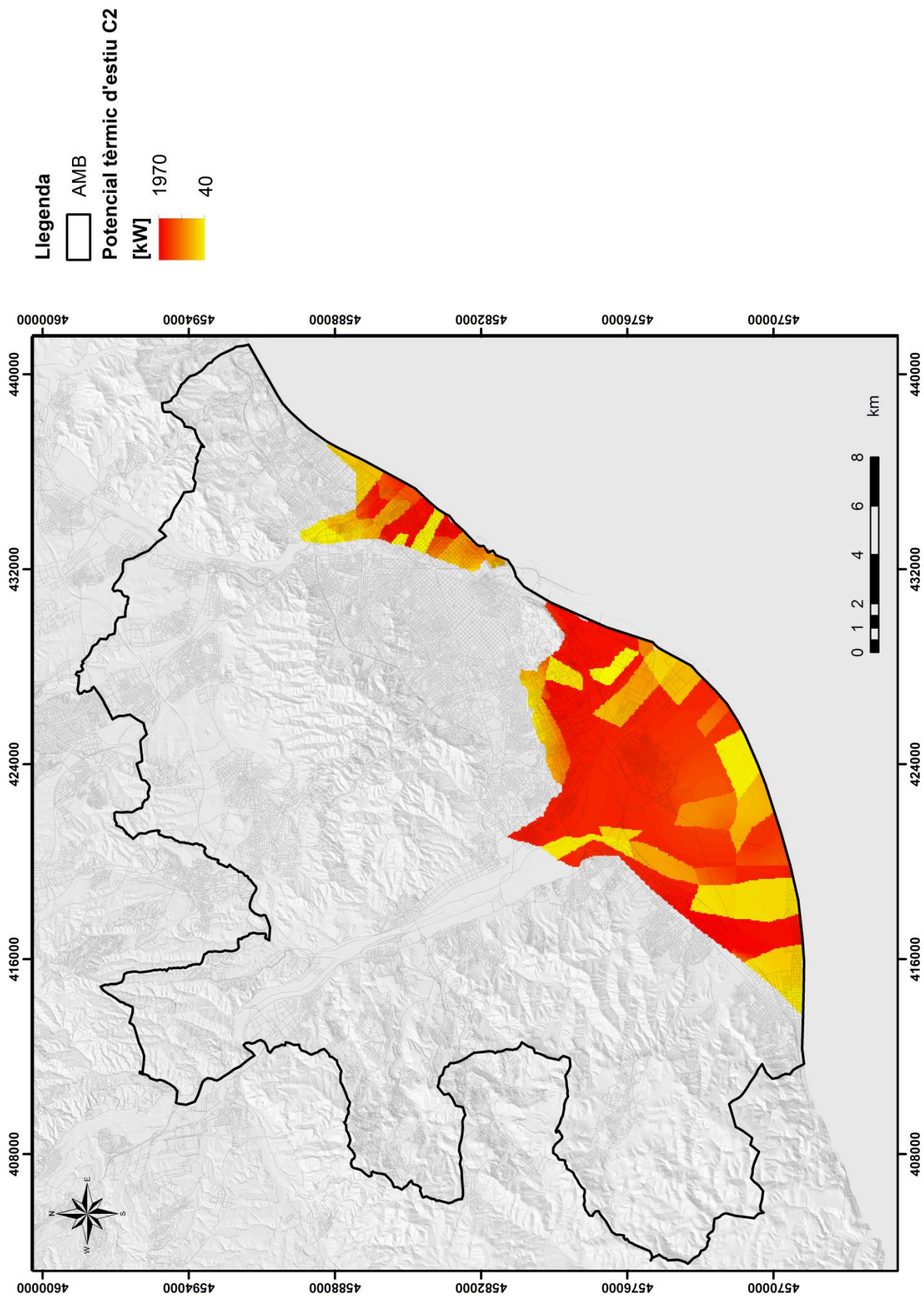


Fig A6.10: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts a l'estiu en la capa 2 en kW.

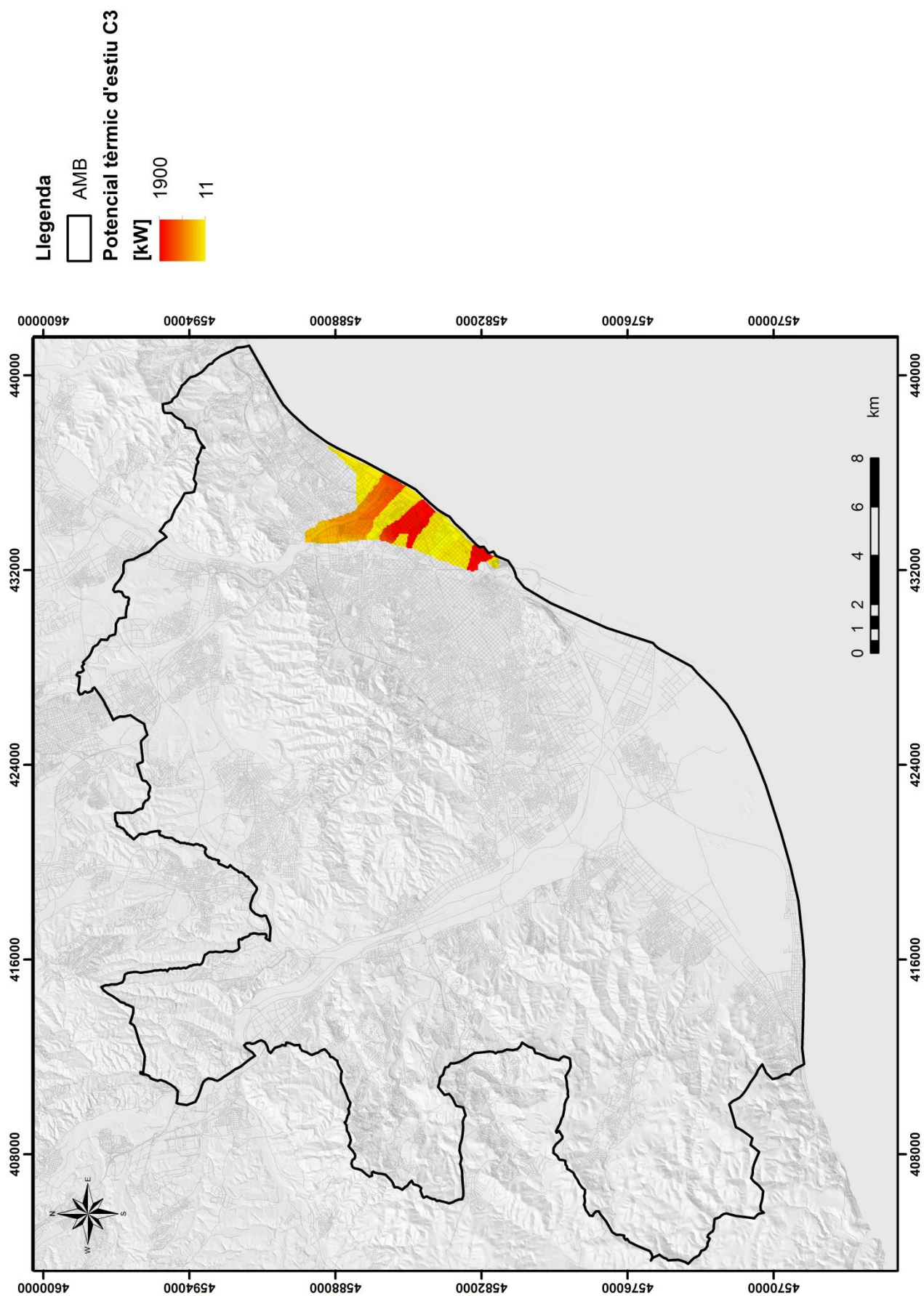


Fig A6.11: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts a l'estiu a la capa 3 en kW.

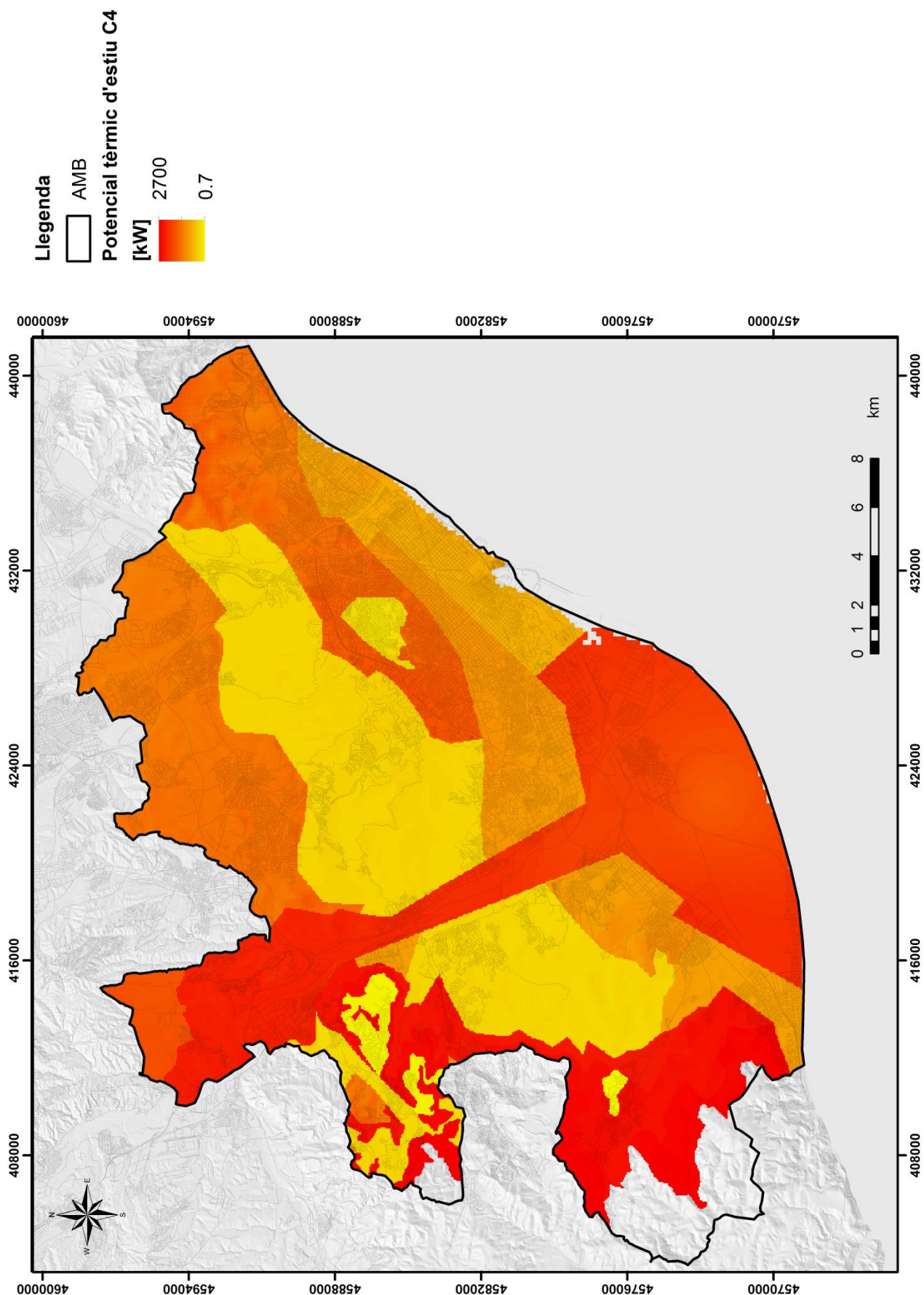


Fig A6.12: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts a l'estiu a la capa 4 en kW.

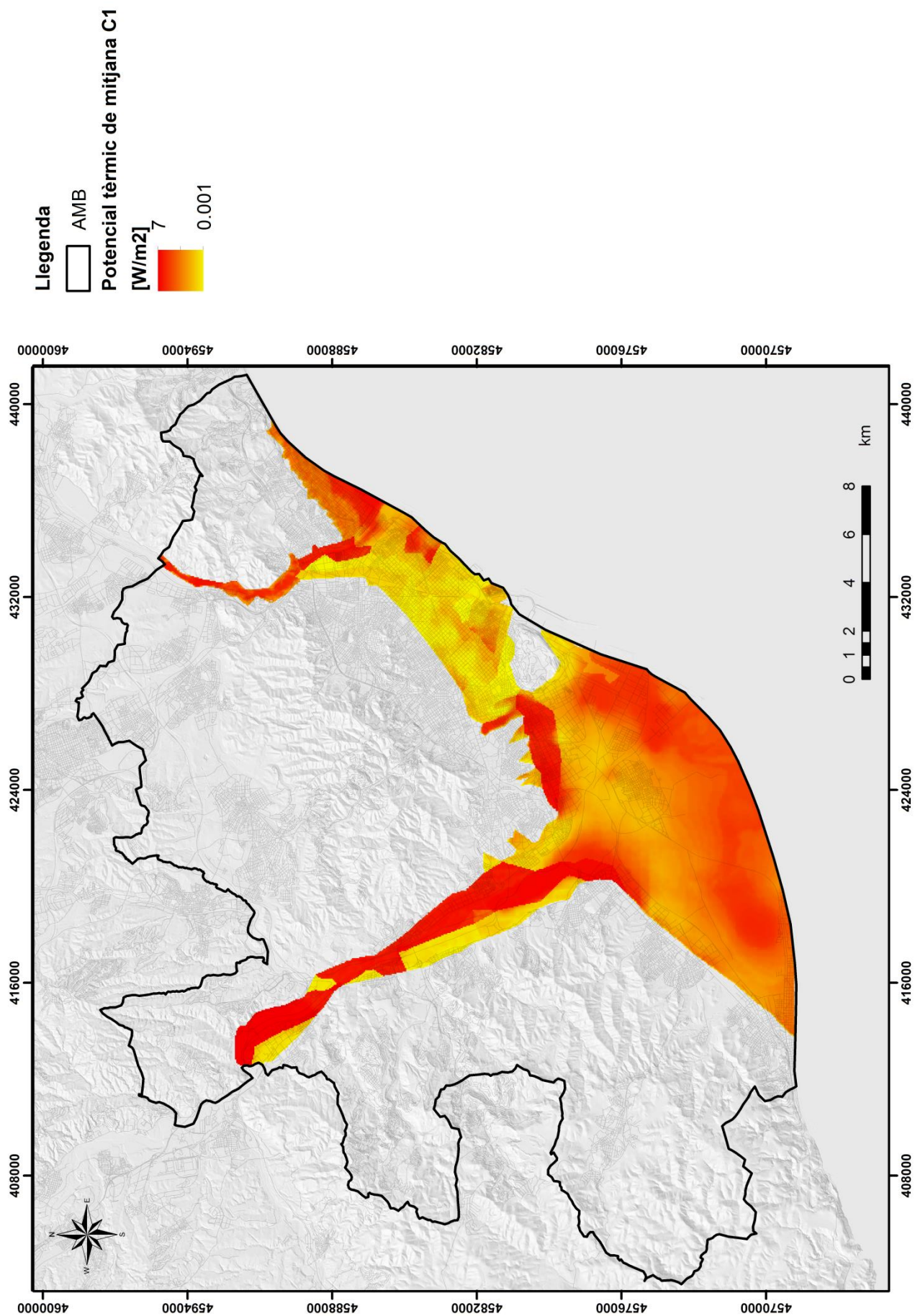


Fig A6.13: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts anual a la capa 1 en W/m².

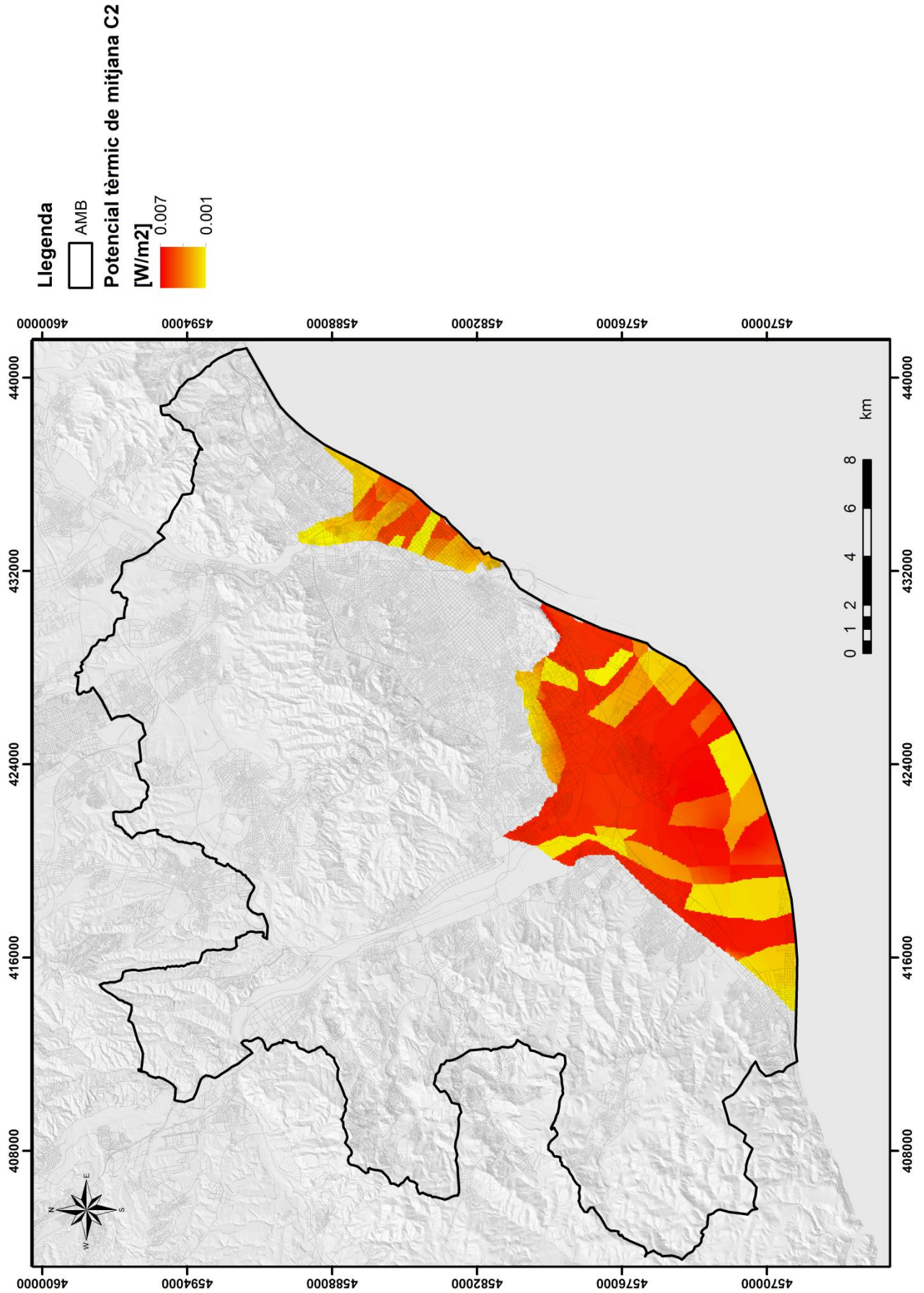


Fig A6.14: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts anual a la capa 2 en W/m².

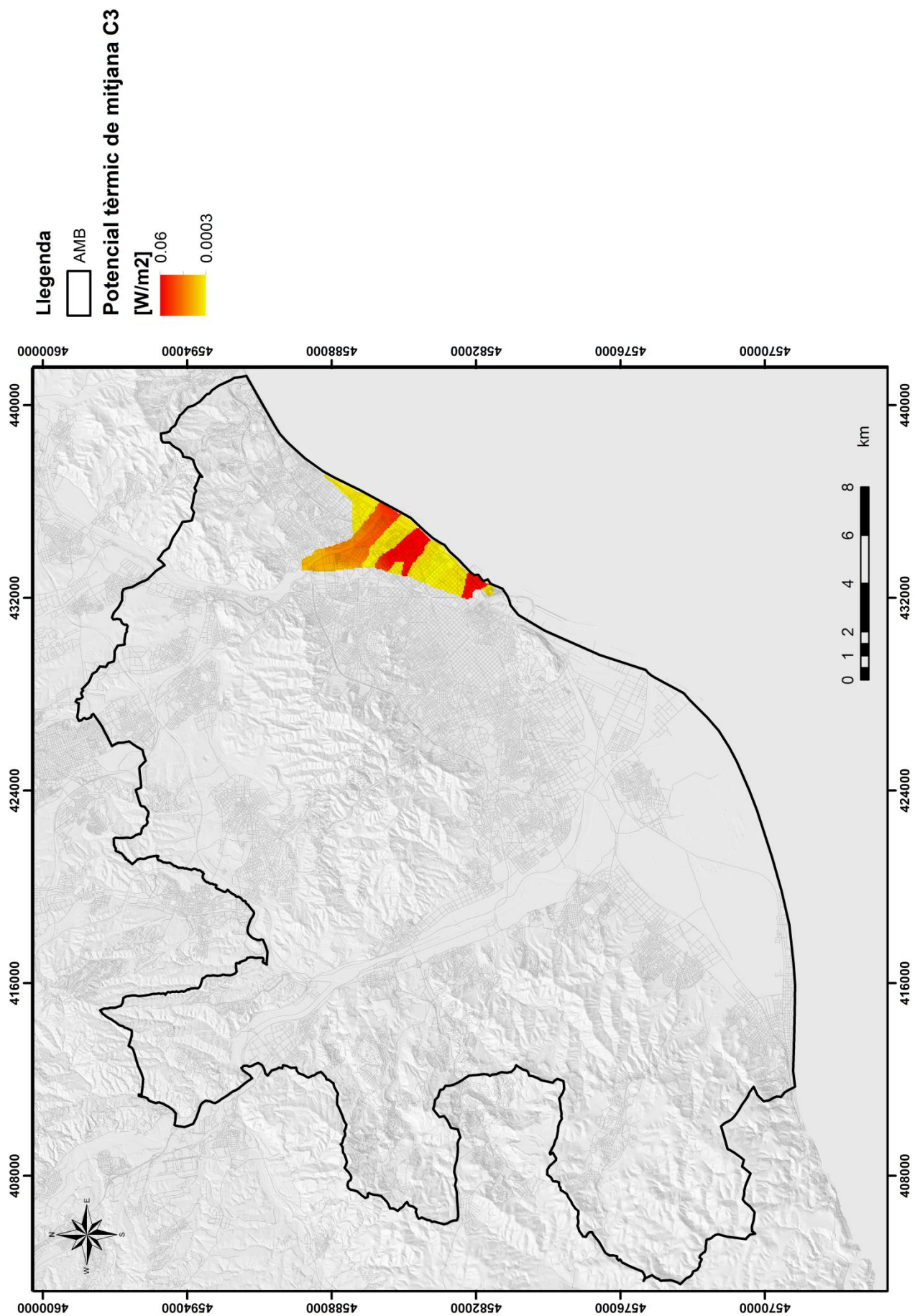


Fig A6.15: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts anual a la capa 3 en W/m².

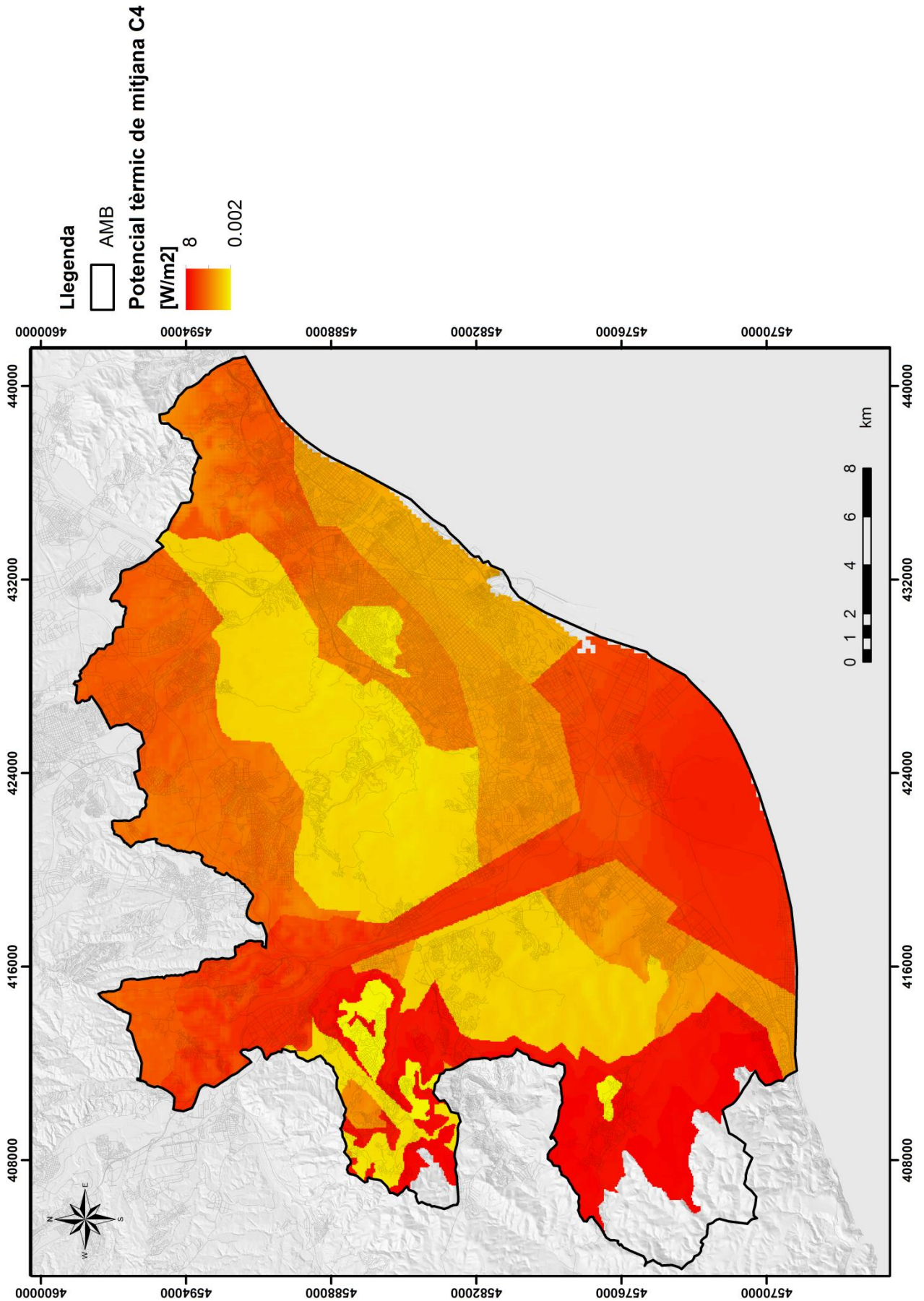


Fig A6.16: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts anual a la capa 4 en W/m².

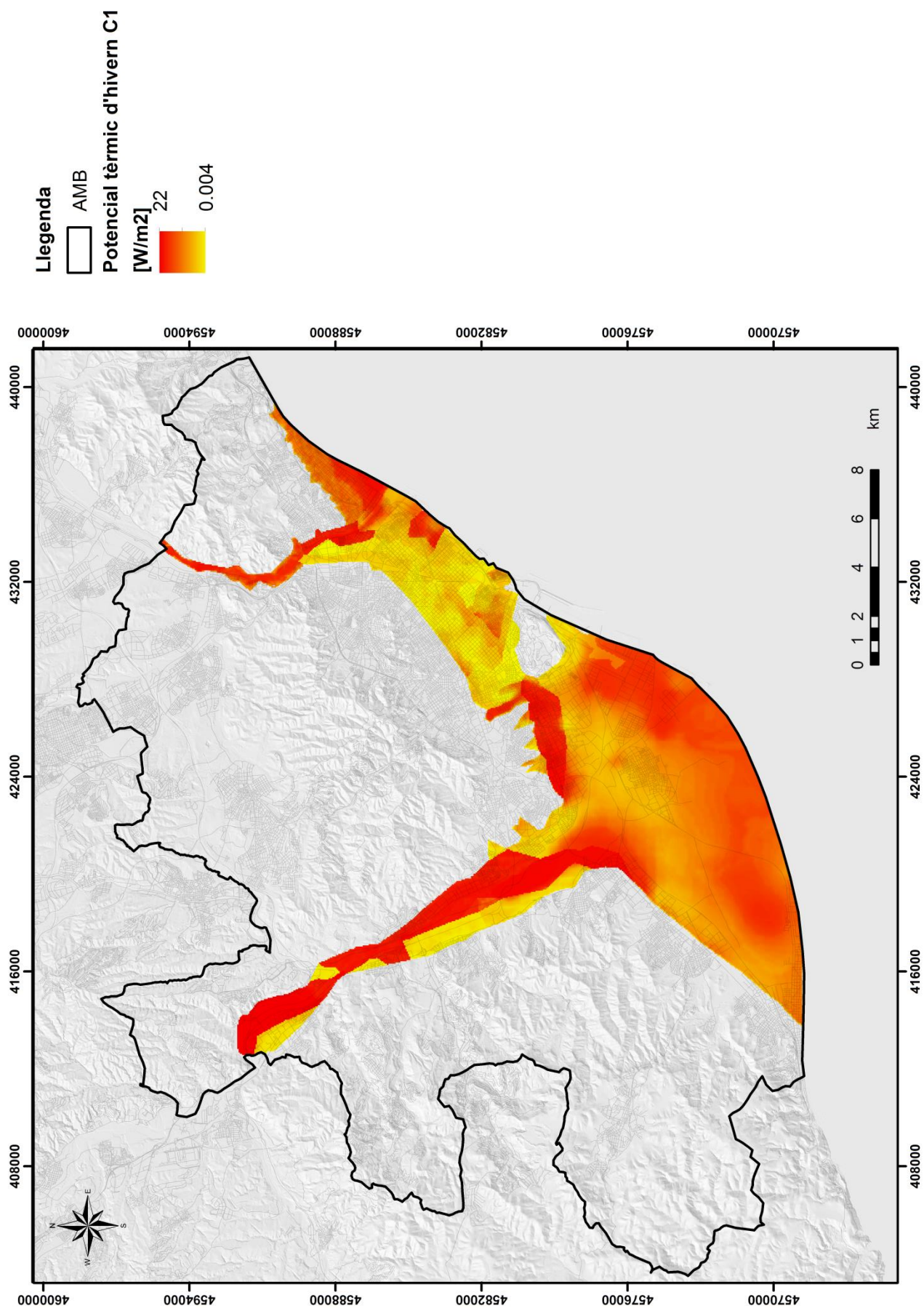


Fig A6.17: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts a l'hivern a la capa 1 en W/m².

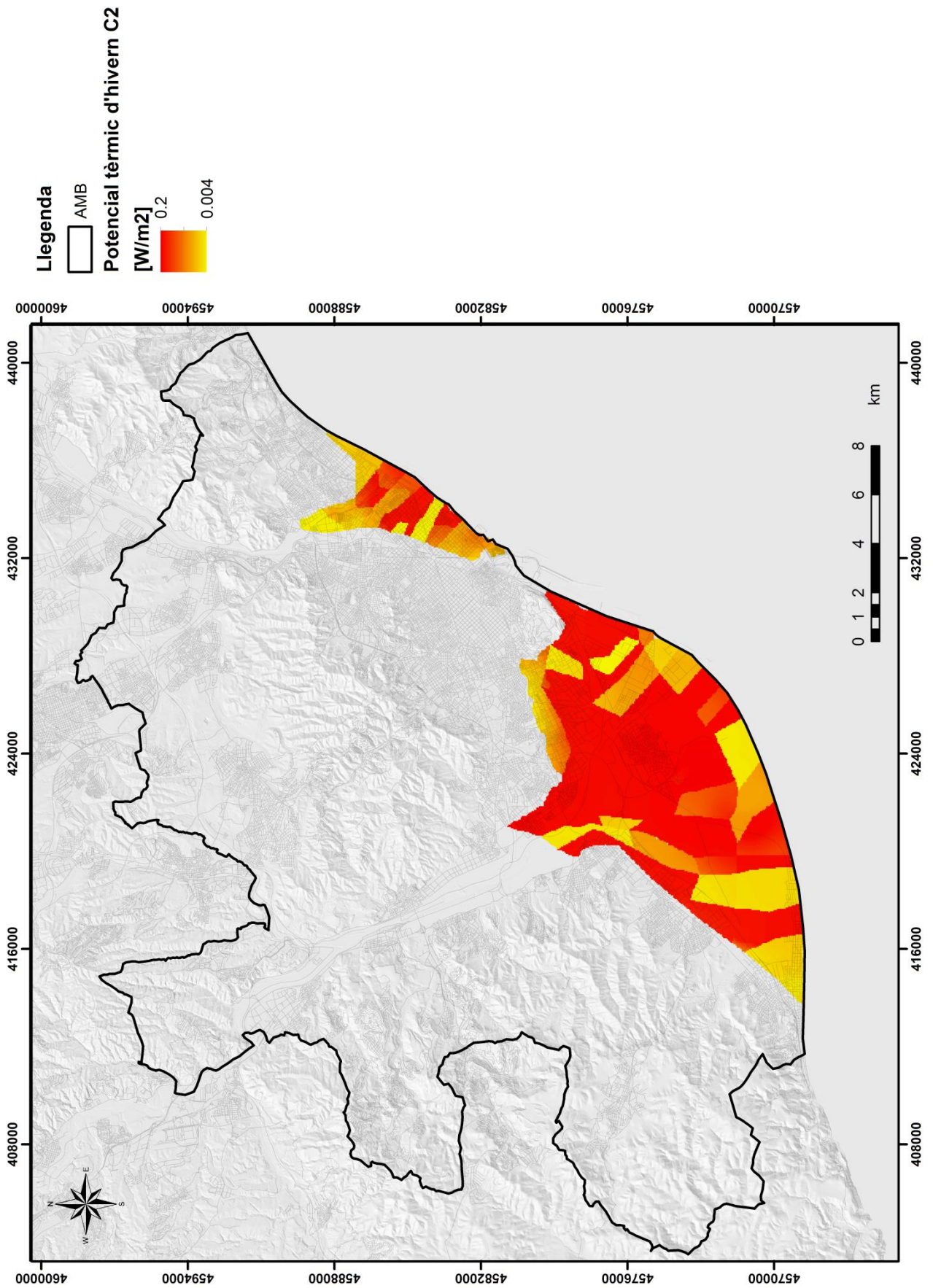


Fig A6.18: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts a l'hivern en la capa 2 en W/m².

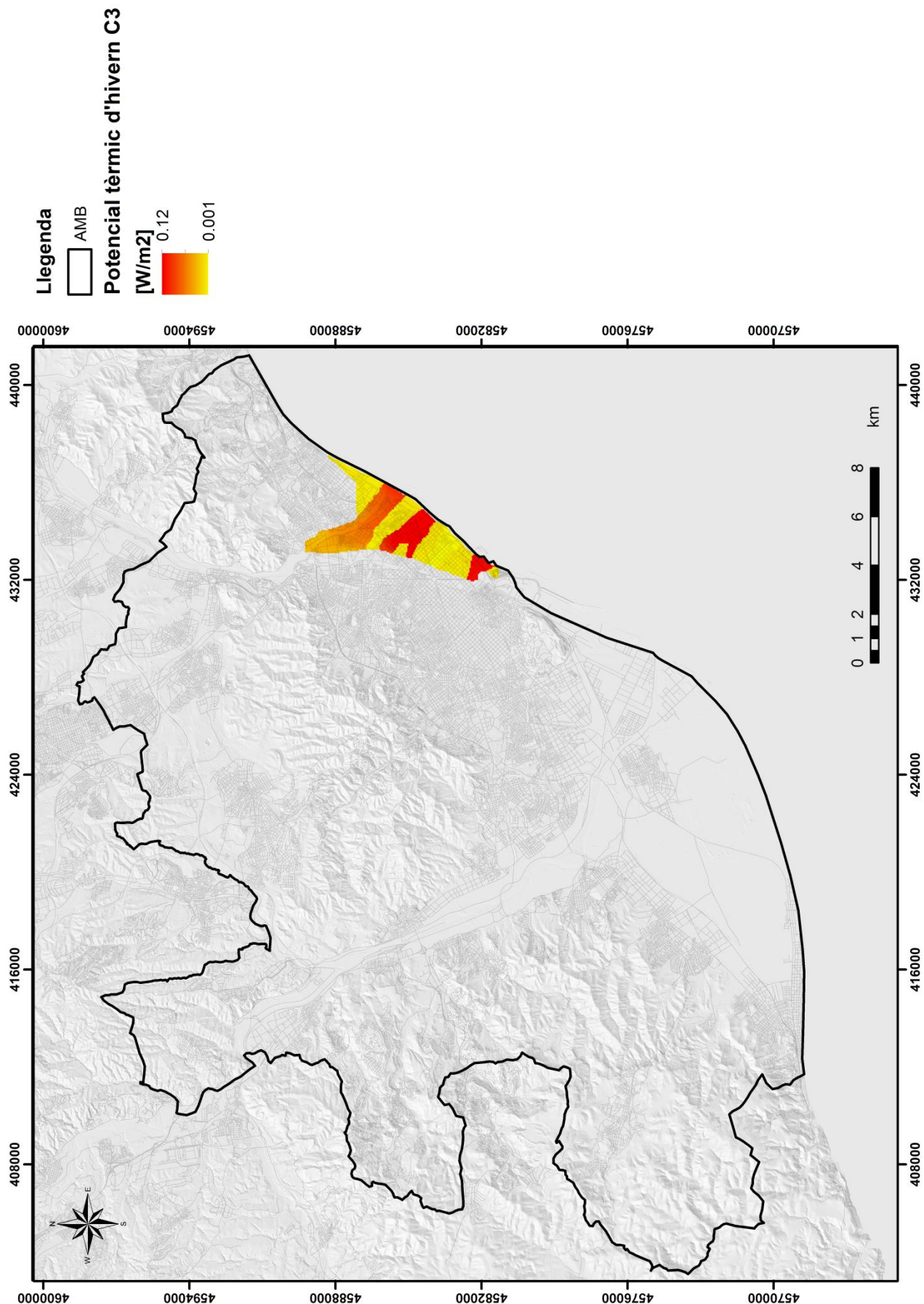


Fig A6.19: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts a l'hivern a la capa 3 en W/m².

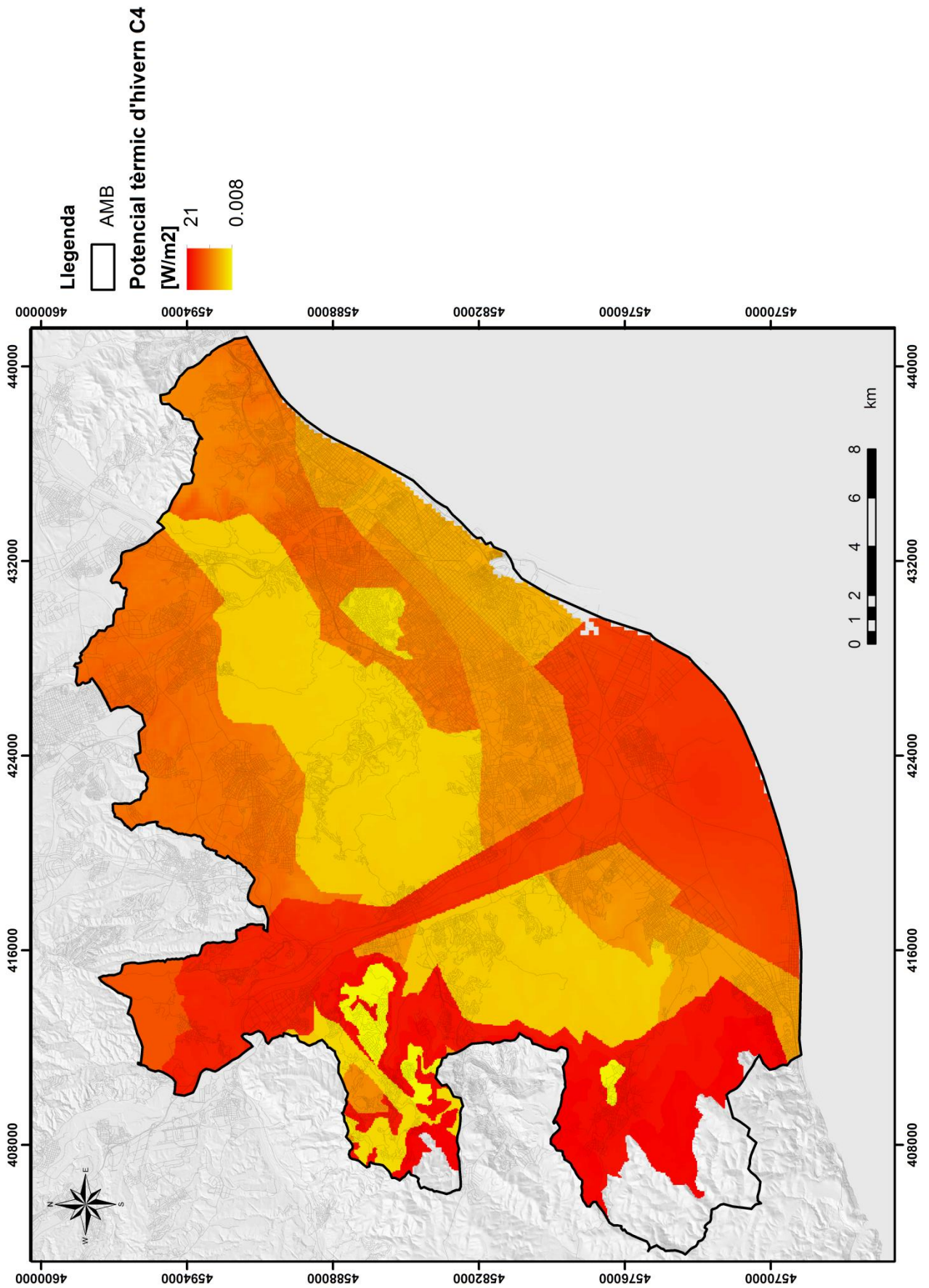


Fig A6.20: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts a l'hivern a la capa 4 en W/m².

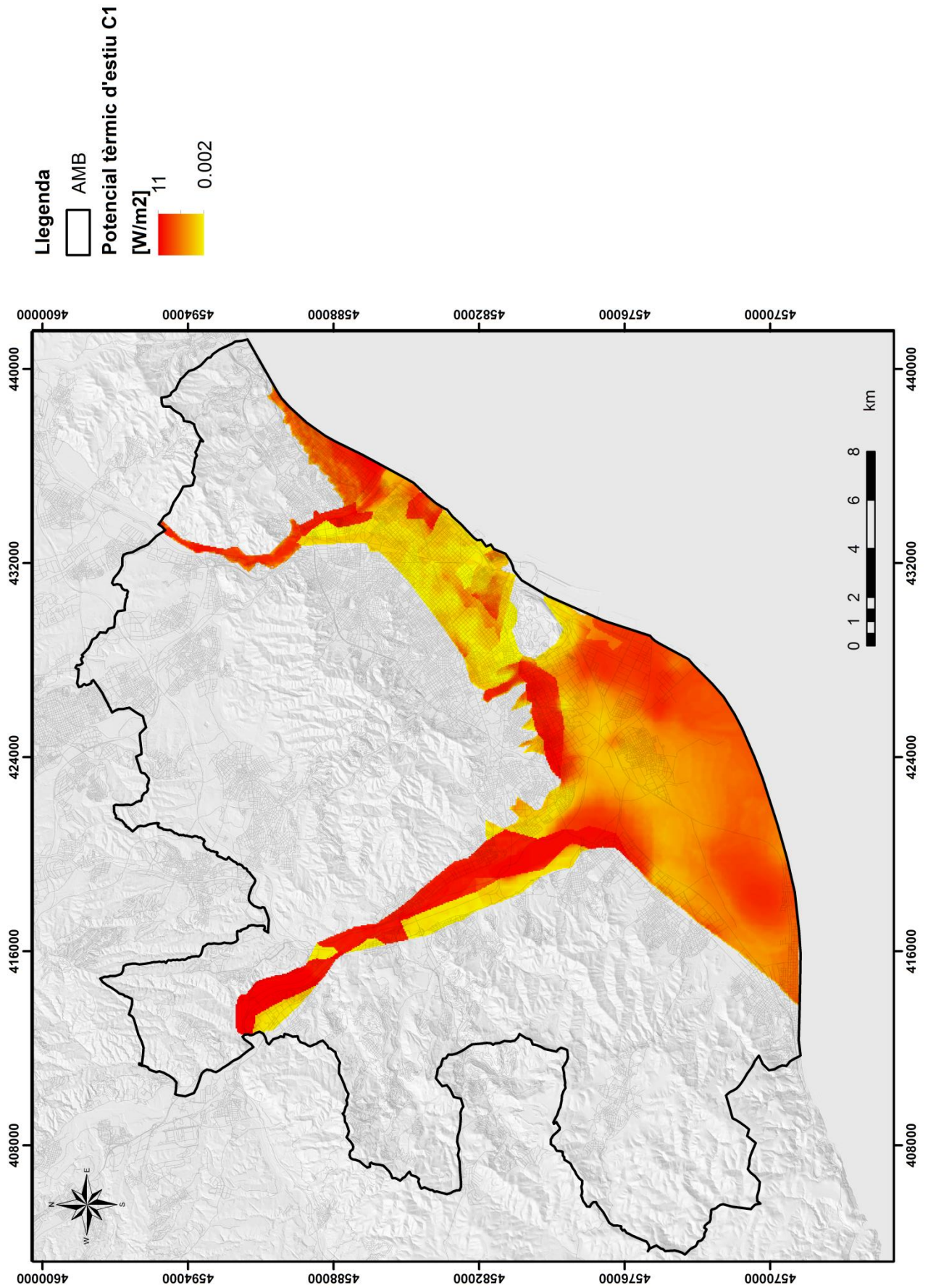


Fig A6.21: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts a l'estiu a la capa 1 en W/m².

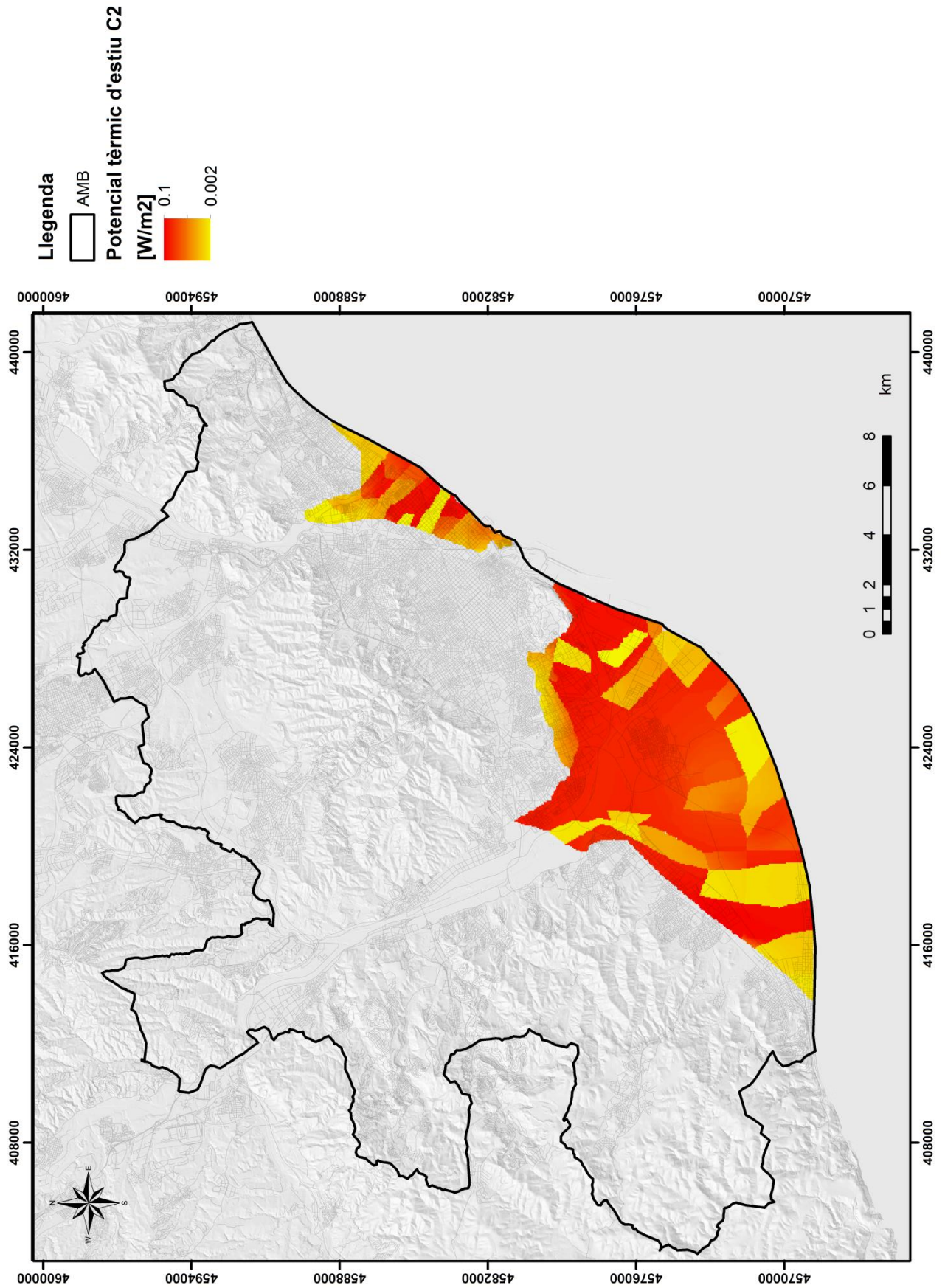


Fig A6.22: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts a l'estiu en la capa 2 en W/m².

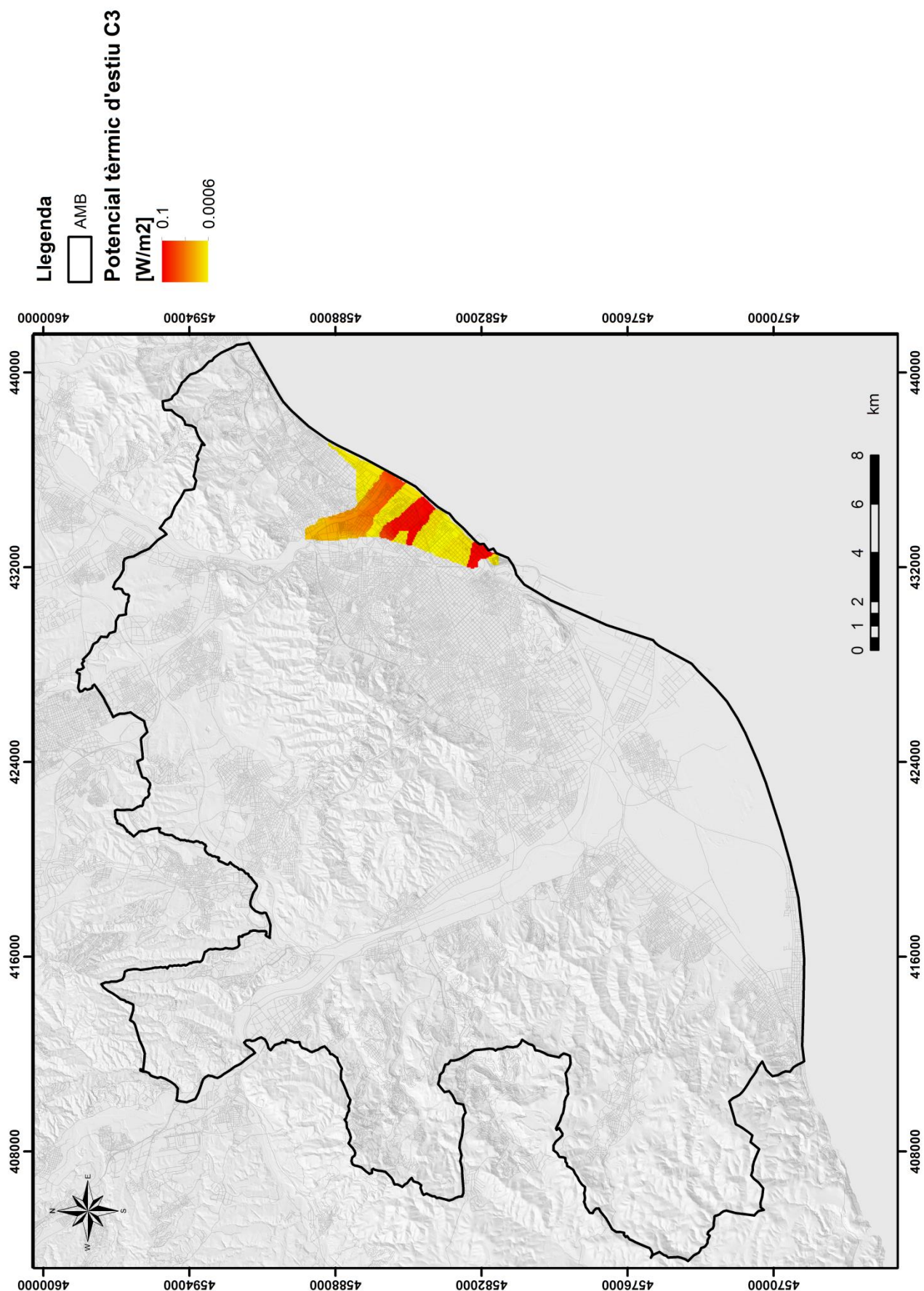


Fig A6.23: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts a l'estiu a la capa 3 en W/m².

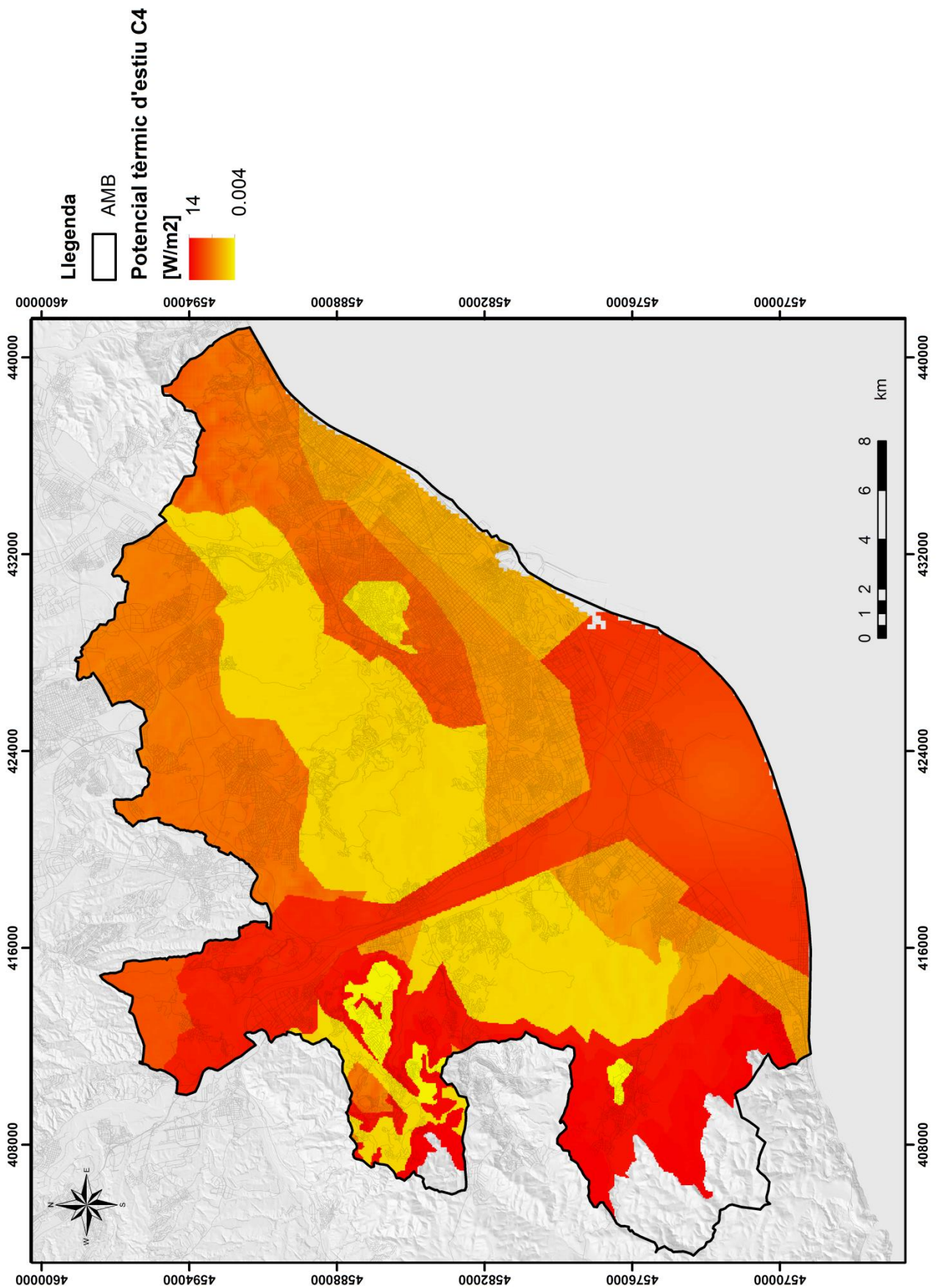


Fig A6.24: Mapa de potencial geotèrmic per a sistemes oberts a l'estiu a la capa 4 en W/m².

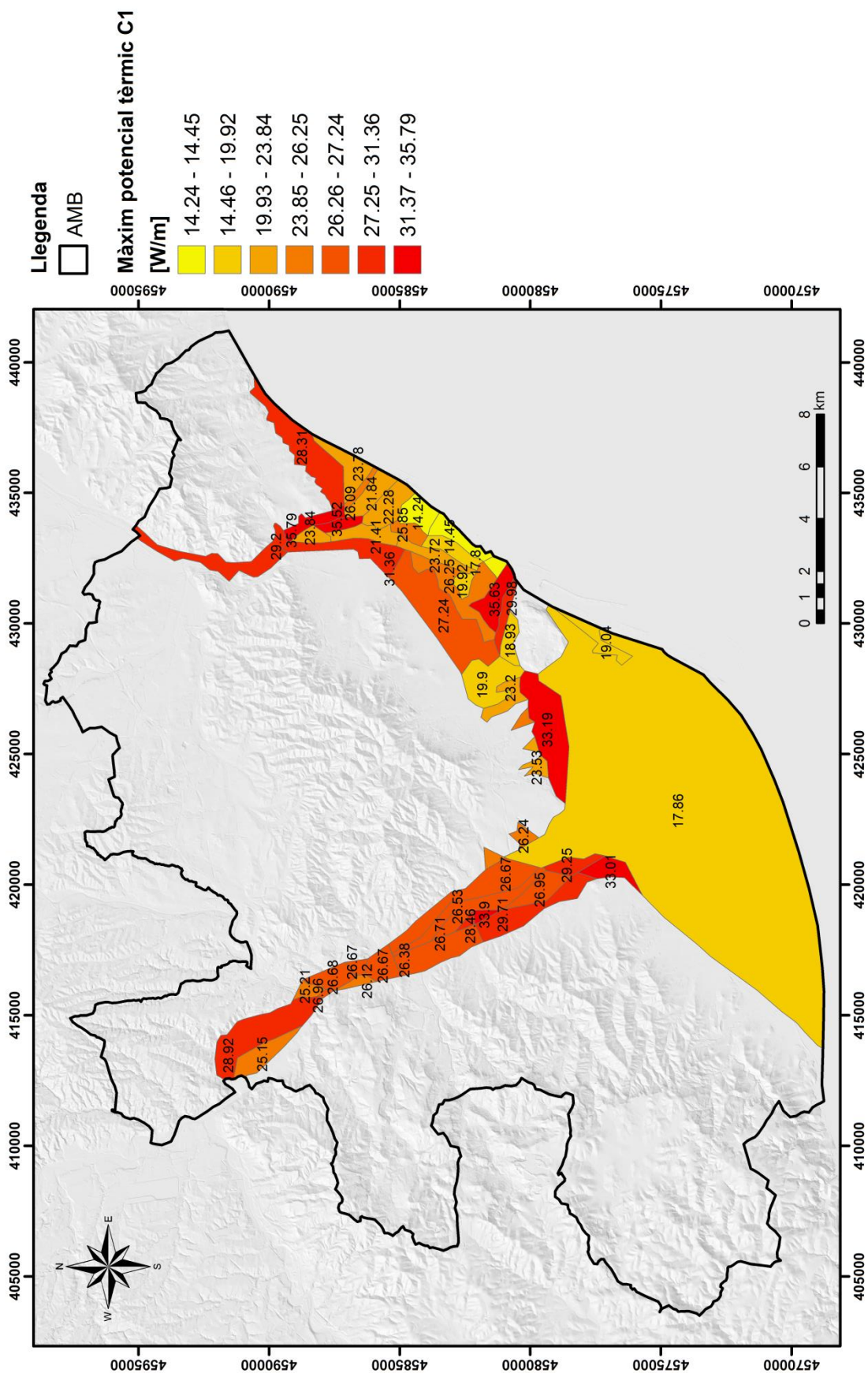


Fig A6.26: Mapa de Màxim potencial Tèrmic a la capa 1.

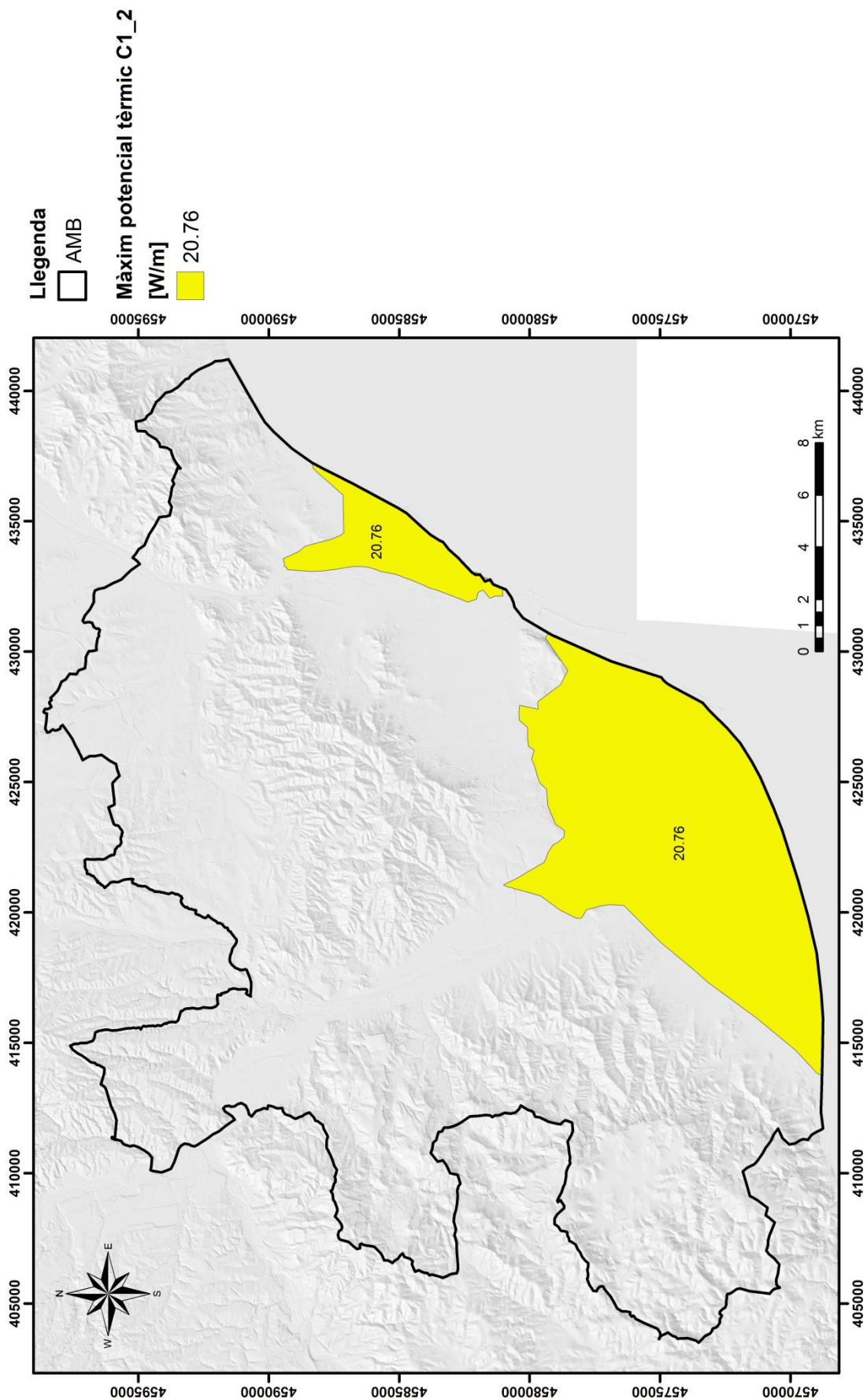


Fig A6.27: Mapa de Màxim potencial Tèrmic en la capa 1_2.

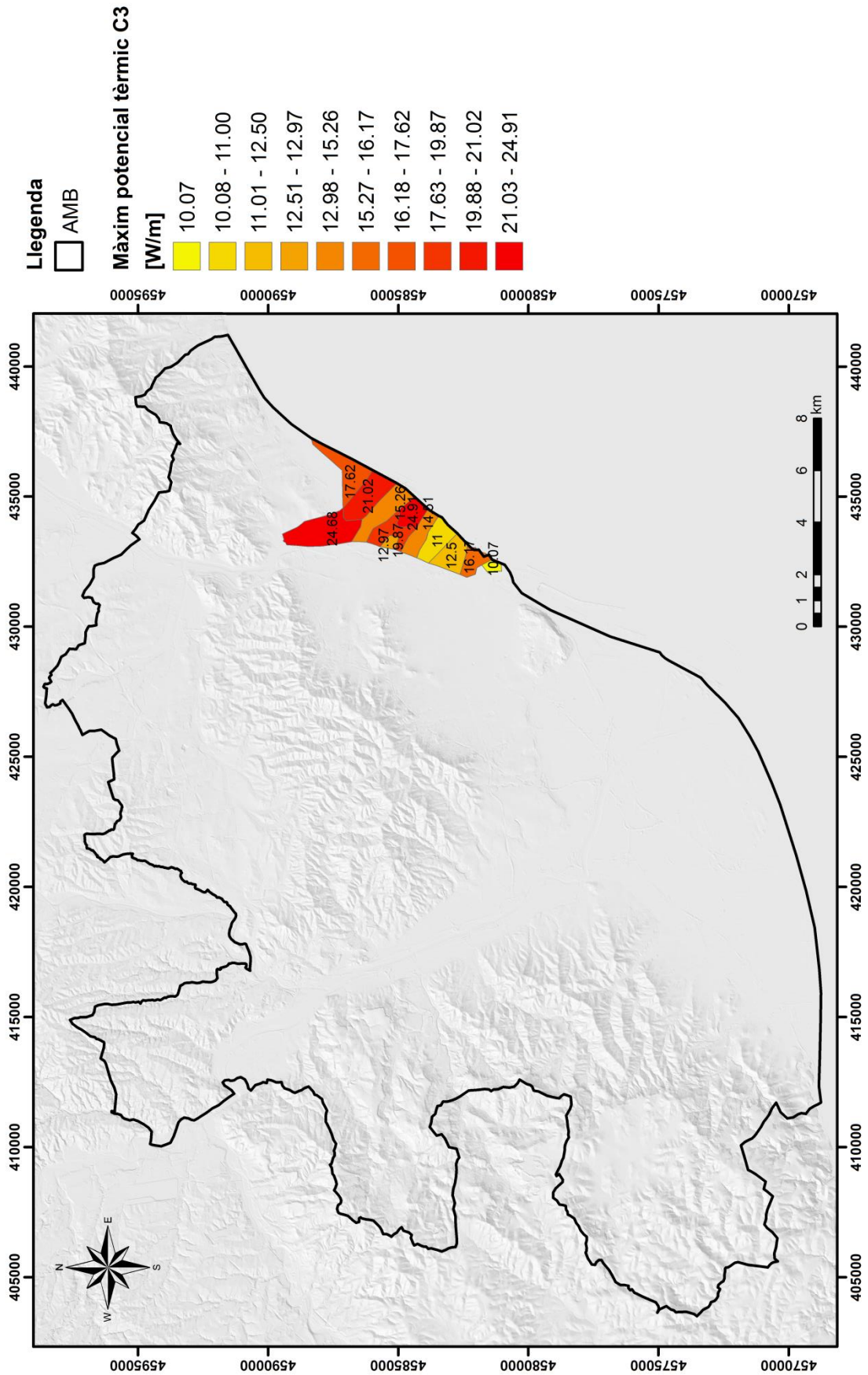


Fig A6.28: Mapa de Màxim potencial Tèrmic en la capa 3.

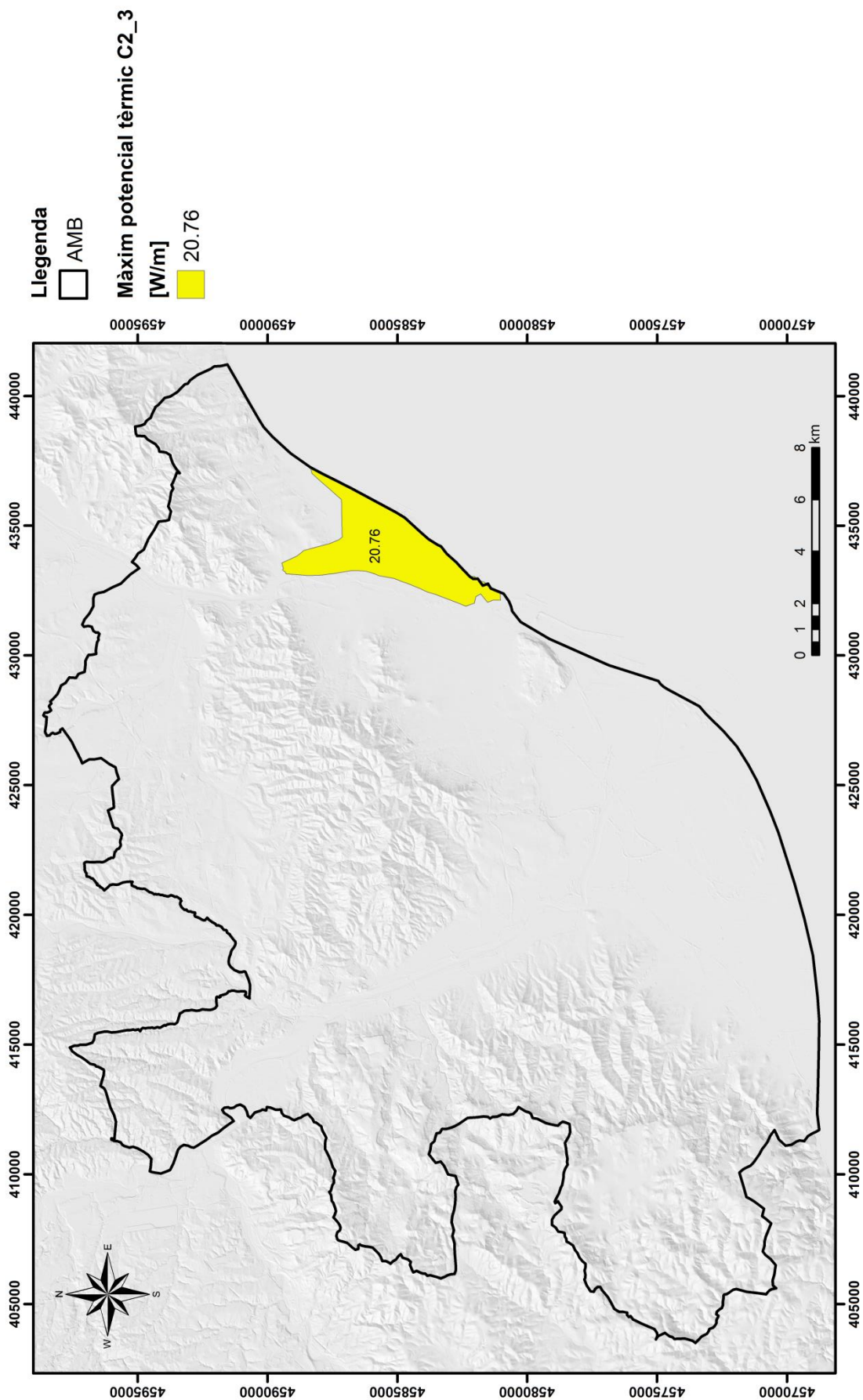


Fig A6.29: Mapa de Màxim potencial Tèrmic en la capa 2_3.

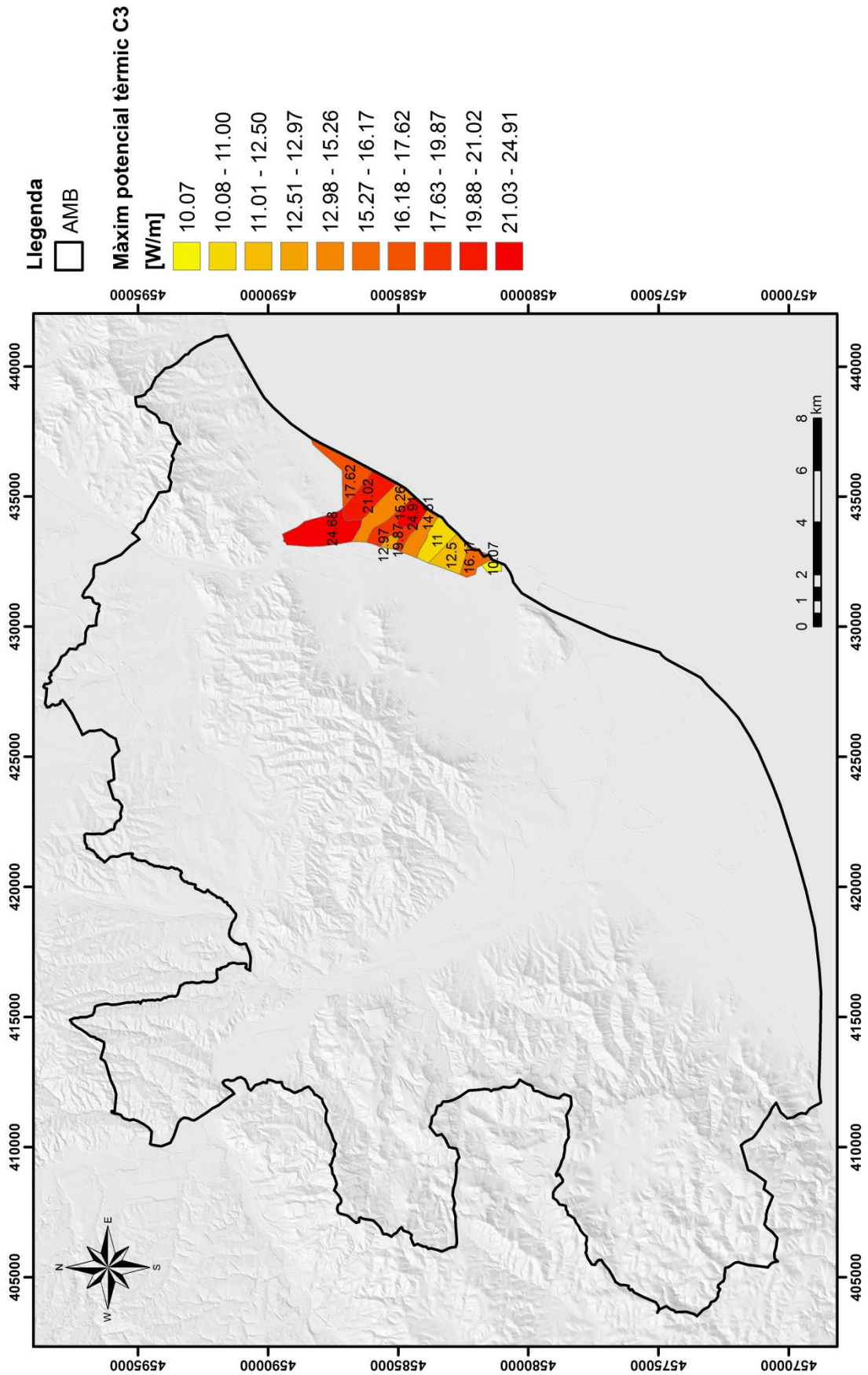


Fig A6.30: Mapa de Màxim potencial Tèrmic en la capa 3.

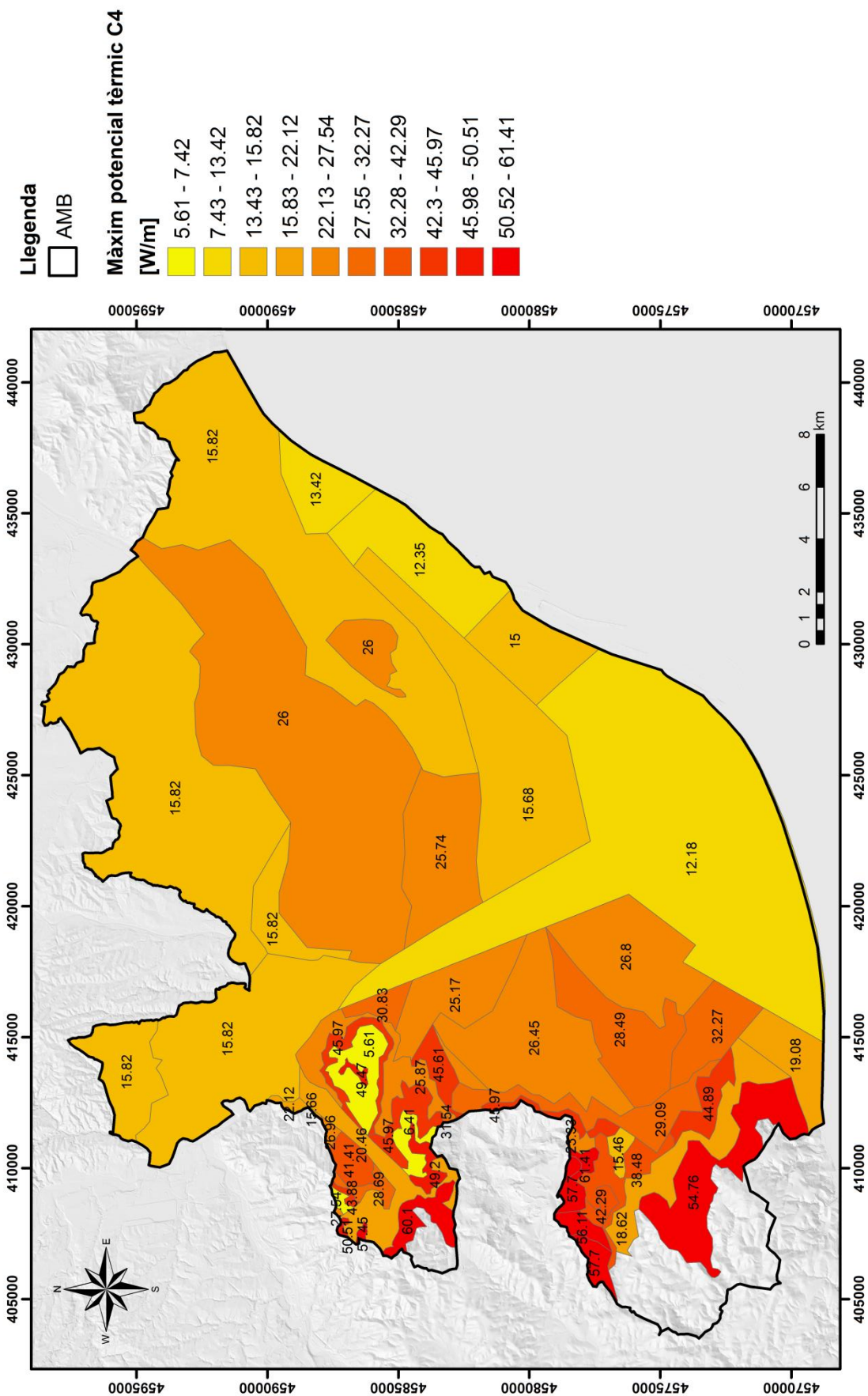


Fig A6.31: Mapa de Màxim potencial Tèrmic en la capa 4.

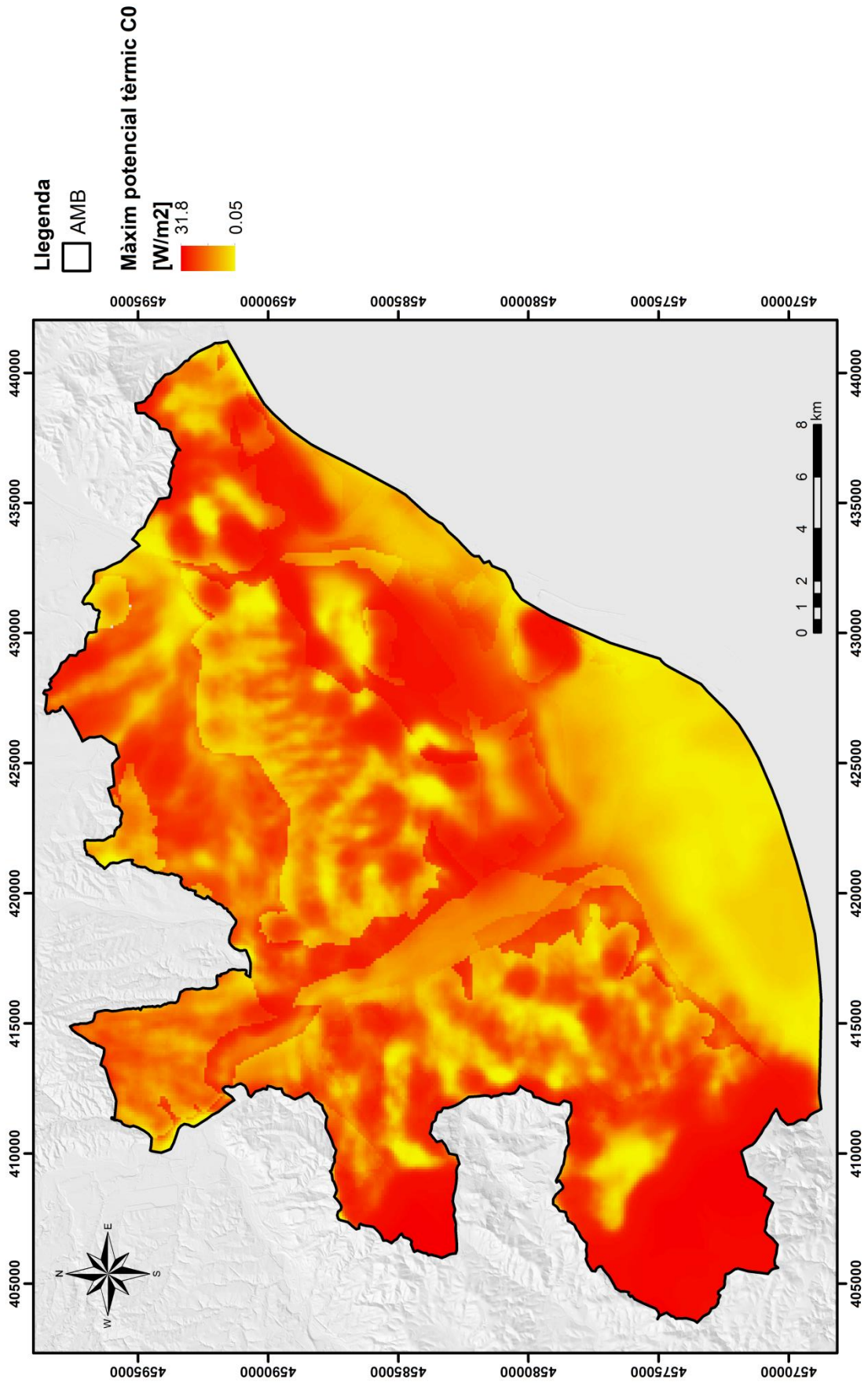


Fig A6.32: Mapa de potencial geotèrmic per unitat de superfície a la capa 0.

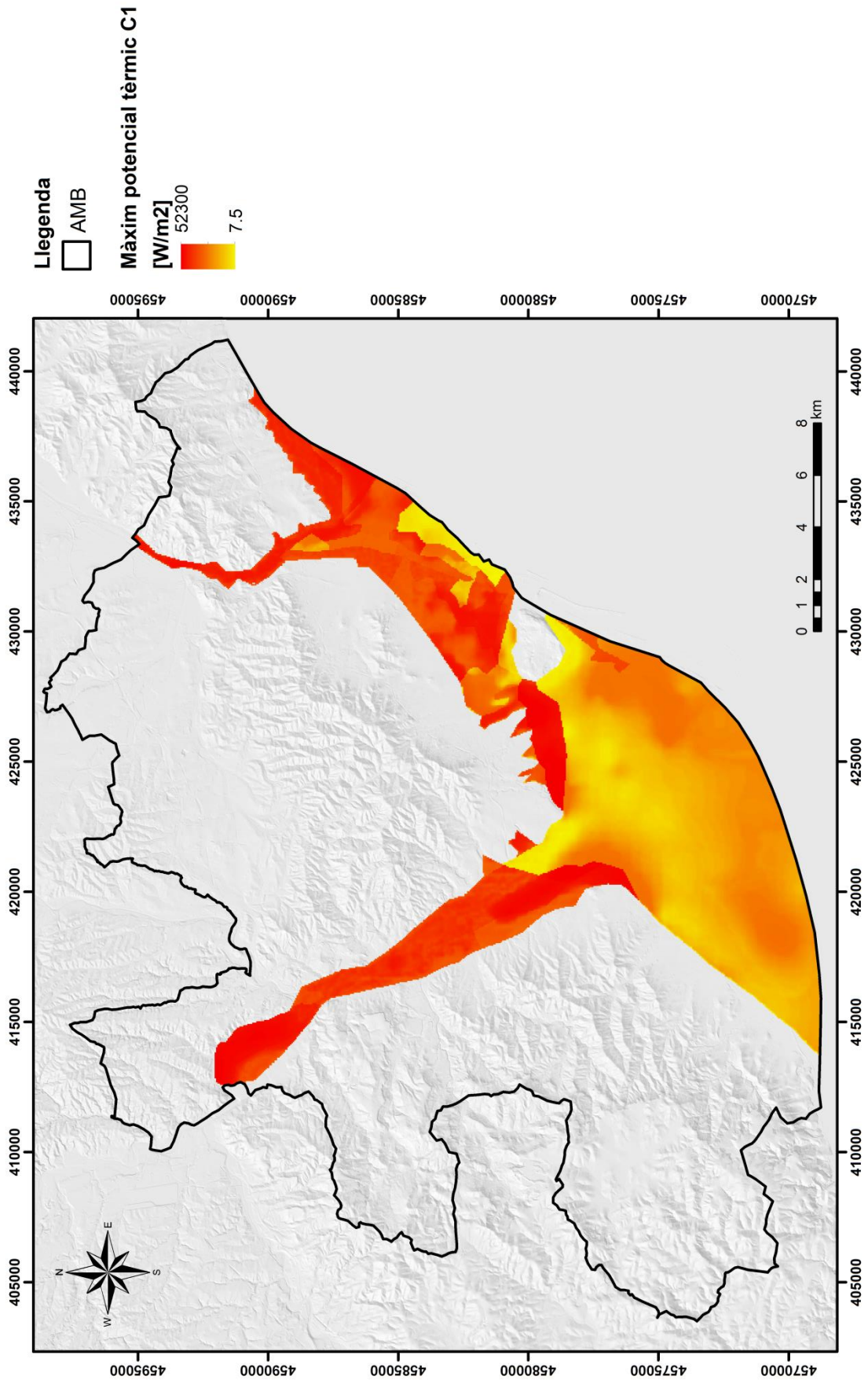


Fig A6.33: Mapa de potencial geotèrmic per unitat de superfície a la capa 1.

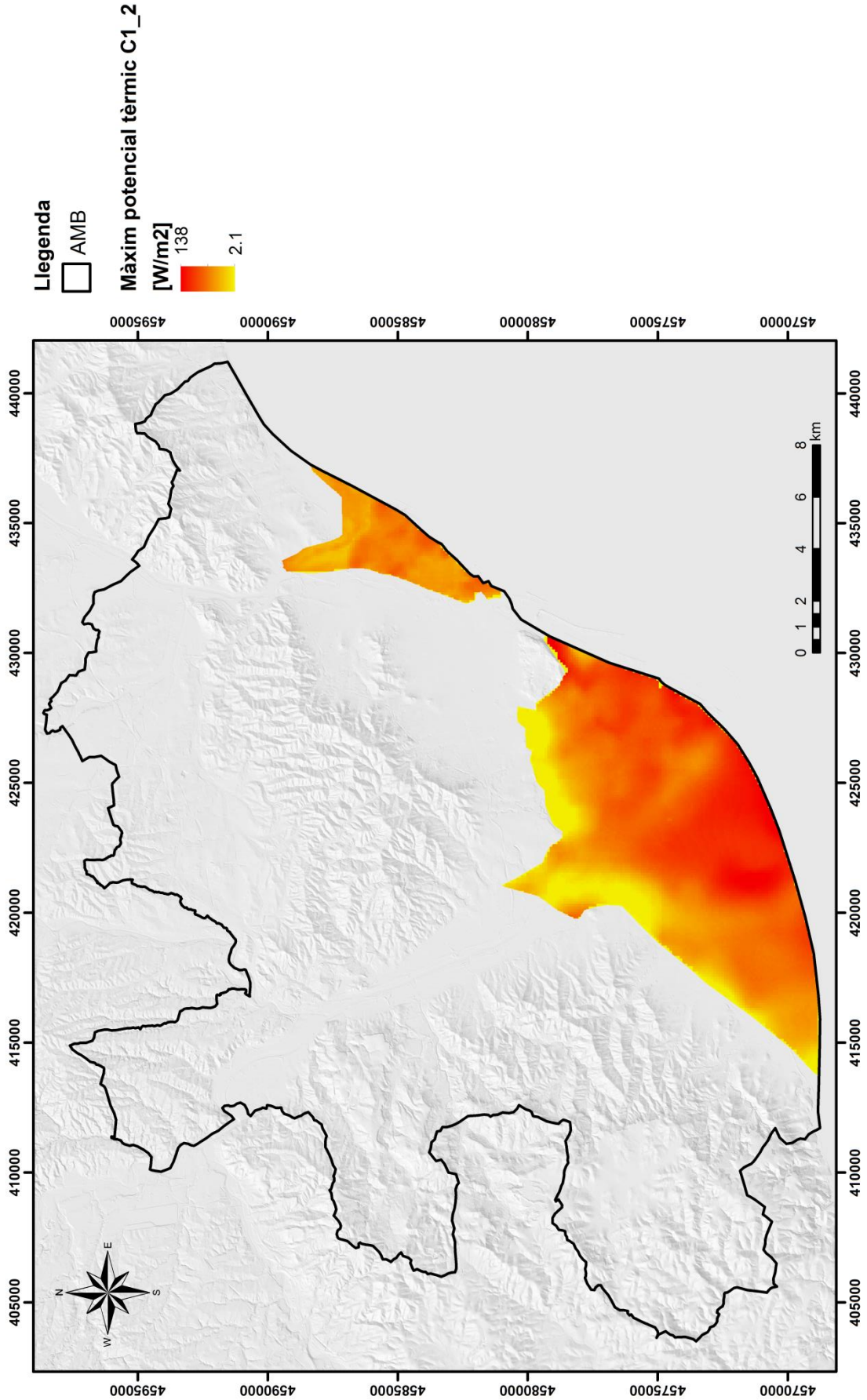


Fig A6.34: Mapa de potencial geotèrmic per unitat de superfície a la capa 1_2.

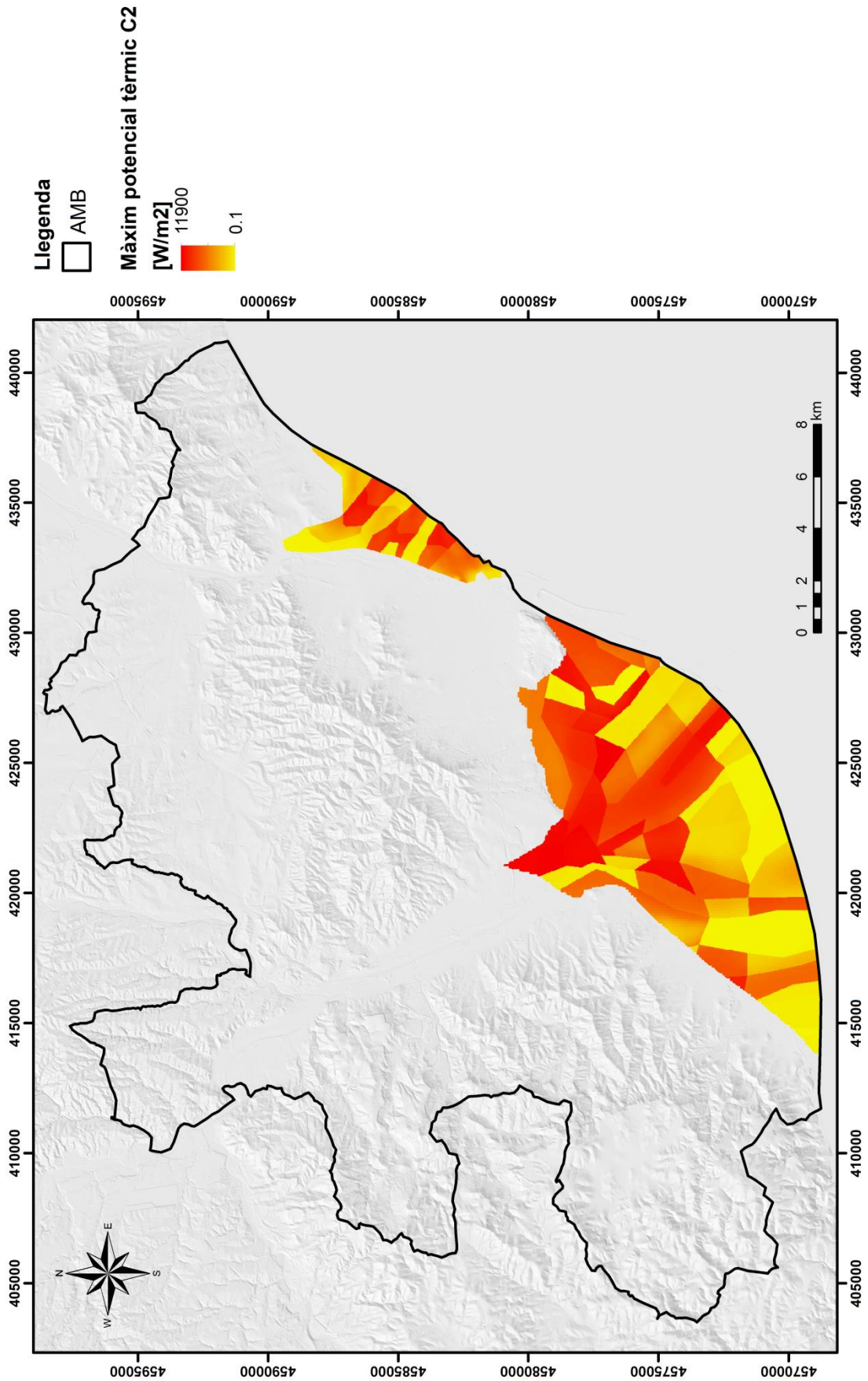


Fig A6.35: Mapa de potencial geotèrmic per unitat de superfície en la capa 2.

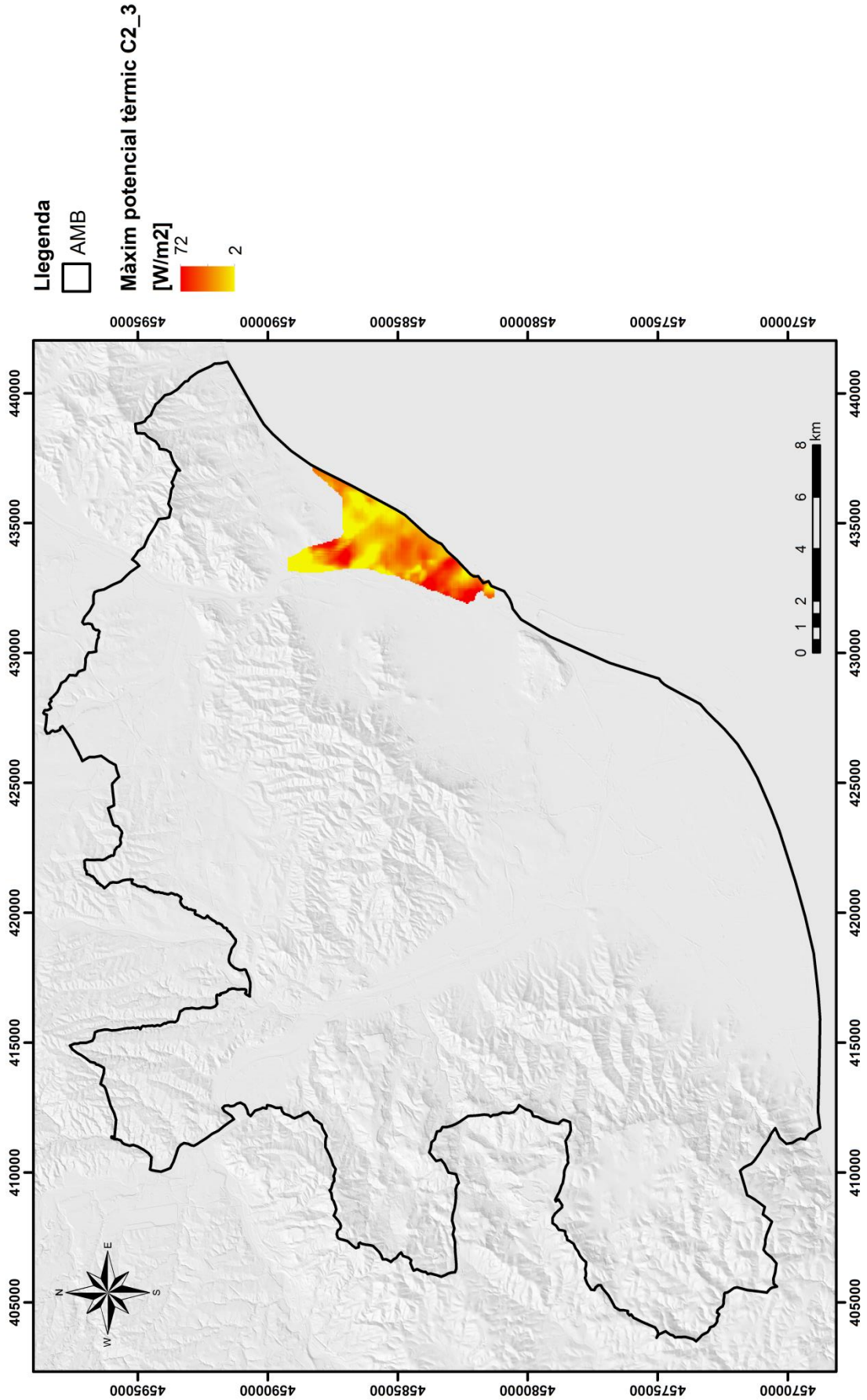


Fig A6.36: Mapa de potencial geotèrmic per unitat de superfície a la capa 2_3.

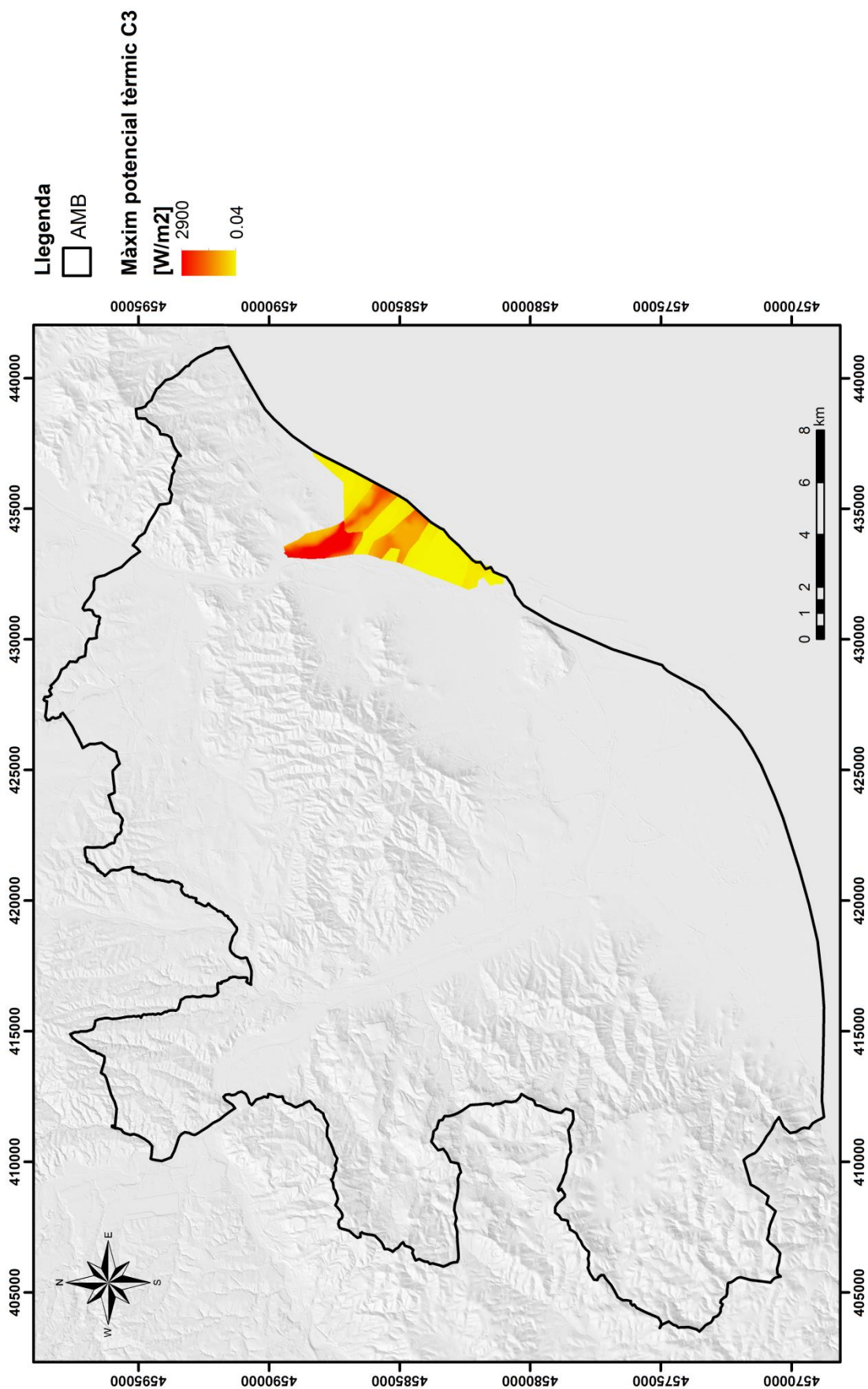


Fig A6.37: Mapa de potencial geotèrmic per unitat de superfície en la capa 3.

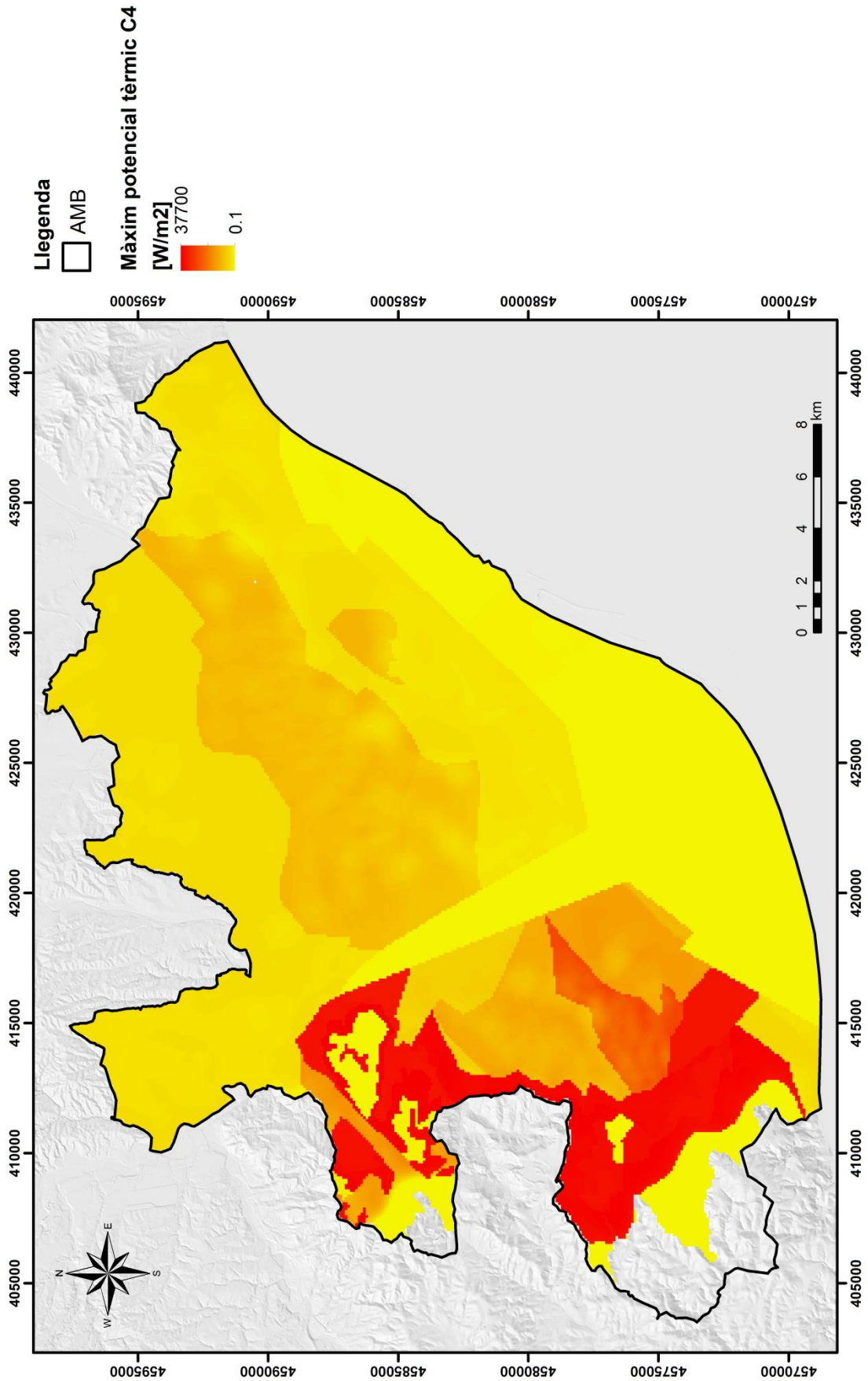


Fig A6.38: Mapa de potencial geotèrmic per unitat de superfície en la capa 4.

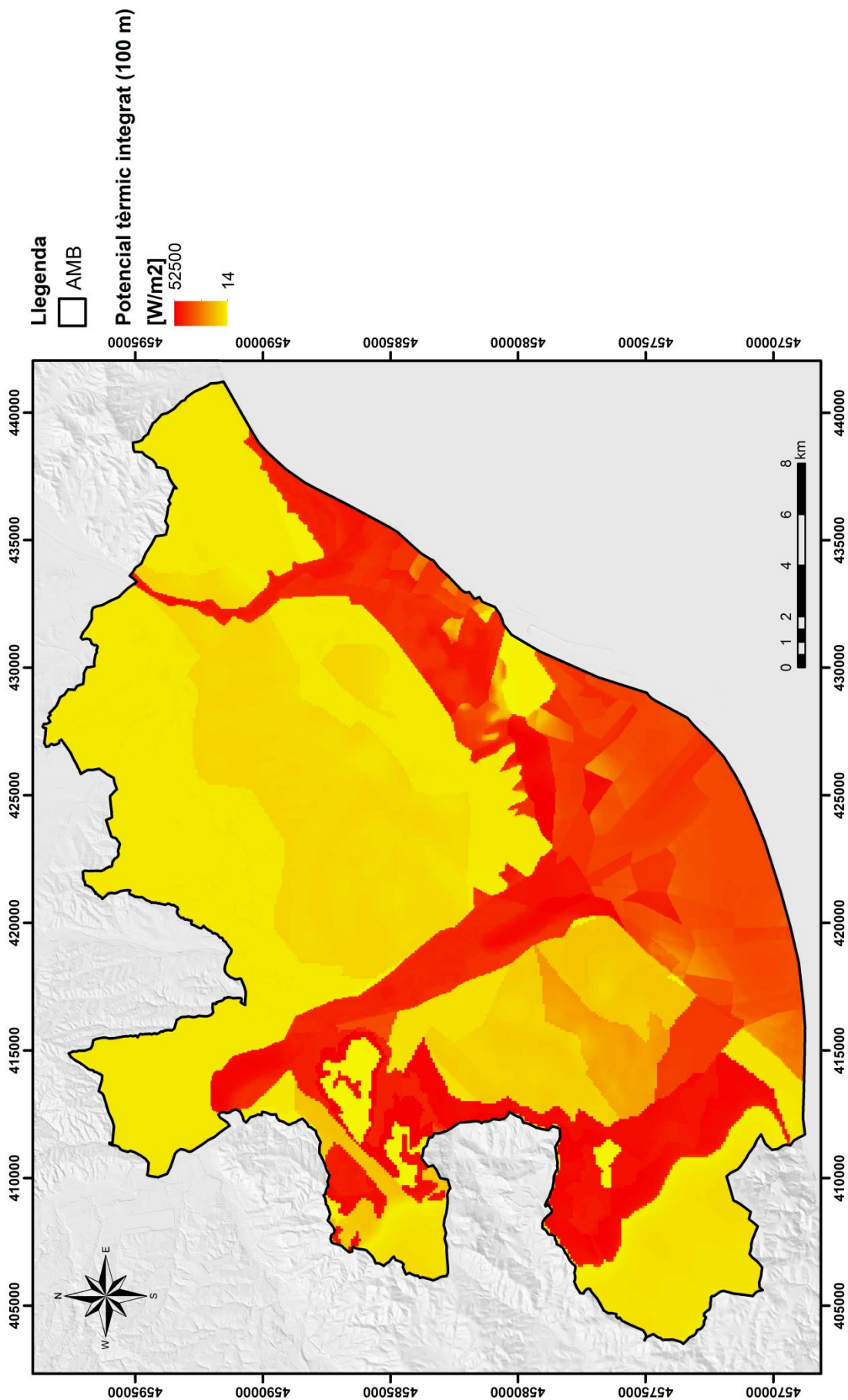


Fig A6.39: Mapa de potencial geotèrmic integrat en tot l'AMB per als 100 primers metres.