



INSTITUT INTERUNIVERSITARI DE GEOGRAFIA  
FACULTAT DE FILOSOFIA I LLETRES  
UNIVERSITAT D'ALACANT

Treball Fi de Màster

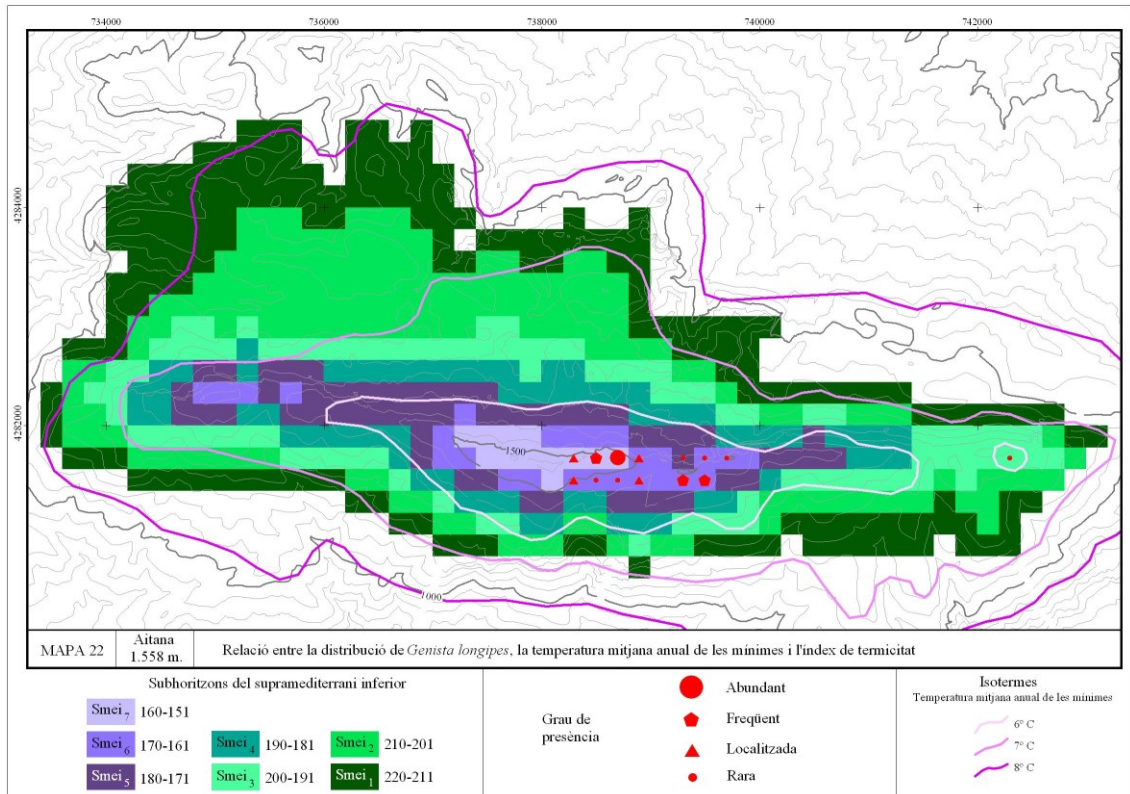
Màster Universitari en Planificació i Gestió de Riscos Naturals

Cartografia fitoclimàtica a gran escala i la seua aplicació en estudis corològics en el marc del canvi climàtic. Anàlisi de les zones de muntanya de la província d'Alacant.

David Azorín Amorós

Alacant, juny de 2017

Cartografia fitoclimàtica a gran escala i la seua aplicació en estudis corològics en el marc del canvi climàtic. Anàlisi de les zones de muntanya de la província d'Alacant.



David Azorín Amorós

*A la familia, en especial a Enrique i a Pepico*

## **Agraïments**

Vull expressar el meu agraïment a tot el professorat de Geografia de la Universitat d'Alacant. Molts d'ells han deixat una bona empremta, en especial Enrique Matarredona, Pablo Giménez, Ascensión Padilla, Ángel Sánchez i Juan Antonio Marco.

A tots els companys. A Anna i a Jara, per tot el temps compartit, i a Elena, per saber escoltar.

A Marc, Aina, Sara i Ferran, per fer més suportable l'absència temporal de Núria.

A Eric Clapton, Sopa de Cabra i Beethoven, per tantes hores compartides mentre elaborava els mapes.

### **Resum.**

L'Atlas Climàtic Digital de la Península Ibèrica permet analitzar les temperatures anuals i mensuals, amb una resolució espacial de 200x200 metres, i per tant es pot calcular l'índex de termicitat dels sectors culminants de la província d'Alacant caracteritzats com a supramediterranis. Per al cas d'Aitana, i juntament amb estudis corològics de detall de *Genista longipes* Pau i *Vella spinosa* Boiss., s'elabora una cartografia fitoclimàtica a gran escala per a conèixer les condicions climàtiques en què es troben les poblacions d'aquests endemismes i quina és la seua distribució potencial atenent a l'índex de termicitat. Posteriorment s'assaja un escenari de canvi climàtic per veure com pot canviar l'hàbitat, ja en posició finícola, d'aquestes espècies.

### **Paraules clau.**

Atlas climàtic digital de la península Ibèrica, índex de termicitat, supramediterrani, Aitana, canvi climàtic, cartografia fitoclimàtica a gran escala, extinció d'endemismes.

## ÍNDEX GENERAL.

1. Objectius.	9
2. Introducció.	10
2.1. Relleu	10
2.2. Flora i vegetació.	11
2.3. Clima.	12
2.4. Canvi climàtic.	15
2.5. Índex de termicitat.	16
3. Revisió de l'índex de termicitat.	18
4. L'Atlas Climàtic Digital de la Península Ibèrica.	23
4.1. Una base de dades climàtica.	23
4.2. Avantatges de la utilització de l'ACDPI per al càlcul dels termòtips.	23
5. Metodologia per al càlcul de l'índex de termicitat a partir de l'ACDPI.	25
5.1. Delimitació dels sectors.	25
5.2. Obtenció de les dades de l'ACDPI.	30
6. Resultats.	33
6.1. Cartografia de l'índex de termicitat.	33
6.2. Relació entre corologia i índex de termicitat.	46
6.3. Distribució potencial.	50
6.4. Cartografia de l'índex de termicitat, de les isoterms anuals i de gener i corologia de <i>Genista longipes</i> i <i>Vella spinosa</i> .	54
6.5. Escenaris de canvi climàtic.	68
7. Conclusions.	75
8. Bibliografia.	77

## ÍNDIX DE MAPES

Mapa 1. Estatge supramediterrani a la península Ibèrica i a la serralada Bètica.	26
Mapa 2. Estatge supramediterrani a la província d'Alacant.	27
Mapa 3. Horitzons termotípics de les serres orientals.	28
Mapa 4. Horitzons termotípics de les serres occidentals.	29
Mapa 5. Índex de termicitat de la serra de Salines.	34
Mapa 6. Índex de termicitat de la serra del Reconç.	35
Mapa 7. Índex de termicitat de la serra d'Onil.	36
Mapa 8. Índex de termicitat de la serra del Maigmo.	37
Mapa 9. Índex de termicitat de la serra de la Carrasqueta.	38
Mapa 10. Índex de termicitat de la serra de l'Arguènyia.	39
Mapa 11. Índex de termicitat de la serra de Plans-Rentonar.	40
Mapa 12. Índex de termicitat de la serra de Mariola.	41
Mapa 13. Índex de termicitat del Puig Campana.	42
Mapa 14. Índex de termicitat de la serra de Serrella.	43
Mapa 15. Índex de termicitat de la serra del Menejador.	44
Mapa 16. Índex de termicitat de la serra d'Aitana.	45
Mapa 17. Índex de termicitat i corologia de <i>G. longipes</i> a la serra d'Aitana.	48
Mapa 18. Índex de termicitat i corologia de <i>V. spinosa</i> a la serra d'Aitana.	49
Mapa 19. Distribució potencial de <i>G. longipes</i> a la serra d'Aitana.	51
Mapa 20. Distribució potencial de <i>V. spinosa</i> a la serra d'Aitana.	53
Mapa 21. Temperatura mitjana anual, índex de termicitat i corologia de <i>G. longipes</i> a la serra d'Aitana.	56
Mapa 22. Temperatura mitjana anual de les mínimes, índex de termicitat i corologia de <i>G. longipes</i> a la serra d'Aitana.	57
Mapa 23. Temperatura mitjana anual de les màximes, índex de termicitat i corologia de <i>G. longipes</i> a la serra d'Aitana.	58
Mapa 24. Temperatura mitjana de gener, índex de termicitat i corologia de <i>G. longipes</i> a la serra d'Aitana.	59
Mapa 25. Temperatura mitjana de les mínimes de gener, índex de termicitat i corologia de <i>G. longipes</i> a la serra d'Aitana.	60
Mapa 26. Temperatura mitjana de les màximes de gener, índex de termicitat i corologia de <i>G. longipes</i> a la serra d'Aitana.	61
Mapa 27. Temperatura mitjana anual, índex de termicitat i corologia de <i>V. spinosa</i> a la	62

serra d'Aitana.

- Mapa 28. Temperatura mitjana anual de les mínimes, índex de termicitat i corologia de *V. spinosa* a la serra d'Aitana. 63
- Mapa 29. Temperatura mitjana anual de les màximes, índex de termicitat i corologia de *V. spinosa* a la serra d'Aitana. 64
- Mapa 30. Temperatura mitjana de gener, índex de termicitat i corologia de *V. spinosa* a la serra d'Aitana. 65
- Mapa 31. Temperatura mitjana de les mínimes gener, índex de termicitat i corologia de *V. spinosa* a la serra d'Aitana. 66
- Mapa 32. Temperatura mitjana de les màximes de gener, índex de termicitat i corologia de *V. spinosa* a la serra d'Aitana. 67
- Mapa 33. Escenaris de canvi climàtic que suposarien l'extinció de *G. longipes* i *V. spinosa* a la serra d'Aitana. 73
- Mapa 34. Escenari de canvi climàtic als sectors cacuminals de la província d'Alacant. 74



## 1. Objectius.

Cartografiar l'índex de termicitat dels sectors cacuminals de la província d'Alacant a escala de detall.

Millorar la cartografia de l'índex de termicitat i proposar diferents escales de representació segons es vulga analitzar el grau de presència d'una espècie o la seua àrea de distribució registrada amb GPS de precisió submètrica.

Combinar la cartografia de l'índex de termicitat amb la corologia de *G. longipes* i *V. spinosa* a la serra d'Aitana per a desenvolupar una metodologia apta per a treballs de cartografia fitoclimàtica a gran escala.

Revisar la bibliografia referent a l'ecologia de les espècies dels matollars xeroacàntics de la serra d'Aitana per a dissenyar metodologies adequades de seguiment de la població de *G. longipes*, i en especial de la subpoblació oriental.

Revisar la bibliografia referent a les modificacions que el canvi climàtic provoca en la distribució d'espècies vegetals per a entendre com l'increment tèrmic pot afectar a l'extinció de determinades espècies pròpies de l'estatge supramediterrani de la província d'Alacant.

Assajar la cartografia d'un escenari de canvi climàtic en el qual *G. longipes* i *V. spinosa* poden extingir-se de la serra d'Aitana, tot proposant una metodologia per a incrementar les temperatures basada en els requeriments tèrmics d'aquestes espècies.

Valorar la dràstica reducció de l'estatge supramediterrani a la província d'Alacant atenent a l'escenari de canvi climàtic proposat.

Contribuir, encara que siga de forma modesta, a la formació d'una consciència social que valore el ric patrimoni natural de la província d'Alacant, i en especial el de la serra d'Aitana.

## **2. Introducció.**

### **2.1. Relleu.**

Les terres alacantines constitueixen l'extrem peninsular més oriental de la gran serralada Bètica, la qual abraça gran part d'Andalusia, Múrcia, la part meridional d'Albacete, tot Alacant i el sud de València. S'inclouen aquí els majors relleus de la península —Mulhacén, amb 3.481 m, i Veleta, amb 3.392— i d'altres que, amb cotes properes als 1.500 m, entre els quals hi ha l'Aitana, destaquen en el paisatge en què s'eleva de manera notable respecte dels relleus circumdants (Vera, 2004). Des les grans unitats de la serralada, Prebètic i Subbètic, la primera ocupa més de la meitat de la província, mentre que el Subbètic aflora puntualment a les serres del Reclot, Algaiat i Crevillent. Encara més modestos són els afloraments de les zones internes, a Oriola i Callosa del Segura (Estévez *et al.*, 2004).

El relleu, considerat com el suport fonamental del paisatge, presenta una gran varietat a la província d'Alacant. Una primera gran aproximació a les formes del relleu ens descobreix una diferenciació entre les planes del sud —a grans trets, el Camp d'Alacant, el Baix Vinalopó i el Baix Segura— i les serres del nord, tot i que a les primeres no falten elements destacats —serres de Fontcalent o de Callosa— ni a les segones les zones deprimides —com ara la vall de Seta o la foia d'Alcoi (Marco, 1985). També, i com a reflex de la dicotomia pròpia de les terres banyades per la Mediterrània, hi trobem un important gradient altitudinal des del punt culminant que és Aitana fins a la cota zero de les platges situades a pocs quilòmetres d'aquest cim.

Sembla obvi, doncs, que muntanyes amb vessants d'orientació contrastada, forts pendents o sòls poc desenvolupats, contrasten molt amb foies, fons de valls i planures costaneres que les envolten (Terradas, 2001). Aquest contrast és major a les serres diàniques, al nord de la província, que amb l'Aitana com a actor principal constitueixen un conjunt geogràfic de primera magnitud (Folch *et al.*, 2002b). Volem remarcar ací aquesta obvietat per a no oblidar que el relleu té un paper determinant en les condicions topoecològiques, fins al punt que per al cas concret del vessant sud d'Aitana hom parla de muralla i, fins i tot, d'abisme (Marco, 2001). Aquesta terminologia tan rotunda no pot fer més que anunciar les peculiaritats d'aquesta serra en un context regional ben ampli.

Els sectors caracteritzats com a supramediterranis a Alacant (Azorín *et al.*, 2010) pertanyen exclusivament a les zones externes, i dins d'aquestes, al Prebètic. És ací on s'assoleixen les majors cotes altitudinals de la província, des dels 1.558 m d'Aitana fins els 1.210 m del Reconc o els 1.205 de la Carrasqueta. Al Subbètic, per conjugació dels factors altitud i latitud, no hi apareix el supramediterrani encara que hi ha espècies vegetals indicatives d'aquest estatge (Serra, 2007; Azorín *et al.*, 2008). Aquests valors d'altitud i latitud que sembla que determinen la no existència del supramediterrani en els següents indrets són els 1.055 m de la Teula, a 38° 21' 44" N (serra del Reclot); els 1.085 m del Puntal Gros, a 38° 19' 45" N (serra de l'Algaiat); i els 816 m del Puig de Sant Gaietà, a 38° 15' 50" N (serra de Crevillent). L'altitud més baixa en què es localitza el supramediterrani són els 1.205 m de la Carrasqueta, i pel que fa a la latitud, els 38° 29' 48" N de la Serra de Salines.

## **2.2. Flora i vegetació.**

Des que a finals del segle X el bisbe Harib va fer les primeres anotacions sobre plantes i cultius de terres valencianes (Serra, 2007) s'ha avançat molt en el coneixement de la composició florística i el paisatge vegetal d'Alacant. La fita clau a partir de la qual aquest coneixement es generalitza és la publicació de *Flora y vegetación de la provincia de Alicante*, d'Abelardo Rigual (Serra, 2010). Així doncs trobem multitud d'obres de tot tipus, de manera que a tall d'exemple només en citem unes quantes: sobre la fitosociologia i la fitogeografia de la província (Rigual, 1972), claus de determinació de flora (Mateo i Crespo, 2009; de Bolòs et al, 2005, Peris *et al.*, 2002), monogràfics sobre un espai determinat (Marco, 2007; Solanas, 2001; Solanas i Crespo, 2000), tesis doctorals (Serra, 2007), estudis sobre la flora endèmica, rara o amenaçada (Laguna *et al.*, 1998; Serra *et al.*, 2000), evolució de la coberta vegetal en conreus abandonats (Padilla,1997) o plantejaments més inusuals com el que dóna a conèixer els vincles entre toponímia i vegetació (Marco, 2004).

Però sens dubte hem de parar especial atenció a un grapat d'obres que des d'una perspectiva geogràfica troben d'esbrinar les relacions entre vegetació, relleu i clima. A més, es tracta d'estudis en què una part de la metodologia es basa en la localització i cartografia de determinades espècies amb la major precisió possible, i que fins i tot han

arribat al punt de descobrir cites inèdites (Giménez *et al.*, 2004; Marco *et al.*, 2006, 2006b, 2016) en la Base de Dades de la Biodiversitat de la Conselleria de Medi Ambient<sup>1</sup>. També cal tenir en compte que les espècies en qüestió formen part del catàleg de flora endèmica, rara o amenaçada<sup>2</sup>, amb la qual cosa es genera una cartografia corològica de precisió referida a espècies d'especial interès.

I és que la fitodiversitat de la província d'Alacant es ben notable. En conjunt, la conca mediterrània alberga unes 25.000 espècies de flora vascular, xifra que suposa el 10% de totes les espècies de plantes superiors del planeta (Médail i Quézel, 1999, en Ferrer *et al.*, 2010). Però no acaba aquí la importància d'aquesta regió dins de la biodiversitat planetària ja que, a més a més, de les 25.000 espècies unes 13.000 són endemismes. Pel que fa a les terres valencianes hi trobem uns 3.000 taxons de presència consolidada (Mateo *et al.*, 2009), dels quals uns 350 són endemismes de la península Ibèrica o ibero-baleàrics. D'aquests, 59 són exclusius del territori valencià i 71 són endemismes de distribució reduïda i limitada a les tres províncies i les seues zones limítrofes (Laguna, 1998). A Alacant, Serra (2010) atorga la major diversitat vegetal al subsector alcoiano-diànic del sector setabenc (taula 1). En definitiva, la cartografia de la vegetació de la província té un alt valor intrínsec, ja que a poc que escorcollem el territori trobarem espècies que paga la pena analitzar per la seua importància en la biodiversitat del planeta.

Taula 1. Punts amb major diversitat de flora vascular de la província d'Alacant.

Quadricula 100 km <sup>2</sup>	Indrets destacats	Espècies
YH18 (Alcoi)	Font Roja, Mariola	1036
YJ50 (Pego)	Marjal de Pego, Segària	970
YH38 (Confrides)	Serrella, Aitana	900

Font: elaboració pròpia a partir de Serra (2010).

### 2.3. Clima.

A les parts més altes de les muntanyes mediterrànies d'alçada mitjana hom troba un microclima amb valors ben diferents dels que es registren als seus voltants (Terradas,

<sup>1</sup> <http://bdb.cma.gva.es>

<sup>2</sup> L'endemisme és una categoria corològica o de distribució espacial d'una determinada planta, la raresa és allò oposat a l'abundància i l'amenaça s'estableix segons el risc a desaparèixer d'una espècie per una determinada pressió o ús (Padilla, 2002).

2001), de manera que el descens tèrmic —l'element del clima amb el qual s'expressa de manera més clara la influència de l'altitud— i la intensificació de les precipitacions són atributs indissociables d'aquests indrets (Marco, 2001).

En aquest apartat dedicat al clima d'Alacant hem obviat la literatura de consulta habitual i ens centrem exclusivament en Miró (2013). La raó és que aquest autor ha modelitzat el clima de tot el País Valencià, amb una resolució de 90x90 m i per al període 1948-2011 mitjançant interpolació espacial, i per tant ens ofereix resultats molt acurats de temperatures teòriques per a tot el territori. També es rellevant l'estreta relació que aquest autor atorga a clima i relleu, tot reforçant i matisant la importància que, encara que ja era ben coneguda, el suport físic té sobre vent, temperatures i pluges. És per tot això que ens referim exclusivament a temperatures —mitjanes anuals, màximes mitjanes anuals, mínimes mitjanes anuals, oscil·lacions tèrmiques diàries, temperatures màximes i mínimes absolutes més extremes— ja que són la variable que ens ocupa en el present treball.

A la nostra província el cim de l'Aitana és el lloc més fred, amb 8.8 °C de mitjana anual, i contrapunt als més de 19 °C d'algunes zones del Baix Segura properes a Orihuela i d'altres a la rodalia de Calp. Cal destacar la dada obtinguda per a Aitana, i més si la comparem amb els 7.4 °C del cim del Penyagolosa (1.811 m). Atenent a l'avantatge altitudinal i latitudinal del segon cim, el primer representa un pol fred a nivell regional tal volta més marcat del què es pensava. També cal fer notar que la diferència de temperatures mitjanes anuals entre l'Aitana i Calp constitueix el major gradient horitzontal de temperatura de tot el País Valencià: quasi 11 °C en uns 20 km. Es reforça així la idea de Marco (2001) que caracteritza l'Aitana com a espai singular.

Quant a les màximes mitjanes anuals la mitjana de tot el territori és d'uns 21 °C, amb un rang que abraça des dels 11.1 °C del cim del Penyagolosa fins els 25.6 °C prop d'Almoradí o els 24.6 °C d'Elx i Monforte del Cid. De nou torna a adquirir significació l'Aitana que amb 11.4 °C es pot equiparar al mínim castellonenc i que presenta valors més baixos que els 12.3 °C de El Calderón, al Racó d'Ademús (1.838 m). Aquest registre del cim d'Aitana s'explica pel seu fort nexa amb les brises estiuenques, les quals es refreden amb rapidesa i sense que hi haja lloc per a un procés d'escalfament diürn continental, atenent a la curta distància que hi ha fins a la costa.

La mínima mitjana anual més representativa és d'uns 10.5 °C. El valor més baix correspon a la capçalera de la Rambla del Val, al Racó d'Ademús, amb 1.4 °C, mentre que els més alts són els 15.8 °C de Calp i del vessant sud de la serra d'Orihuela, així com els 15.3 °C del litoral sud, prop de Torrevieja. La mínima mitjana anual més baixa són els 5 °C que es registren entre les serres d'Onil i de la Fontanella, seguida dels 5.2 °C assolits prop de la font de l'Arbre, al vessant nord de l'Aitana.

Pel que fa a les oscil·lacions tèrmiques diàries la major diferència és de 16 °C en algun punt de la depressió del riu Cabriol i en la capçalera del riu Magre. Al sud hi trobem oscil·lacions molt semblants prop de Villena i a l'oest de Bocairent, amb valors de 15.7 °C. Les menors oscil·lacions es registren al tram costaner entre Benidorm i Moraira i als relleus amb major exposició litoral del nord d'Alacant (4.2 °C al cim del Puig Campana i 4.4 °C a l'Aitana). Aquestes serres —amb una forta exposició a les brises que, com ja s'ha assenyalat, generen refredament amb l'ascens de les brises diürnes i escalfament amb els vents catabàtics nocturns— configuren un important obstacle per als vents.

Per a la temperatura màxima absoluta més extrema el valor més elevat estimat pel *downscaling* i la interpolació és de 48 °C, prop del municipi d'Albaida. Altres indrets destacats se situen, amb 44 °C, al Baix Segura, l'Alt Vinalopó i la Foia d'Alcoi. Quant als valors oposats, les màximes absolutes ofereixen el seu registre més baix als cims del Puig Campana i de l'Aitana, amb 28.6 °C i 29.8 °C respectivament. I com a reflex de la influència exercida pel massís Aitana-Serrella —l'obstacle per als vents de què parlavem abans— observem que entre Benidorm i el cap de la Nau no se superen els 37 °C, però en canvi al nord-oest d'aquestes serres els valors s'enfilen més enllà dels 42 °C. De nou, la influència d'aquests relleus sobre el clima regional resulta fonamental.

Les temperatures mínimes absolutes més extremes es vinculen amb l'altitud més que amb la continentalitat i els fenòmens d'inversió tèrmica que s'hi puguem generar. La temperatura més baixa són els -18.8 °C del triangle configurat pel Penyagolosa, Vistabella del Maestrat i el límit entre Terol i Castelló, com a conseqüència d'invasions d'aire polar continental. A Alacant destaquen, per la seua localització tan meridional i relativament menys allunyada del litoral, un pol fred a l'oest de la Mariola entre Bocairent i Banyeres de Mariola, amb registres de -16.5 °C, i encara més prop del litoral els -15.4 °C de la serra dels Plans i del Menejador. Els valors més benignes d'aquestes

temperatures mínimes absolutes més extremes són els  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  del tram costaner comprés entre la Vila i Moraira, o els  $-2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  de Calp.

#### **2.4. Canvi climàtic.**

A escala de milers de milions d'anys el clima de la Terra ha variat substancialment atenent als canvis en l'energia emesa pel Sol i en la composició de l'atmosfera terrestre. Durant el darrer milió d'anys els canvis han estat determinats pels cicles de glaciació-interglacial, conseqüència dels cicles dels paràmetres orbitals de l'òrbita terrestre —excentricitat més o menys circular o el·líptica; obliquïtat o inclinació de l'eix de rotació de la Terra respecte pla de l'eclíptica; i precessió dels equinoccis, és a dir, en quina data la Terra es troba més propera al Sol. Se succeeixen així períodes freds d'uns 100.000 anys en què els casquets polars s'estenen i el nivell del mar descendeix, seguits de períodes d'uns 20.000 anys amb un clima similar a l'actual. En els últims mil anys es produeixen els períodes coneguts com l'òptim climàtic medieval i la petita edat de gel. Durant aquesta, entre els segles XIV i XIX, el refredament global va ser d'entre 1 i  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  com a conseqüència de l'anomenat mínim de Maunder —caracteritzat per l'absència de taques solars durant uns decennis— i per una significativa alteració atmosfèrica —un període de gran activitat volcànica va incrementar els aerosols a l'atmosfera, els quals reflecteixen més radiació cap a l'espai. Pel que fa al ràpid canvi contemporani, durant el període 1880-2012 la temperatura global mitjana ha augmentat  $0,85\text{ }^{\circ}\text{C}$  per l'augment de la concentració dels gasos amb efecte d'hivernacle (Calbó, 2015).

Si ens situem en el present i a casa nostra, a la província d'Alacant es pot distingir un període inicial entre 1948 i 1979, sense canvis significatius de les temperatures, d'un altre entre 1980 i 1998 d'escalfament ràpid. Des d'aleshores i fins 2011 hi ha un patró espacial en la variació de les temperatures: vessants i cims amb tendència a l'escalfament, el qual és menor a les valls. En definitiva, l'increment més significatiu es produeix a les zones culminants de les muntanyes alacantines (Miró, 2013; Miró *et al.*, 2016, 2016b). Les més altes d'aquestes carenes ja no pertanyen al domini dels carrascars sinó al de les brolles d'eriçó (*Erinacetalia*), amb una vegetació que presenta moltes connexions amb la de les altes muntanyes bètico-magribines (Folch *et al.*, 2002b) i, com ja hem assenyalat, amb un elevat nombre d'espècies i d'endemismes (Laguna, 1998;

Mateo *et al.*, 2009; Serra, 2007, 2010). Tornat a centrar l'atenció a l'Aitana, aquesta és la localització més septentrional d'algunes de les espècies característiques d'aquests matollars xeroacàntics del sud ibèric i del nord d'Àfrica (Marco *et al.*, 2004). És aleshores en aquest punt en què trobem la importància que pot tenir, pel que fa a pèrdua d'hàbitat d'espècies de rellevant interès, un increment tèrmic a les zones més elevades de la província. També cal considerar que tot i la seua escassa superfície, les muntanyes mediterrànies tenen un valor desproporcionat en termes dels serveis ecosistèmics que proporcionen, especialment aquells lligats a l'aigua (Nogués-Bravo *et al.*, 2008).

## 2.5. Índex de termicitat.

L'any 1987 el botànic Salvador Rivas-Martínez publicà *Memoria del mapa de series de vegetación de España* (MSVE), obra d'obligada referència en el camp de la bioclimatologia. Aquesta era la setena revisió de les seues idees referents als conceptes d'estatge bioclimàtic i sèries de vegetació. Els estats bioclimàtics s'entenen com cadascú dels tipus bioclimàtics condicionats per l'altitud o la latitud, delimitats en funció de factors termoclimàtics i ombroclimàtics, i en els qual hi existeixen unes determinades formacions i comunitats vegetals. Els factors termoclimàtics, és a dir, els referents a les temperatures, han servit Rivas-Martínez per a establir l'índex de termicitat ( $It^3$ ) mitjançant la següent expressió:

$$It = (T + m + M) 10$$

on T és la temperatura mitjana anual, m la mitjana de les mínimes del mes més fred, i M la mitjana de les màximes del mes més fred. Amb aquesta senzilla operació, les incògnites de la qual es poden obtindre a partir de qualsevol observatori tèrmic o termoplumiomètric, s'obté un valor numèric aplicable a la distinció dels estats bioclimàtics. Així doncs els següents llistats dels valors d' $It$  classifiquen els estats bioclimàtics (López *et al.*, 2008):

---

<sup>3</sup> El 1993 Rivas-Martínez va definir l'índex de termicitat compensat ( $Itc$ ), resultant d'afegir-li un valor de compensació ( $Ci$ ) a l' $It$ . Aquest  $Ci$  solament s'aplica quan l'índex de continentalitat ( $Ic$ ) no està coprès entre 8 i 18. D'aquesta manera es poden comparar diferents localitats encara que el seu  $It$  es veja descompensat per un excés de continentalitat o d'oceanicitat. Com que en el nostre àmbit d'estudi n hem d'aplicar el valor de compensació no utilitzarem l' $Itc$  sinó l' $It$ .



Taula 2. Divisió dels estats bioclimàtics segons el valor d'It.

<b>Estatge bioclimàtic</b>	<b>Intervals It</b>	<b>Abreviatura</b>
Inframediterrani	450-580	Ime
Termomediterrani	350-450	Tme
Mesomediterrani	220-350	Mme
Supramediterrani	120-220	Sme
Oromediterrani <sup>4</sup>	-	Ome
Crioromediterrani	-	Cme
Gèlidomediterrani	-	Gme

Font: elaboració pròpia a partir de López *et al.*, 2008.

L'It s'entén com un índex que presenta una elevada correlació entre els seus valors i la vegetació existent en un territori determinat ja que pondera la intensitat del fred, factor limitant per a moltes plantes i comunitats vegetals (Rivas-Martínez, 2008).

Arribats a aquest punt on ja hem exposat de manera succinta els elements del complex ecològic de les nostres terres (flora i vegetació i medi físic), les alteracions del clima a les parts culminals de les serres, i la utilitat de l'It, podem justificar el nostre treball. El fet de centrar la nostra anàlisi en el supramediterrani alacantí obeeix a dues raons. D'una banda, assolir un major coneixement de les condicions climàtiques dels espais de muntanya, ja que la manca d'estacions tèrmiques o termopluiomètriques en cotes elevades és generalitzada. I d'altra banda, obtenir una informació aplicable a estudis corològics de gran escala en unes àrees, les cacuminals, d'especial interès botànic.

---

<sup>4</sup> Quan el valor és menor que 120 no s'aplica l'It sinó el valor de la temperatura positiva anual (Tp), és a dir, la suma de les temperatures mitjanes dels mesos en què aquest valor siga superior a 0°C. La Tp també substitueix l'It per a la delimitació dels termòtipos als macrobioclims boreal i polar.

### 3. Revisió de l'índex de termicitat.

Quan es caracteritza un territori mitjançant els seus termòtipos els límits entre diferents estatges es calculen de la següent manera. Amb les dades de dues estacions tèrmiques o termopluiomètriques contigües, amb la mateixa orientació i que estiguen en diferents estatges, es resten els valors d'It proporcionats per cadascuna d'elles. Aleshores es calcula la diferència altitudinal entre les estacions per a poder esbrinar a quin altitud es produeix el canvi d'un estatge o d'un horitzó termotípic a l'altre.

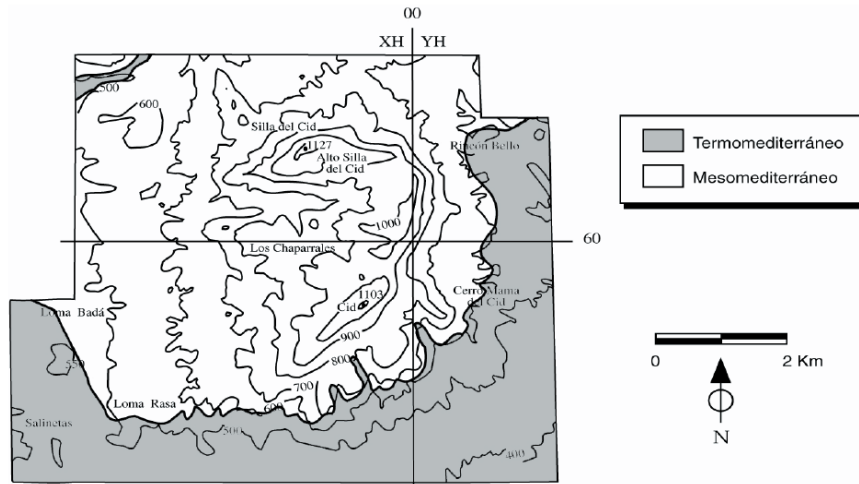
Taula 3. Procés de delimitació d'estatges termoclimàtics a partir de dos observatoris.

1	<p>Estació A (estatge supramediterrani) It: 200 Altitud: 1000 m</p> <p>Estació B (estatge mesomediterrani) It: 320 Altitud: 500 m</p>
2	<p>diferència d'It / diferència d'altitud <math>120 / 500 = 0.24</math> Amb cada augment d'un metre d'altitud l'It descendeix 0.24</p>
3	<p>Llindar entre el supramediterrani i el mesomediterrani: It = 220 L'estació A necessitaria un augment d'It de 20 per a situar-se en el llindar del supramediterrani i el mesomediterrani. 1 metre ----- 0.24 It x metres----- 20 It x = 83.3 metres</p>
4	<p>Altitud de l'estació A – altitud en què se situa el llindar <math>1000 \text{ m} - 83.3 \text{ m} = 916.7 \text{ m}</math> El pas del mesomediterrani al supramediterrani es produeix a 916.7 m</p>

Font: elaboració pròpia.

Els resultats obtinguts amb aquest mètode solament reflecteixen la influència de l'altitud sobre la temperatura, aplicant-se el valor obtingut a tot el vessant on hi estiguen situades les dues estacions. Un exemple d'aquest sistema és el següent, emprat en un estudi de la flora i vegetació de la serra del Sit (Juan et al, 2003), on respecte de l'estatge mesomediterrani hi trobem que se situa entre els 600 m i els 1100 m i que es reconeixen els horitzons superior i inferior, el primer de forma puntual en zones ombrívols d'altitud superior als 900 m:

Figura 1. Cartografia dels estats mesomediterrani i termomediterrani a la serra del Sit



Font: Juan *et al.* (2003).

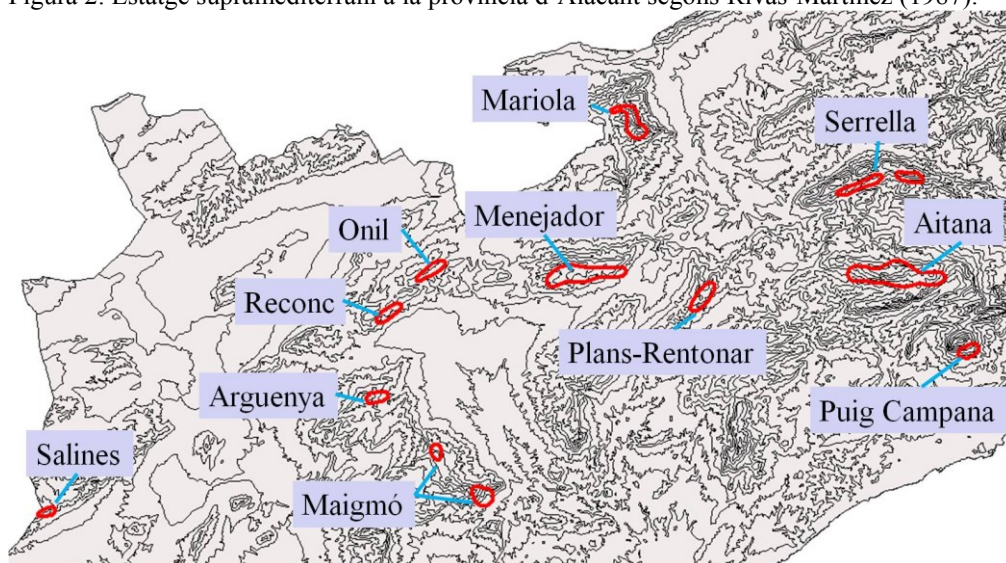
D'aquesta manera veiem com en la cartografia no es reflecteixen ni l'estatge supramediterrani ni els horitzons superior i inferior de l'estatge mesomediterrani, encara que, evidentment, els límits dels quals estem parlant no són una barrera física plausible que es pugui cartografiar de manera exacta sinó més bé zones ecotòniques. Tot i aquesta darrera consideració, el que no es pot obviar és que a l'hora de disposar d'una cartografia base dels estats i dels horitzons termotípics, el model seguit habitualment no és massa exacte.

Altra crítica que es pot fer a aquesta metodologia és la referent al detall d'informació que ens aporta. Tornant a l'exemple anterior s'observa l'estatge mesomediterrani ben representat a la zona d'estudi, però l'única diferenciació interna d'aquest és l'habitual en aquests casos, és a dir, una subdivisió entre horitzó superior i inferior i, com ja hem indicat, sense plasmació cartogràfica. La diferenciació dels horitzons dins de cada estatge termoclimàtic és ben útil quan es fa servir per a estudis corològics a petita escala, però com veurem més endavant és insuficient per a treballs de detall.

Si en compte d'elaborar nosaltres mateixa la cartografia termotípica acudim a la font principal la precisió dels límits dels estats no resulta molt més satisfactòria, i molt menys la diferenciació dels horitzons superior i inferior de cadascú d'ells. Font principal, dèiem, ja que ens referim als treballs que Rivas-Martínez i els seus deixebles han realitzat fins ara des de la publicació del MSVE. D'una banda es pot consultar

mitjançant qualsevol programa SIG la *shape*<sup>5</sup> resultant del MSVE (fig. 2). En aquest cas, tot i que en les metadades se'ns indica que la data de l'última modificació és el 20 d'agost del 2009 la informació aportada és la que es va elaborar el 1987, és a dir, la pertanyent a la primera edició. Deixant a banda la qüestió de l'actualitat o no d'aquesta capa d'informació, el que trobem ací són uns polígons amb un traçat poc exacte i la inexistència d'una subdivisió dels estatges en horitzons. A més, en tots els sectors s'observa un desplaçament dels polígons indicatius del supramediterrani respecte de la part culminant de les serres, error que potser és atribuïble a la generalització implícita als treballs de petita escala, en aquest cas 1:400.000.

Figura 2. Estatge supramediterrani a la província d'Alacant segons Rivas-Martínez (1987).



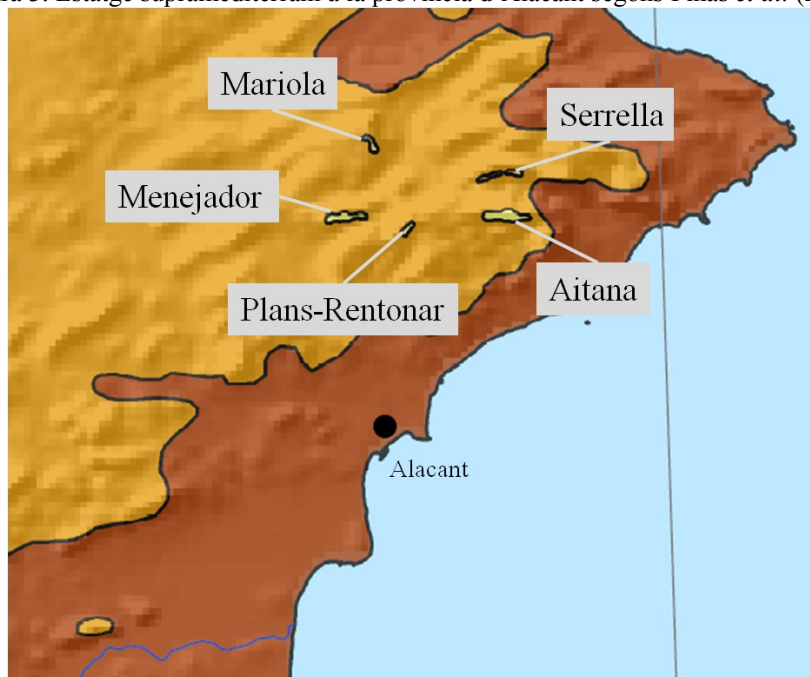
Font: elaboració pròpia a partir de Rivas-Martínez (1987).

Per la seua banda, Piñas *et al.* (2008) ofereixen una cartografia amb les mateixes mancances que l'anterior i en la qual els sectors caracteritzats com a supramediterranis dins de la província d'Alacant es redueixen d'onze a cinc (fig. 3). Al respecte del sud-est ibèric s'afirma que han detectat nous illots corresponents a la majoria de les muntanyes de la zona (López *et al.*, 2008b). Tot i aquesta afirmació en la cartografia del 2008 han desaparegut els sectors de Salines, Maimó, Arguenya, Reconc, Onil i Puig Campana. Tal volta aquest fet respon a una necessitat escalar, la qual ha forçat que aquests sectors siguin representats com a mesomediterranis degut a la seua petita extensió superficial. Efectivament aquestes són les àrees on el supramediterrani assoleix una superfície més reduïda en l'àmbit provincial, a excepció del Maimó que compta

<sup>5</sup> Es pot consultar en [http://www.mma.es/porta/cciones/biodiversidad/banco\\_datos/info\\_disponible/memoria\\_mapa\\_series\\_veg.htm](http://www.mma.es/porta/cciones/biodiversidad/banco_datos/info_disponible/memoria_mapa_series_veg.htm)

amb 267.8 ha. Aquesta dada ens fa rebutjar la idea de que els sectors que no hi apareixen ara s'hagen inclòs en el mesomediterrani per qüestions de representació, ja que un dels sectors que sí hi apareix, Plans-Rentonar (215.4 ha), té menys superfície que el Maigmó.

Figura 3. Estatge supramediterrani a la província d'Alacant segons Piñas *et al.* (2008).



Font: elaboració pròpia a partir de Piñas *et al.* (2008).

Per altra part, si es comparen les dues fonts d'informació esmentades sembla que els límits d'Aitana, Serrella, Mariola, Menejador i Plans-Rentonar —és a dir, els sectors existents en Piñas *et al.* (2008) i que per tant es poden comparar amb MSVE— tenen el mateix traçat. Aquesta sembla ser altra incorrecció ja que en la primera d'aquestes obres el supramediterrani està comprès entre els valors d'It 220 i 150, mentre que en Rivas-Martínez (1987) es va establir que el valor màxim d'aquest estatge era el 210. Per tant aquesta diferència s'hauria de plasmar en una major superfície dels sectors supramediterranis en la revisió del 2008, ja que el valor 220 es dona en altituds més baixes que el 210. A més a més, com ja hem dit abans, desapareixen sectors alacantins que haurien de veure's incrementats superficialment en compte d'haver estat omesos, atenent a la revisió del límit inferior d'It del supramediterrani ja comentada.

En resum, podem afirmar que aquestes fonts, tot i la seua validesa per a la representació a petita escala, presenten mancances quan es pretén aplicar-les a estudis d'escala regional o local. D'aquesta consideració es desprèn que cal millorar la

representació cartogràfica dels termòtip, ja que les línies d'investigació més recents en corologia aposten per la realització de treballs a gran escala.

## **4. L'Atlas Climàtic Digital de la Península Ibèrica.**

### **4. 1. Una base de dades climàtica.**

L'any 2000 Miquel Ninyerola publicà “Modelització climàtica mitjançant tècniques SIG i la seva aplicació a l'anàlisi quantitativa de la distribució d'espècies vegetals a l'Espanya peninsular”. A partir d'un Model Digital d'Elevacions i de la informació climàtica aportada per les estacions meteorològiques de la península Ibèrica es desenvolupa un model d'interpolació espacial basat en tècniques multivariants d'anàlisi de regressió combinades amb eines típiques d'un Sistema d'informació Geogràfica. Les variables independents emprades per a realitzar el model de regressió han estat l'orografia, la continentalitat, la latitud i la radiació solar. D'altra banda les variables interpolades que han intervingut en el model de regressió múltiple com a variables dependents han estat la temperatura mitjana, la temperatura mitjana de les màximes, la temperatura mitjana de les mínimes i la precipitació (Ninyerola, 2000). El resultat obtingut s'ofereix en l'Atlas Climàtic Digital de la Península Ibèrica<sup>6</sup> (ACDPI), un conjunt de mapes digitals amb una resolució espacial de 200 metres, i temporal mensual i anual per a cadascuna de les variables dependents. El territori peninsular queda així dividit en un reticle de coordenades UTM de 200 x 200 m, on cadascuna de les quadrícules compta amb informació teòrica pròpia de les variables abans esmentades.

### **4.2. Avantatges de la utilització de l'ACDPI per al càlcul del termòtip.**

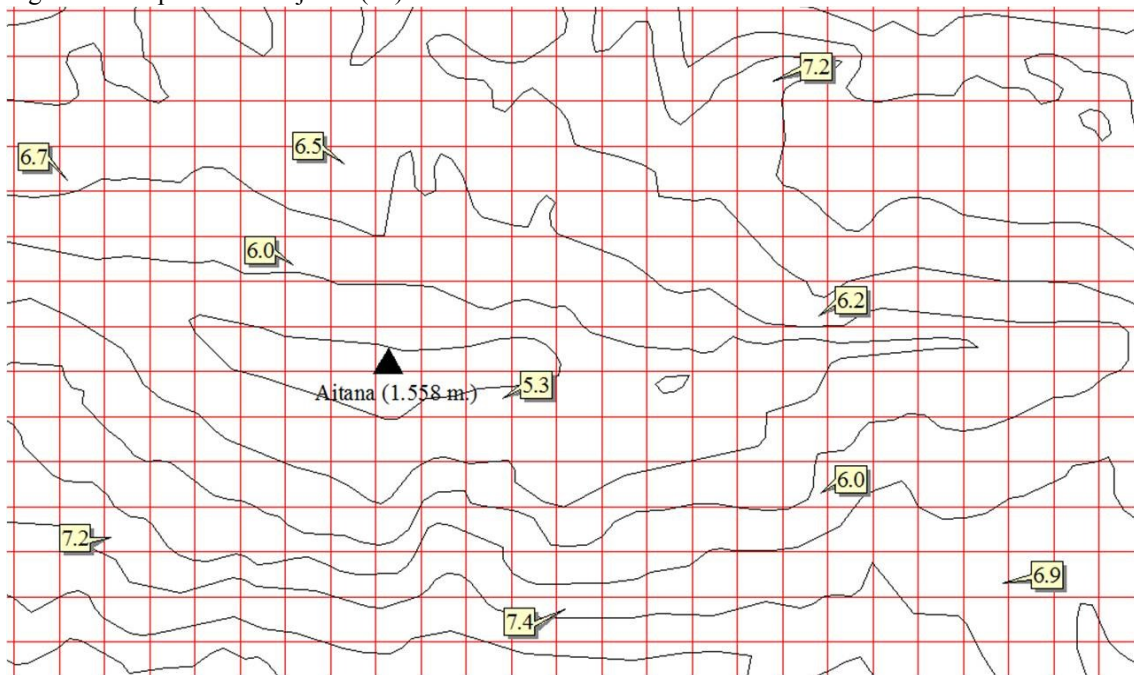
Un primer avantatge de l'ACDPI és que les seues dades es poden descarregar, al contrari que altres que haurien casat millor amb les nostres pretensions. A partir de les variables oferides es pot calcular l'It per a cada quadrícula ja que es compta amb la informació necessària per a això: temperatura mitjana anual (T), temperatura mitjana de les mínimes del mes més fred (m), i temperatura mitjana de les màximes del mateix mes (M). Aleshores resulta obvi que aquesta metodologia supera amb escreix altres resultats (Rivas-Martínez, 1987; Juan *et al.*, 2003; Piñas *et al.*, 2008) basats en interpolació lineal entre estacions i en el traçat d'isolinies a l'empara del coneixement de l'investigador sobre l'àrea d'estudi. A més a més, i una vegada obtinguda la informació aportada per

---

<sup>6</sup><http://www.opengis.uab.es/wms/iberia/mms/index.htm>

l'ACDPI no solament es poden delimitar els termòtíps sinó que s'elaboren mapes d'isotermes d'una manera ràpida i senzilla.

Figura 4. Temperatures mitjanes (°C) de la serra d'Aitana en reticle UTM de 200 x 200 m.



Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI.



## **5. Metodologia per al càlcul de l'índex de termicitat a partir de l'Atlas Climàtic Digital de la Península Ibèrica.**

### **5.1. Delimitació dels sectors.**

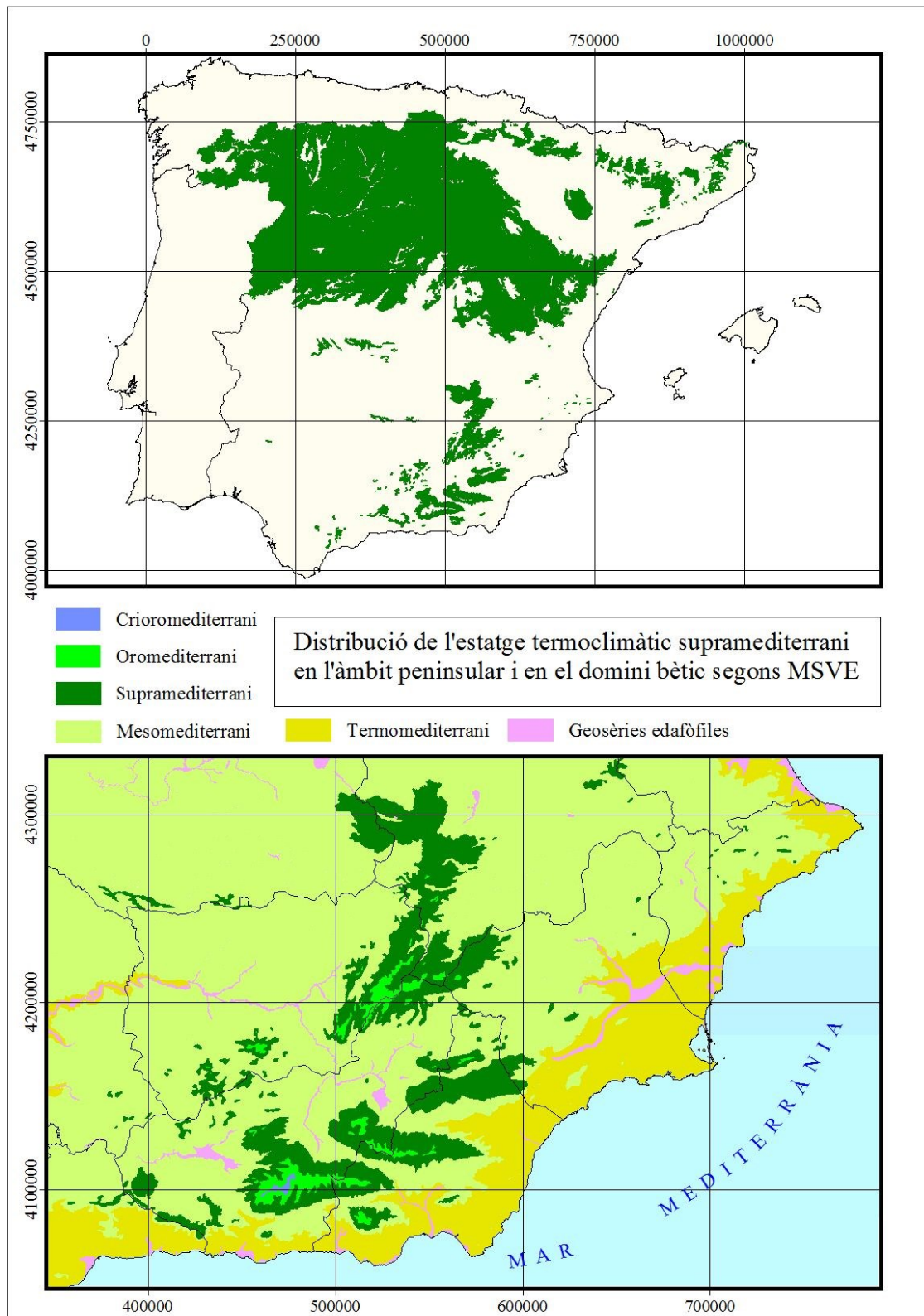
Ja en la introducció apuntàvem les raons que ens han fet triar les cotes més elevades de la província com a zona d'estudi. Efectivament, als sectors culminants de les nostres serres —i en especial a la serra d'Aitana— hi habiten un seguit d'espècies vegetals la corologia de les quals paga la pena analitzar. Com a conseqüència del canvi climàtic esdevingut des del màxim glacial würmià fins el present el clima ha esdevingut més xèric i càlid, fet que ha provocat la reducció de les àrees de distribució i fins i tot l'extinció d'algunes espècies. Les que encara hi són presents es troben acantonades a les parts culminants dels relleus de major volumetria de la província ja que són aquestes les àrees en què hi troben les condicions òptimes per al seu desenvolupament. Per aquest motiu són zones que es poden catalogar com ecòtops singulars ja que en elles les condicions ambientals difereixen notablement de les existents als seus voltants en cotes més baixes. En aquests ecòtops tan particulars les espècies més exigents de baixes temperatures es troben en posició finícola, i per tant es poden considerar vulnerables a canvis que puguin afectar els indrets on hi habiten, en especial als de tipus climàtic (Marco, 2006).

Les zones cacuminals de la província d'Alacant analitzades en aquest treball han estat aquelles en les quals el MSVE indicava la presència de l'estatge supramediterrani: serres del Reconc (1210 m), Onil (1211 m), Arguenya (1230 m), Salines (1238 m), Maigmó (1296 m), Plans-Rentonar (1330 m), Menejador (1356 m), Serrella (1379 m), Mariola (1390 m), Puig Campana (1410 m) i Aitana (1558 m). A banda d'aquests llistat, i quan ja s'havia aconseguit la informació aportada per l'ACDPI per a l'anàlisi d'aquests sectors, es va incloure el sector Carrasqueta (1205 m) perquè sospitàvem<sup>7</sup> que la presència de l'estatge supramediterrani era més que probable.

---

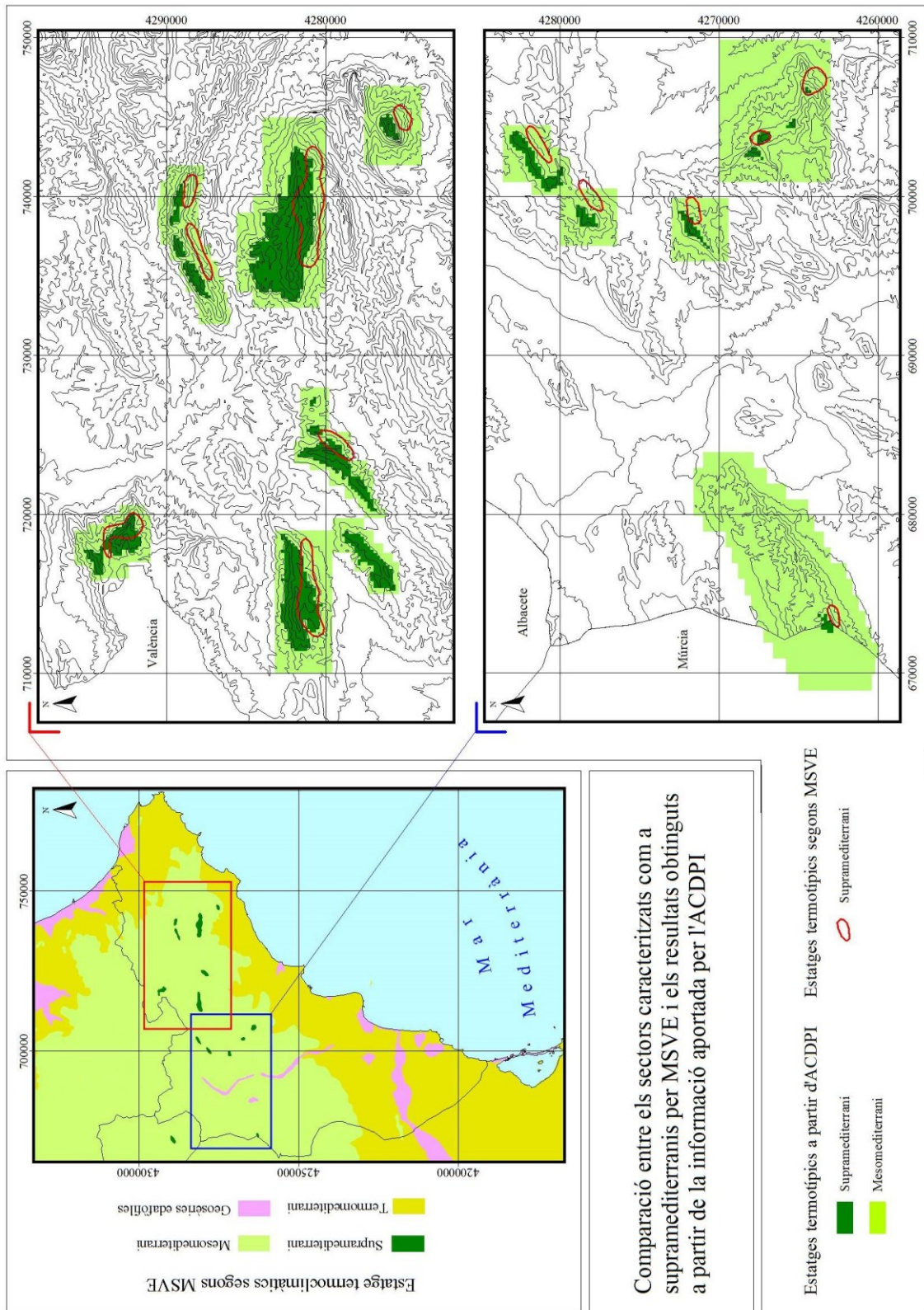
<sup>7</sup> Idea suggerida pel professor Marco Molina.

Mapa 1. Estatge supramediterrani a la península Ibèrica i a la serralada Bètica.



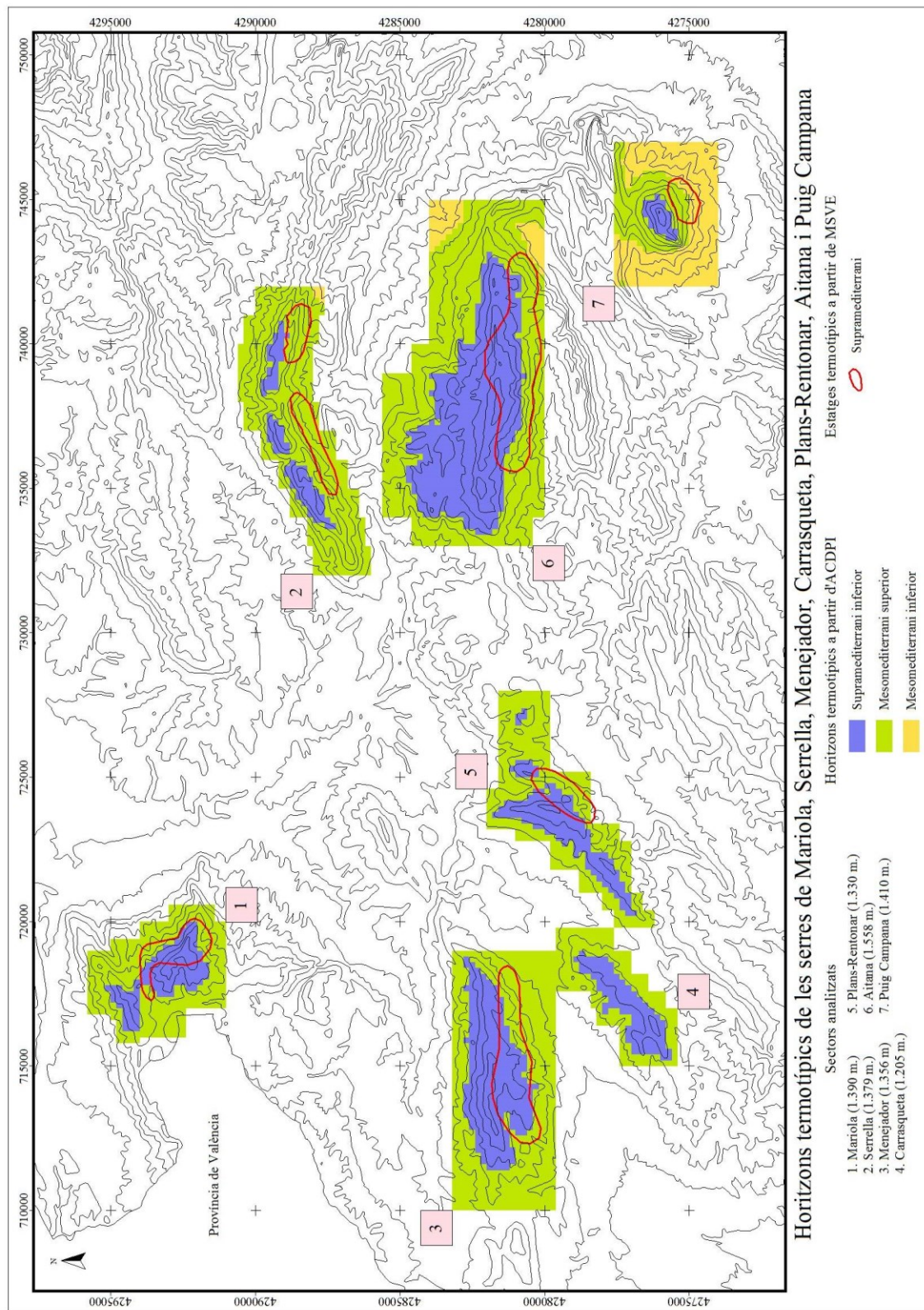
Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI i MSVE.

Mapa 2. Estatge supramediterrani a la província d'Alacant.



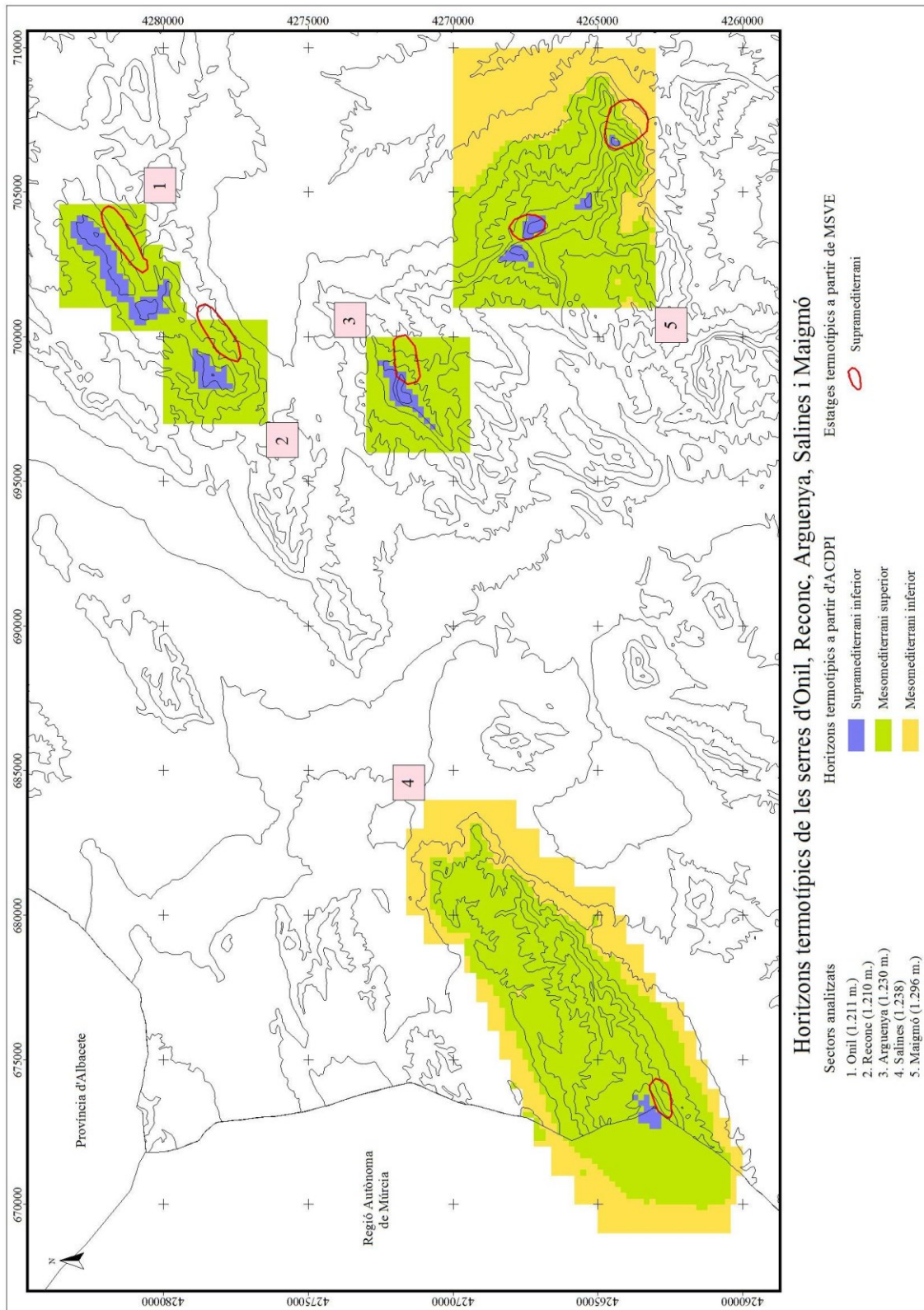
Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI i MSVE.

Mapa 3. Horitzons termotípics de les serres orientals.



Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI i MSVE.

Mapa 4. Horitzons termotípics de les serres occidentals.

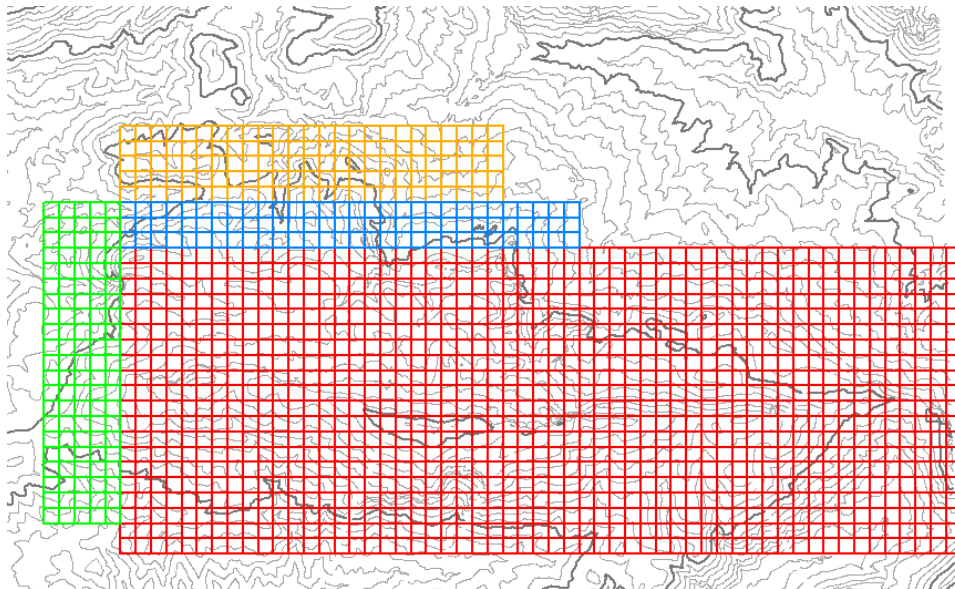


Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI i MSVE.

## 5.2. Obtenció de les dades de l'ACDPI.

El primer pas a realitzar amb una eina SIG, en el nostre cas *Arc View 3.2*<sup>©</sup>, consisteix en crear un reticle de coordenades UTM per a cadascú dels sectors. Per a això es fa servir l'extensió *Create Grid*, on s'introdueixen les coordenades en les quals MSVE indica la presència del supramediterrani. Com que la localització que aquesta font fa del supramediterrani no és precisa s'ha de fer una lectura de les corbes de nivell de cada serra perquè el nostre reticle abrace les parts culminants de cada sector. En el cas dels sectors que no tenen forma quadrada o rectangular hem hagut de crear més d'un reticle per a posteriorment unir-los amb l'eina *Merge*.

Figura 5: Representació dels quatre *grids* elaborats per al sector d'Aitana.



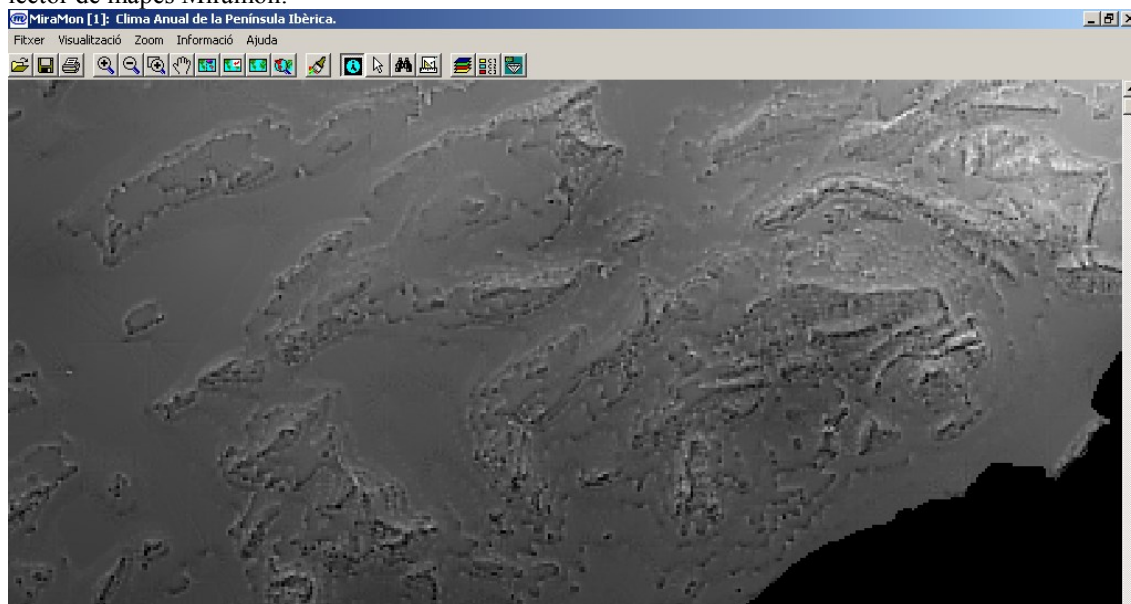
Font: elaboració pròpia.

Altre punt a tenir en compte per a fer els *grids* és la densitat que volem atorgar-li. En el nostre cas les cel·les són de 200x200 m, ja que aquesta és la resolució a què s'ha elaborat l'ACDPI. Una vegada dibuixat el *grid* el convertim en *shape*, de manera que als sectors que volem analitzar podem incorporar-los la informació climàtica aportada per l'ACDPI. És així com cadascuna de les cel·les de les nostres *shapes*, identificades segons latitud i longitud, es pot emparellar amb les cel·les de l'ACDPI que tinguen la mateixa localització espacial.

La tasca per a importar les dades que ens ofereix l'ACDPI comença amb la consulta de la pàgina web. En pantalla se'ns ofereix la possibilitat de descarregar les capes d'informació climàtica de qualsevol mes de l'any, així com una altra de la mitjana

anual. Per al cas que ens ocupa, el càlcul de l'It, les capes necessàries són l'anual i la de gener. Una vegada finalitzada la descàrrega es disposa d'un fitxer ràster la lectura del qual es fa mitjançant el visor de mapes Miramón, també disponible i de descàrrega gratuïta en la mateixa pàgina web.

Figura 6: Capa d'informació climàtica anual del sector N de la província d'Alacant visualitzada amb el lector de mapes Miramón.

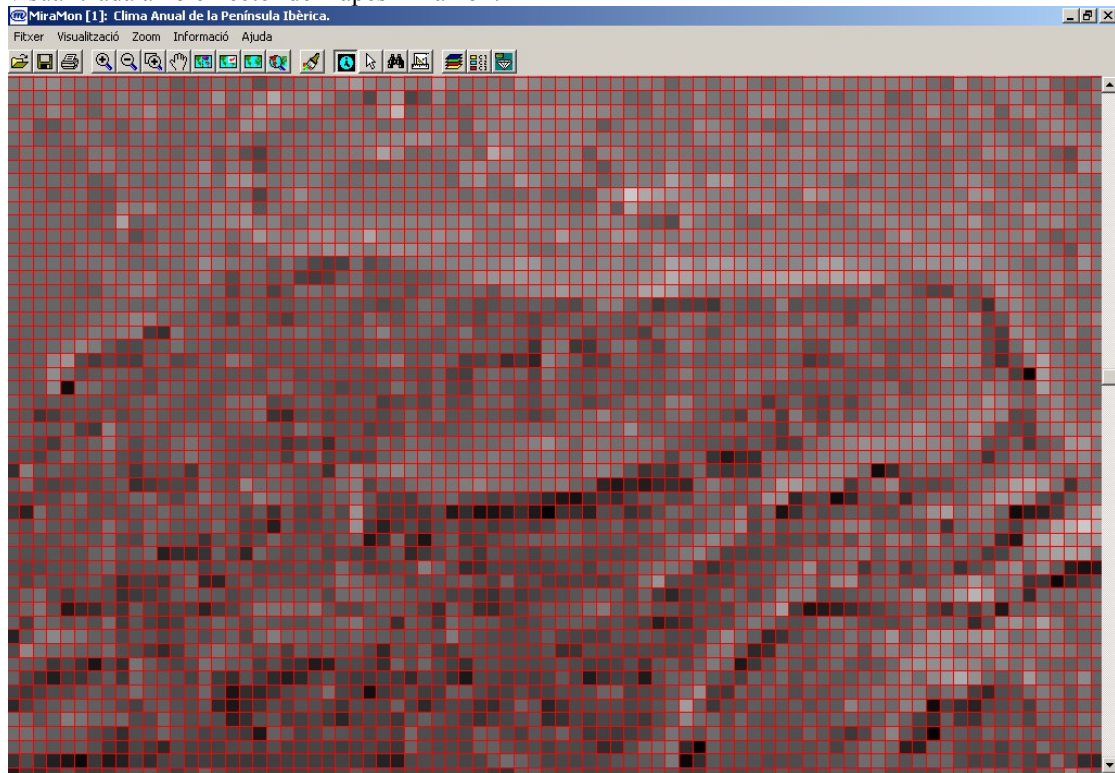


Font: <http://www.opengis.uab.es/wms/iberia/mms/index.htm>.

Aquests fitxers ofereixen valors de precipitació, temperatura mitjana anual, temperatura mitjana de les màximes, temperatura mitjana de les mínimes i insolació per a cadascuna de les quadrícules de 200 x 200 metres en què han dividit el territori peninsular. Aleshores realitzem una consulta per localització en totes elles de manera que en pantalla hi apareix la informació abans esmentada. Aquestes dades es copien i s'enganxen en un document *Excel* per al seu posterior tractament i s'ordenen per columnes: *Id* (un identificador per a cada quadrícula), latitud i longitud en coordenades UTM, i les variables climàtiques ja comentades.

De cadascun dels *grids* creats podem treballar la seua taula de dades de manera ràpida i senzilla. El primer pas és crear un camp nou per a l'It, en el qual fem servir la calculadora per a sumar els camps de temperatura mitjana anual, temperatura mitjana de les mínimes de gener i temperatura mitjana de les màximes de gener. El resultat el multipliquem per deu segons l'expressió de Rivas-Martínez per a calcular l'It, i ja disposem del camp requerit per a l'anàlisi dels estatges bioclimàtics.

Figura 7: Capa d'informació climàtica anual centrada en la serra d'Aitana i amb reticle de 200x200 m visualitzada amb el lector de mapes Miramón.



Font: <http://www.opengis.uab.es/wms/iberia/mms/index.htm>.

Figura 8. Exemple de taula d'atributs d'un *grid* elaborada amb *Arc View* per al càlcul de l'It.

Id	Latitud	Longitud	Precipitac	Minima	Mitjana	Maxima	Insoleccio	Latitud	Longitud	Precip. gen	Min. gen	Mitj. gen	Max. gen	Insole. gen	It
346	4267200	702400	80.3	6.1	12.1	18.0	2143	4267200	702400	5.6	0.0	4.7	9.5	1002	216
392	4267400	702600	248.8	6.1	12.1	17.9	2109	4267400	702600	19.0	-0.1	4.6	9.3	960	213
393	4267600	702600	418.4	6.2	12.2	18.1	1961	4267600	702600	30.0	-0.4	4.5	9.5	774	213
394	4267800	702600	419.1	6.3	12.3	18.2	1873	4267800	702600	28.2	-0.6	4.4	9.6	669	213
395	4268000	702600	463.8	6.5	12.5	18.3	1808	4268000	702600	30.6	-0.6	4.4	9.8	596	217
396	4268200	702600	335.8	6.6	12.6	18.4	1714	4268200	702600	17.8	-0.7	4.3	9.8	505	217
437	4267400	702800	202.1	6.1	12.1	18.0	2174	4267400	702800	16.5	0.1	4.8	9.4	1054	216
438	4267600	702800	245.6	6.0	12.0	17.9	2009	4267600	702800	16.6	-0.5	4.3	9.2	830	207
439	4267800	702800	162.2	6.0	12.0	17.9	1785	4267800	702800	4.9	-1.1	3.9	9.2	572	201

Font: elaboració pròpia.



## 6. Resultats.

La cartografia de l'It a la província d'Alacant a gran escala ja s'ha assajat en dues ocasions. Miró *et al.* (2016) apliquen downscaling estadístic, les dades climàtiques del període 1948-2011 i una resolució espacial de 90 m per a tot el País Valencià. L'altre treball (Azorín *et al.*, 2010) es basa en la informació climàtica de l'ACDPI, per a cartografiar la situació, extensió i límits de l'estatge supramediterrani a la província d'Alacant. A partir d'aquest darrer treball presentem els següents resultats:

### 6.1. Cartografia de l'índex de termicitat.

- Es proposa la denominació de "subhoritzó" per a cadascuna de les divisions internes d'un horitzó. Així, en parlar de la subdivisió amb valors d'It més baixos ens referirem a ella com subhoritzó 7 (forma abreviada, Smei<sub>7</sub>).
- Les subdivisions de l'horitzó supramediterrani inferior passen de sis a set, ja que és una divisió més correcta per al rang de valors d'It en què està comprés aquest horitzó.

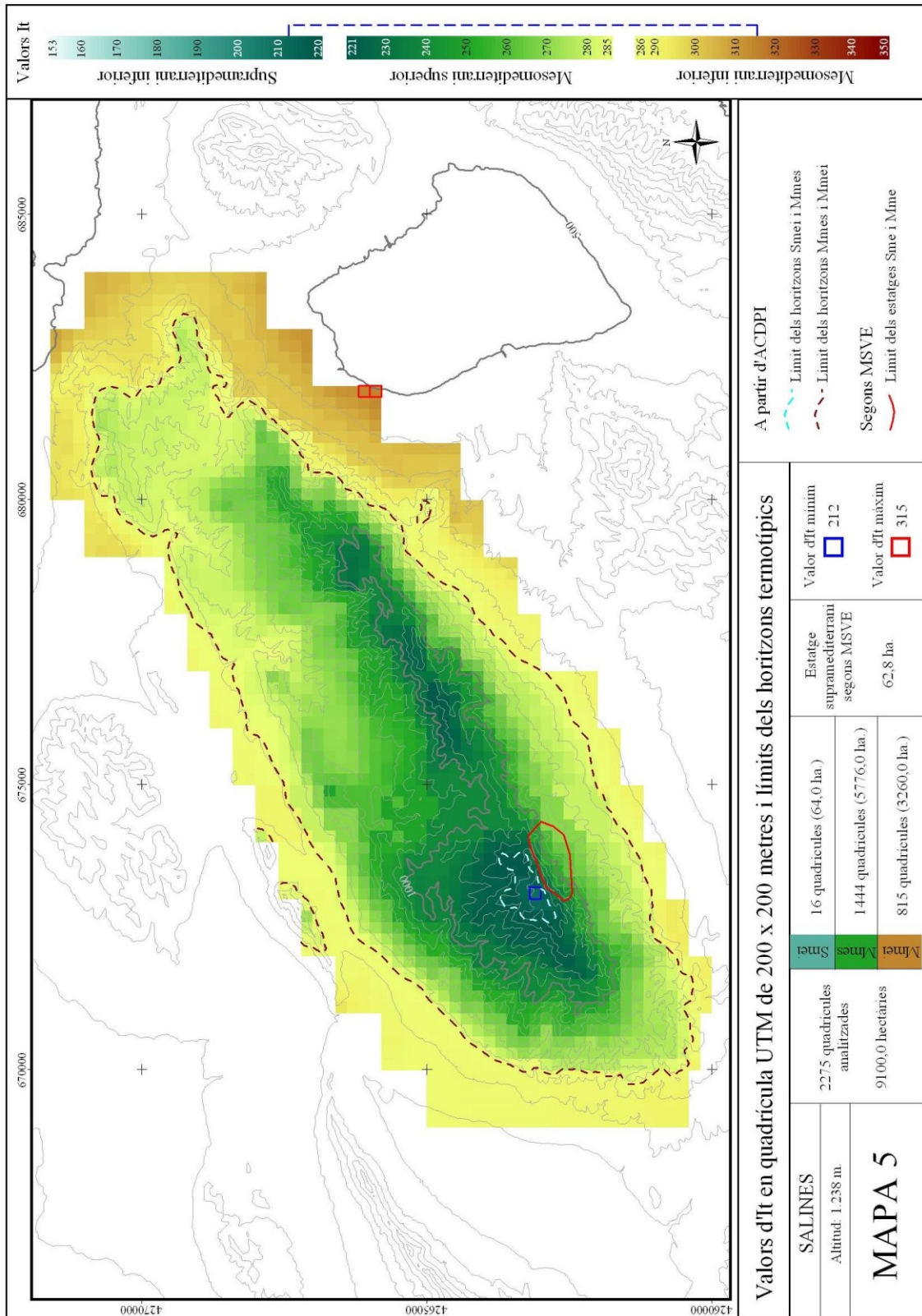
Taula 4: Modificació de la classificació dels subhoritzons del supramediterrani inferior.

	Valors d'It per als intervals de l'horitzó supramediterrani inferior	
	Azorín <i>et al.</i> (2010)	Azorín (2017)
Smei <sub>7</sub>	—	160-151
Smei <sub>6</sub>	<170	170-161
Smei <sub>5</sub>	180-171	180-171
Smei <sub>4</sub>	190-181	190-181
Smei <sub>3</sub>	200-191	200-191
Smei <sub>2</sub>	210-201	210-201
Smei <sub>1</sub>	220-211	220-211

Font: elaboració pròpia.

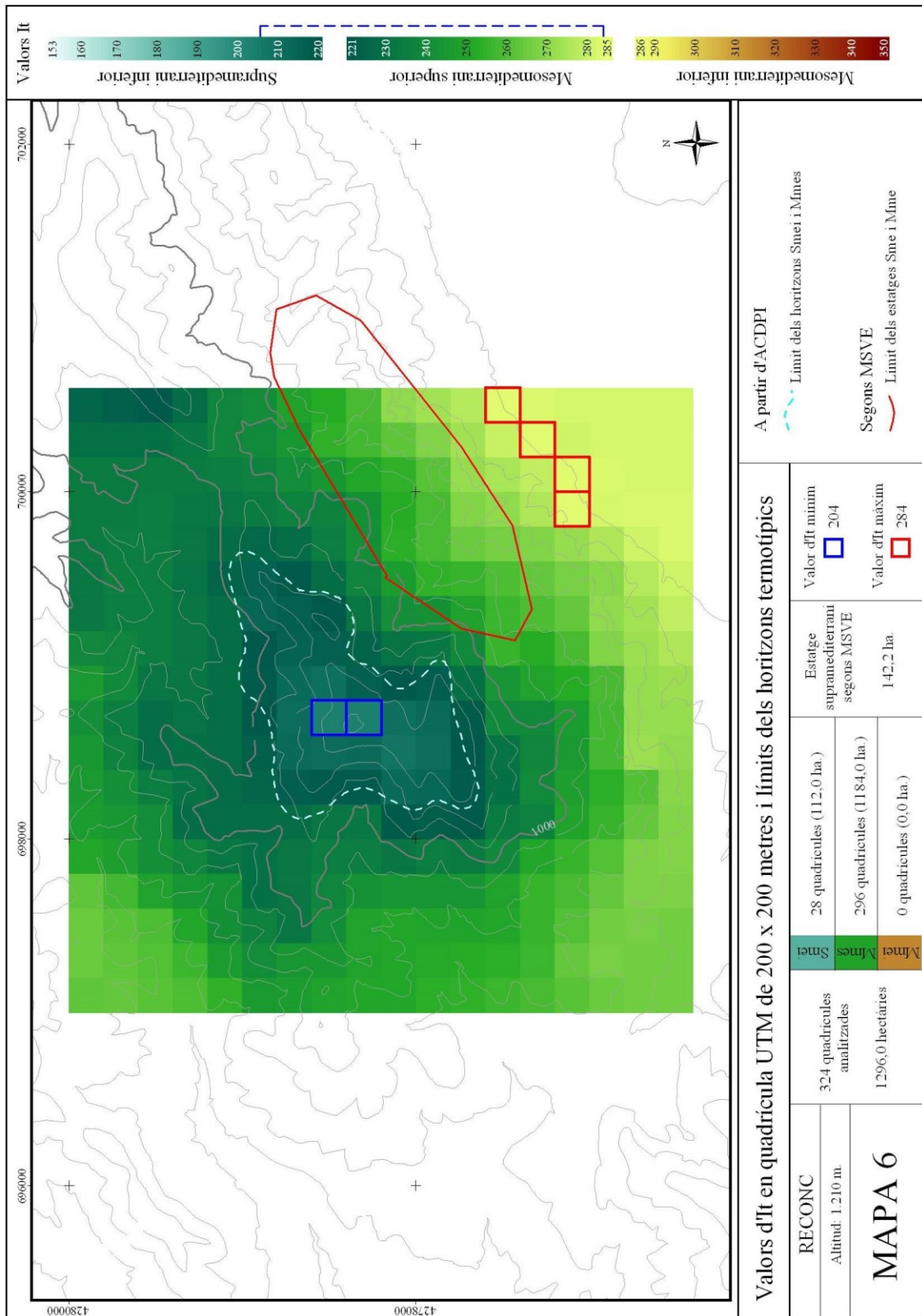
- Hem refet el disseny de la cartografia de manera que ara presentem el valor d'It concret per a cada quadrícula del territori (mapes 5 a 16), en lloc d'una cartografia en què les quadrícules s'agrupaven, segons el seu It, en sis categories. Per a futurs treballs es pot optar, segons ens convinga, per la representació dels valors concrets d'It o dels subhoritzons.

Mapa 5. Índex de termicitat de la serra de Salines.



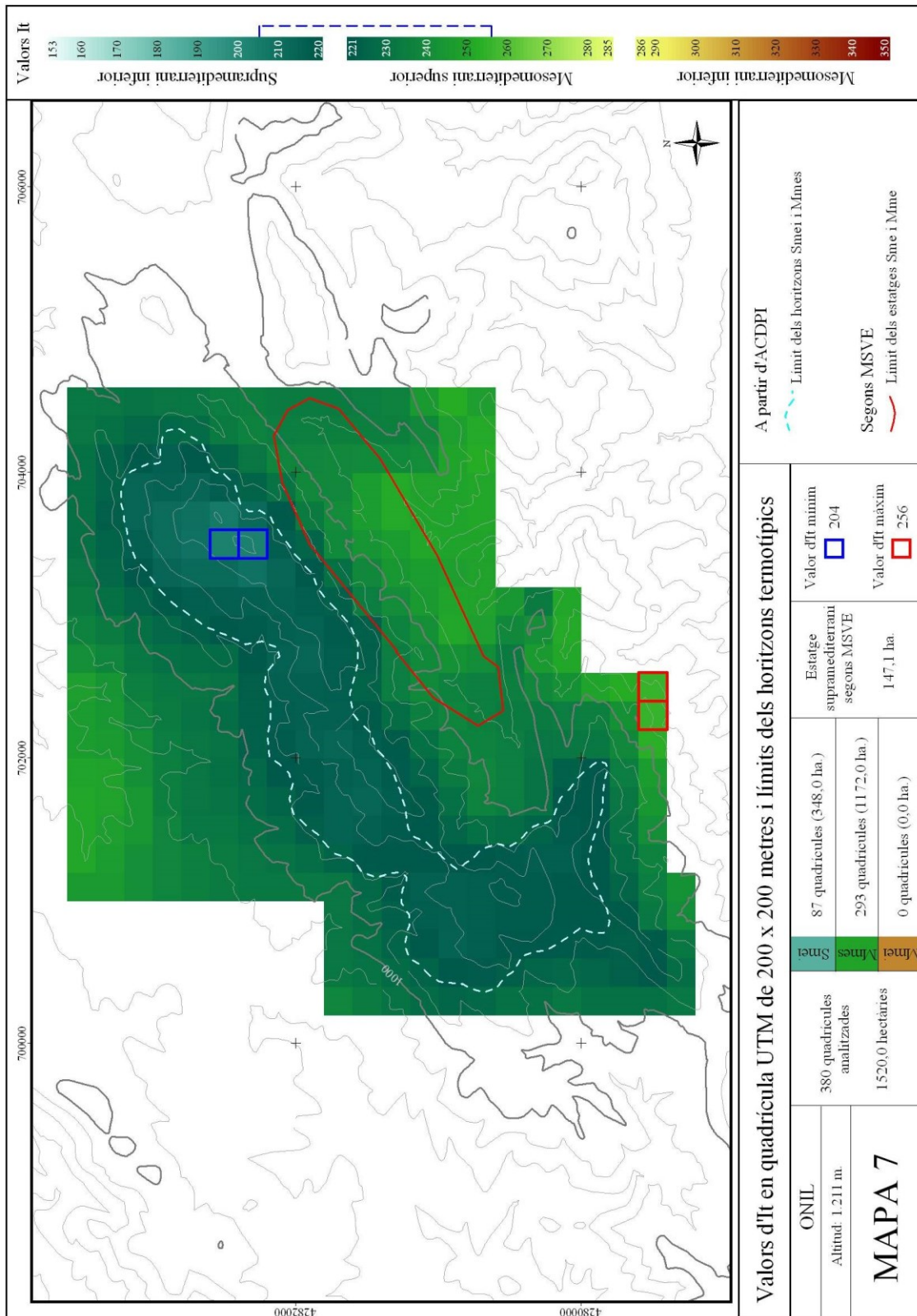
Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI i MSVE.

Mapa 6. Índex de termicitat de la serra del Reconç.



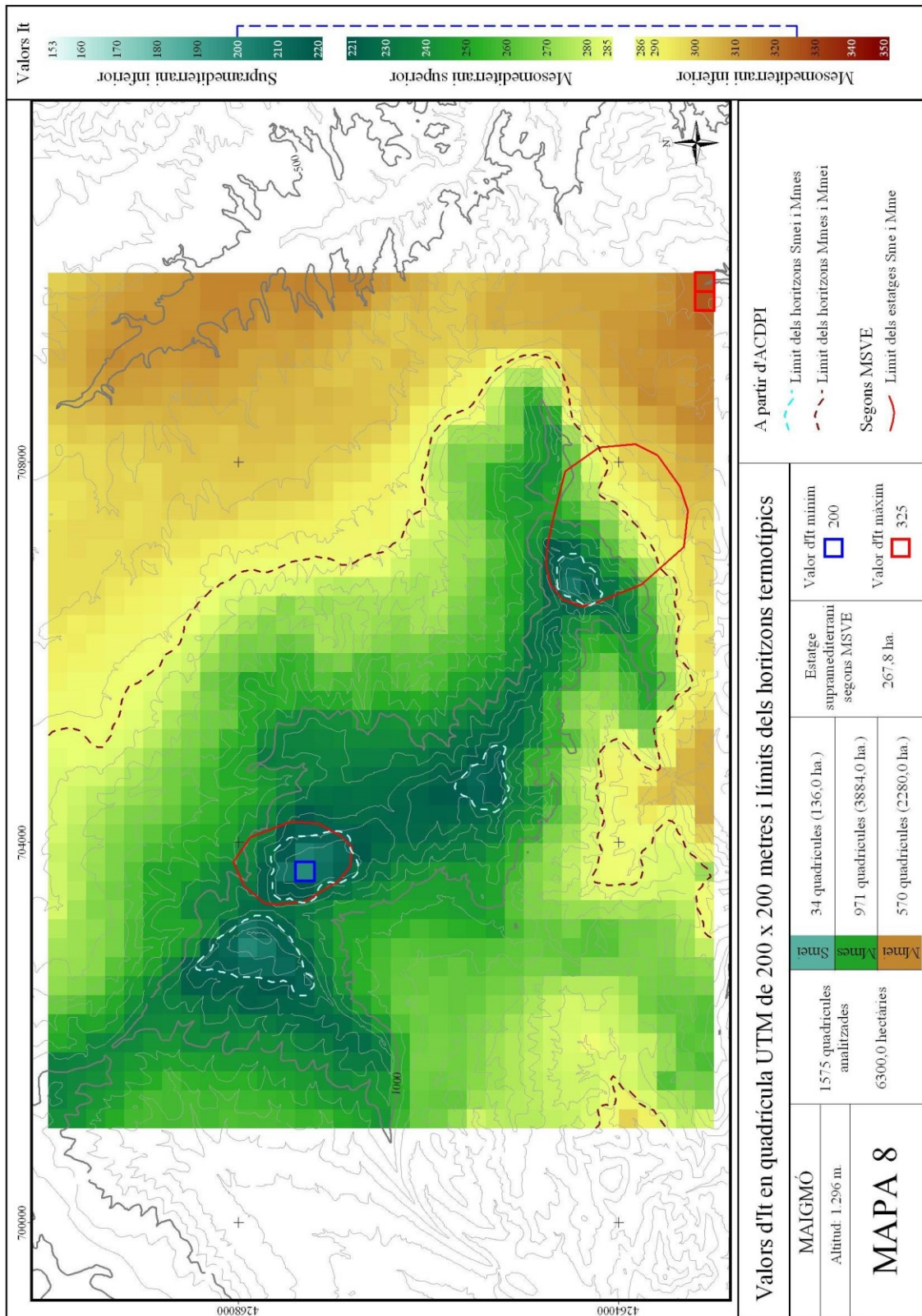
Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI i MSVE.

Mapa 7. Índex de termicitat de la serra d'Onil.



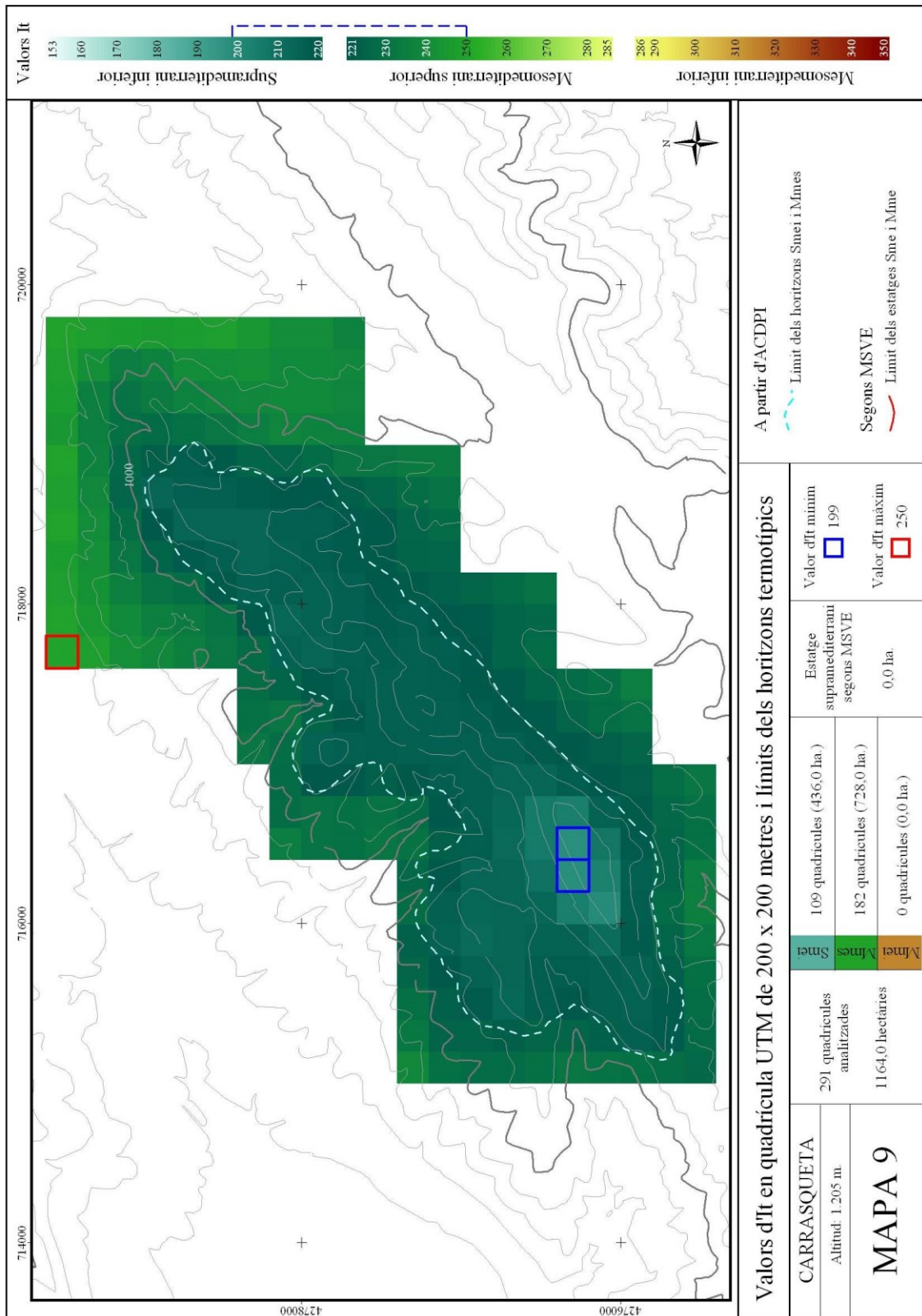
Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI i MSVE.

Mapa 8. Índex de termicitat de la serra del Maigmó.



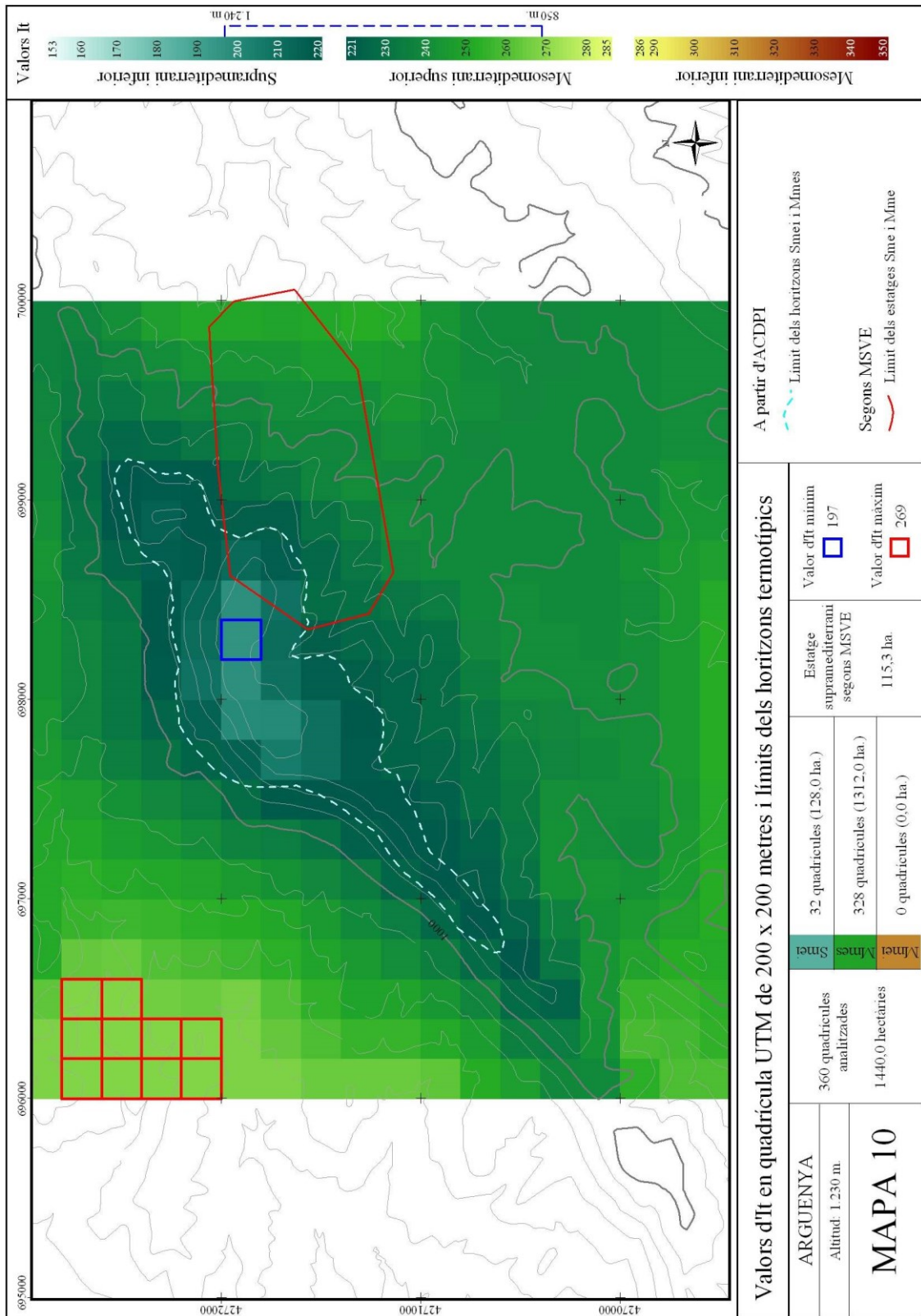
Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI i MSVE.

Mapa 9. Índex de termicitat de la serra de la Carrasqueta.



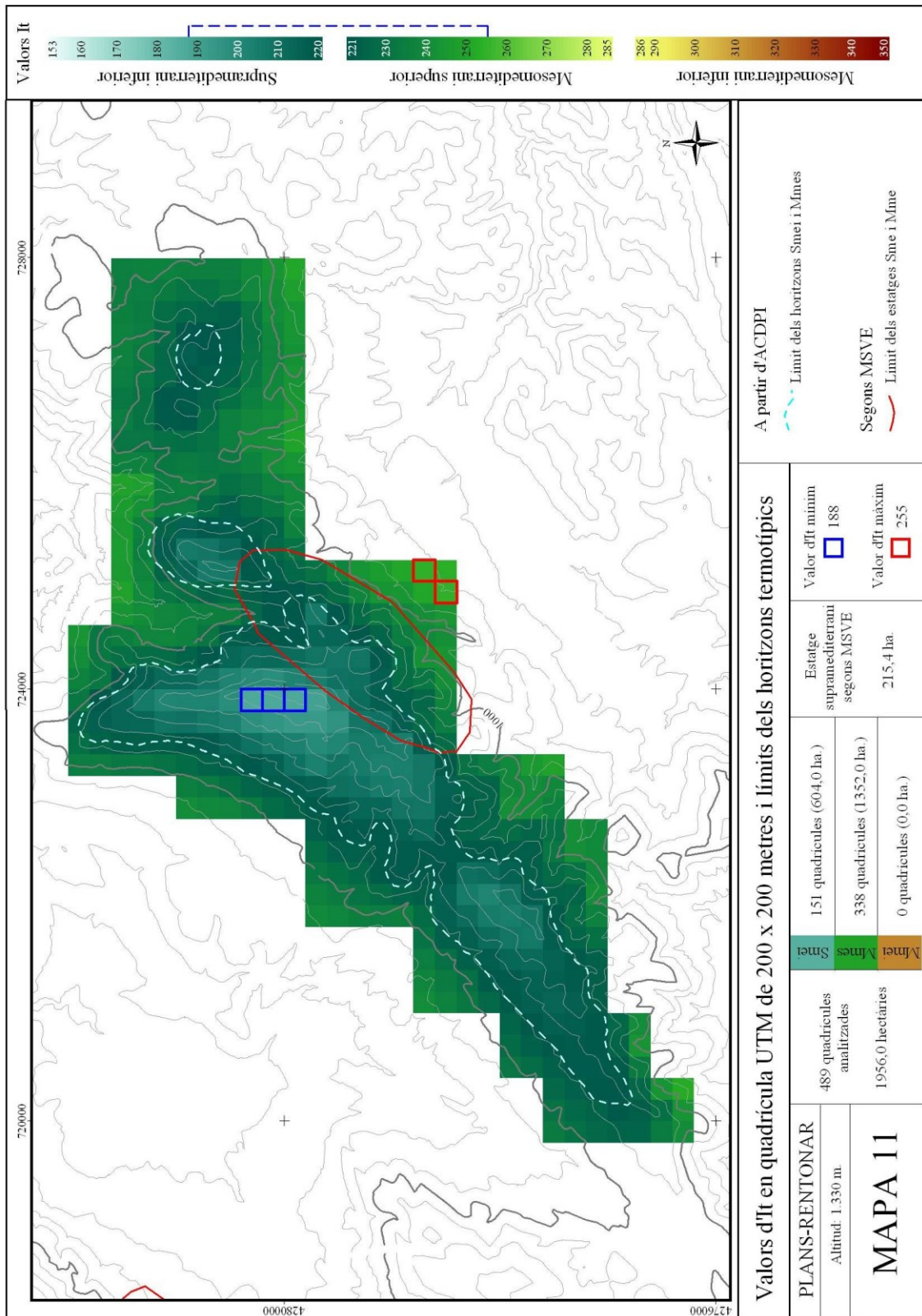
Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI i MSVE.

Mapa 10. Índex de termicitat de la serra de l'Arguènyia.



Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI i MSVE.

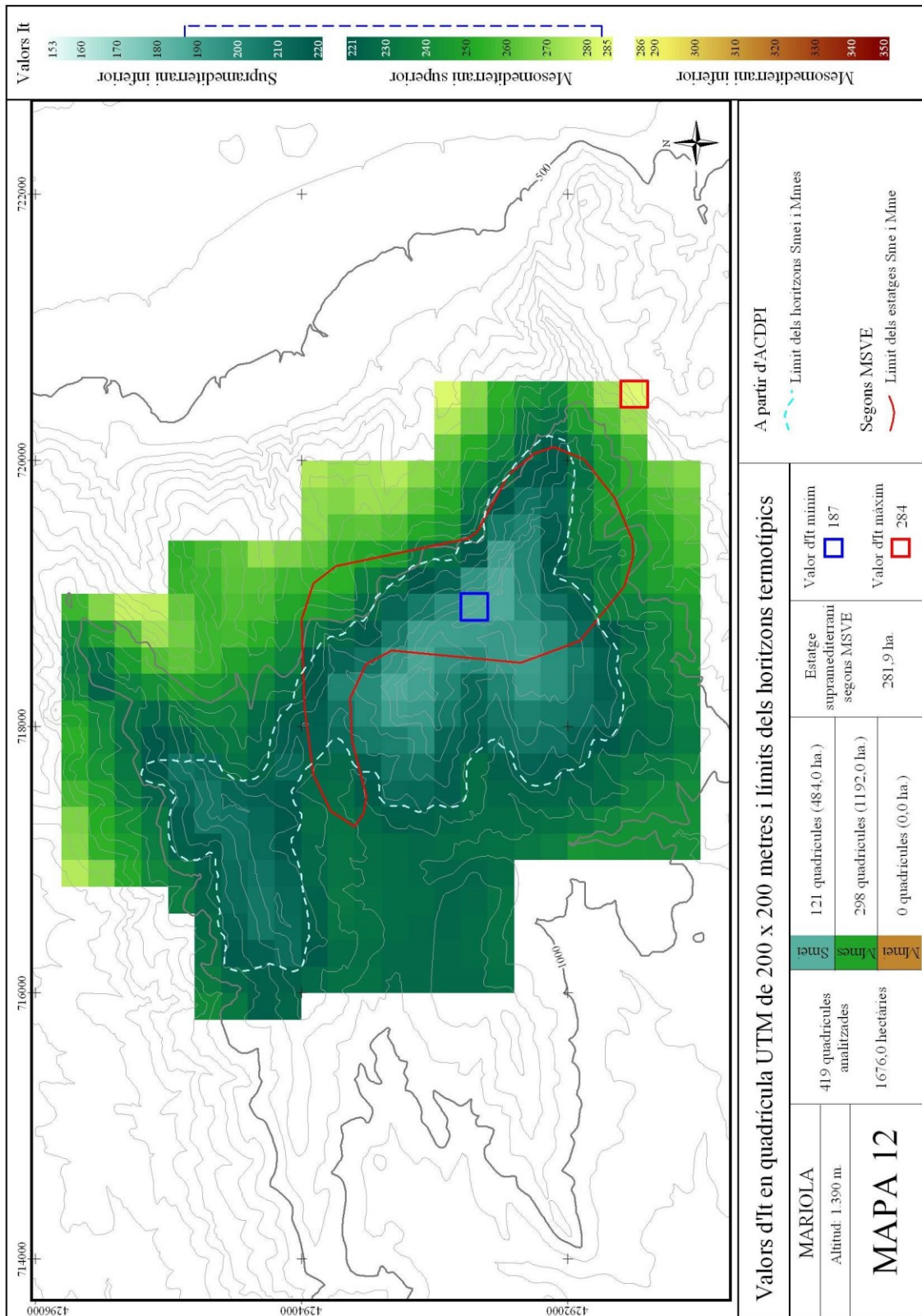
Mapa 11. Índex de termicitat de la serra de Plans-Rentonar.



Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI i MSVE.

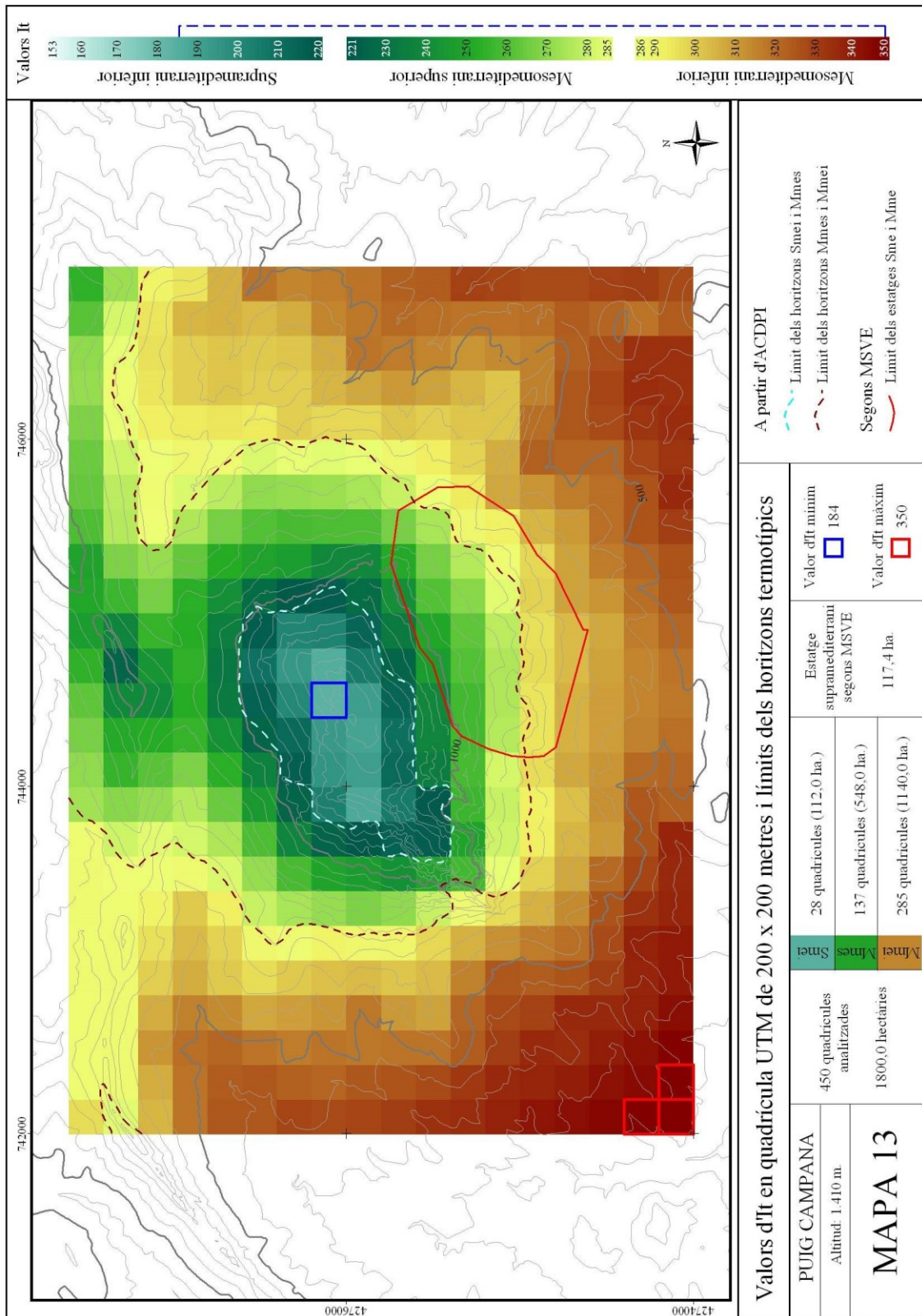


Mapa 12. Índex de termicitat de la serra de Mariola.



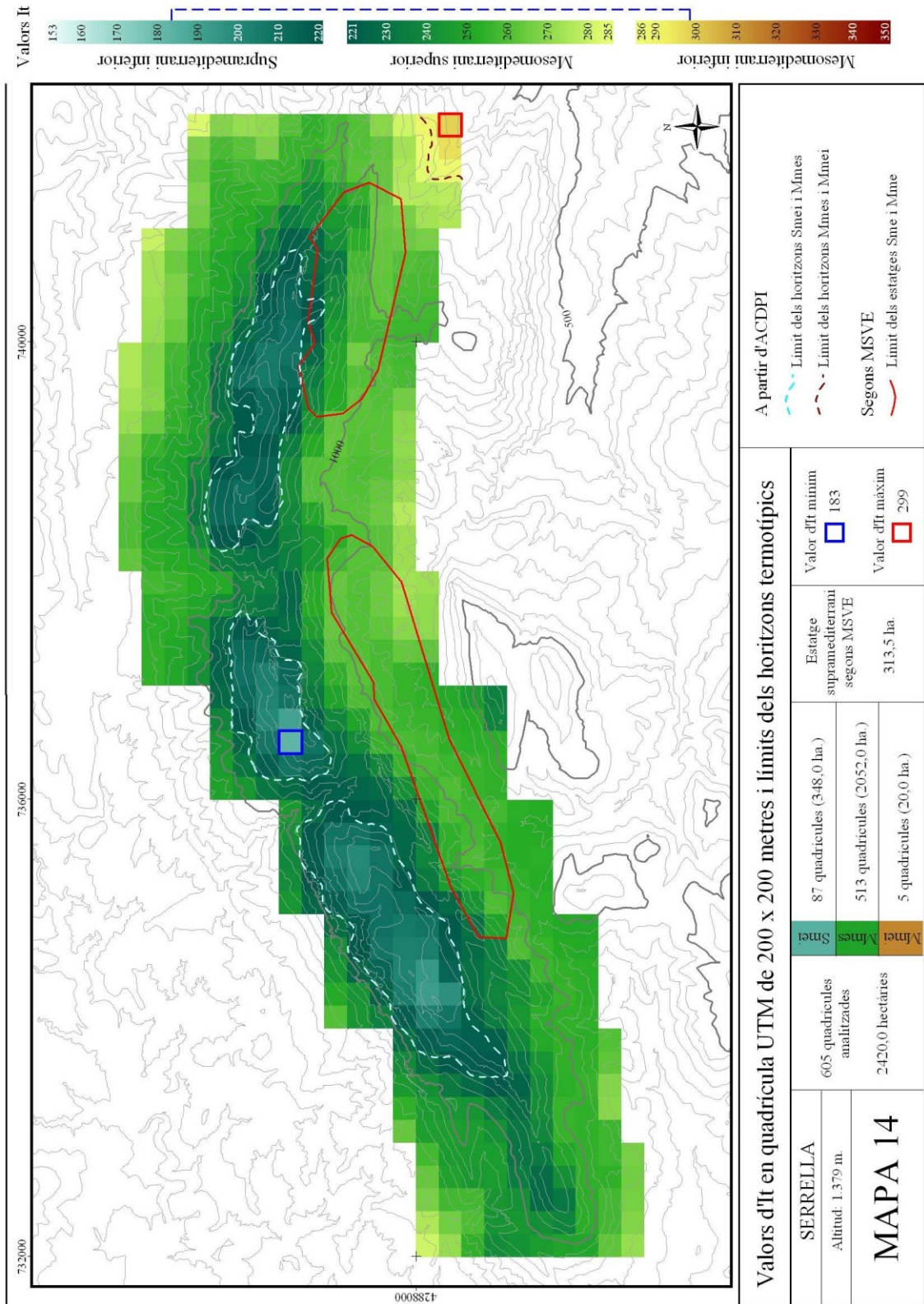
Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI i MSVE.

Mapa 13. Índex de termicitat del Puig Campana.



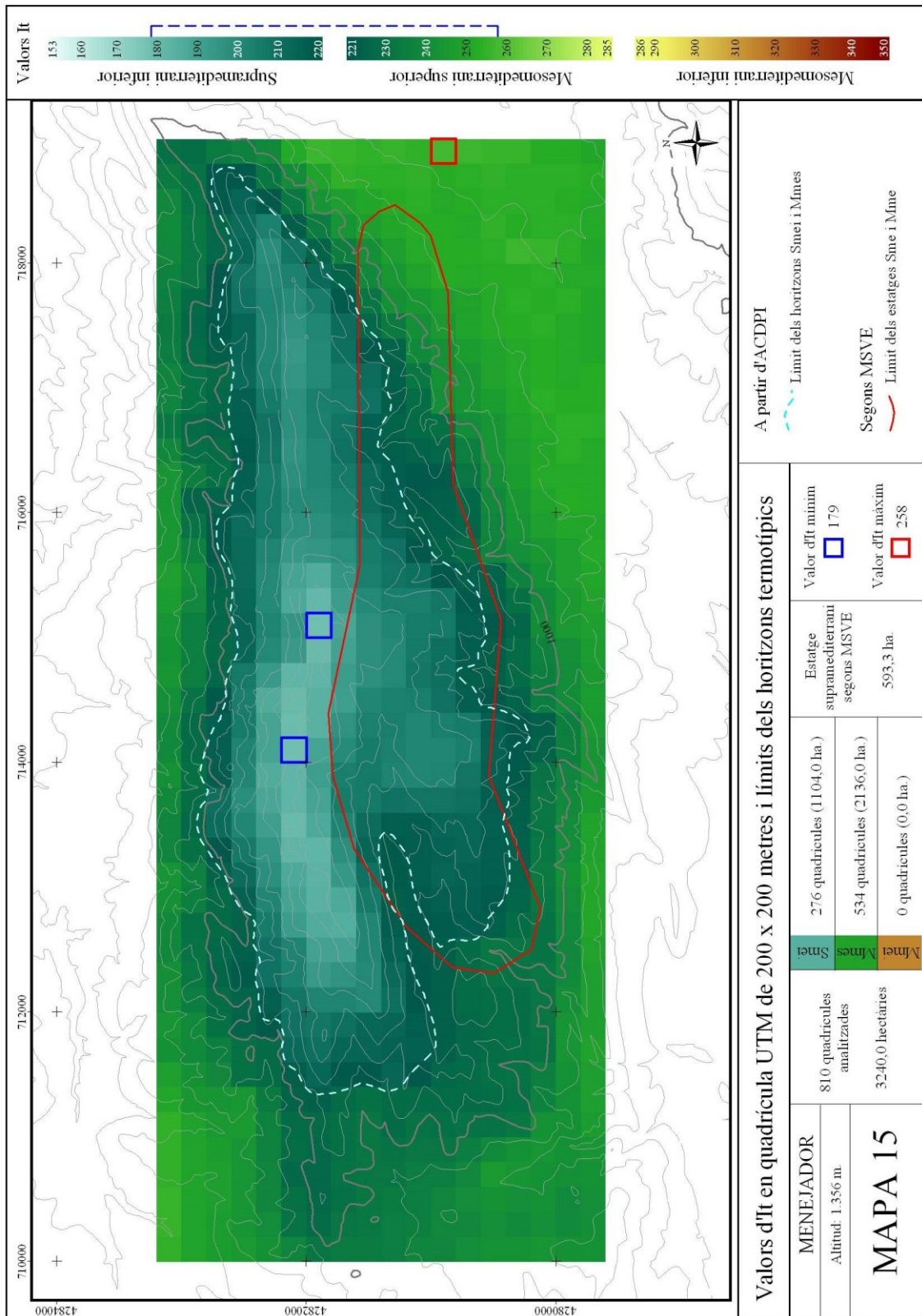
Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI i MSVE.

Mapa 14. Índex de termicitat de la serra de Serrella.



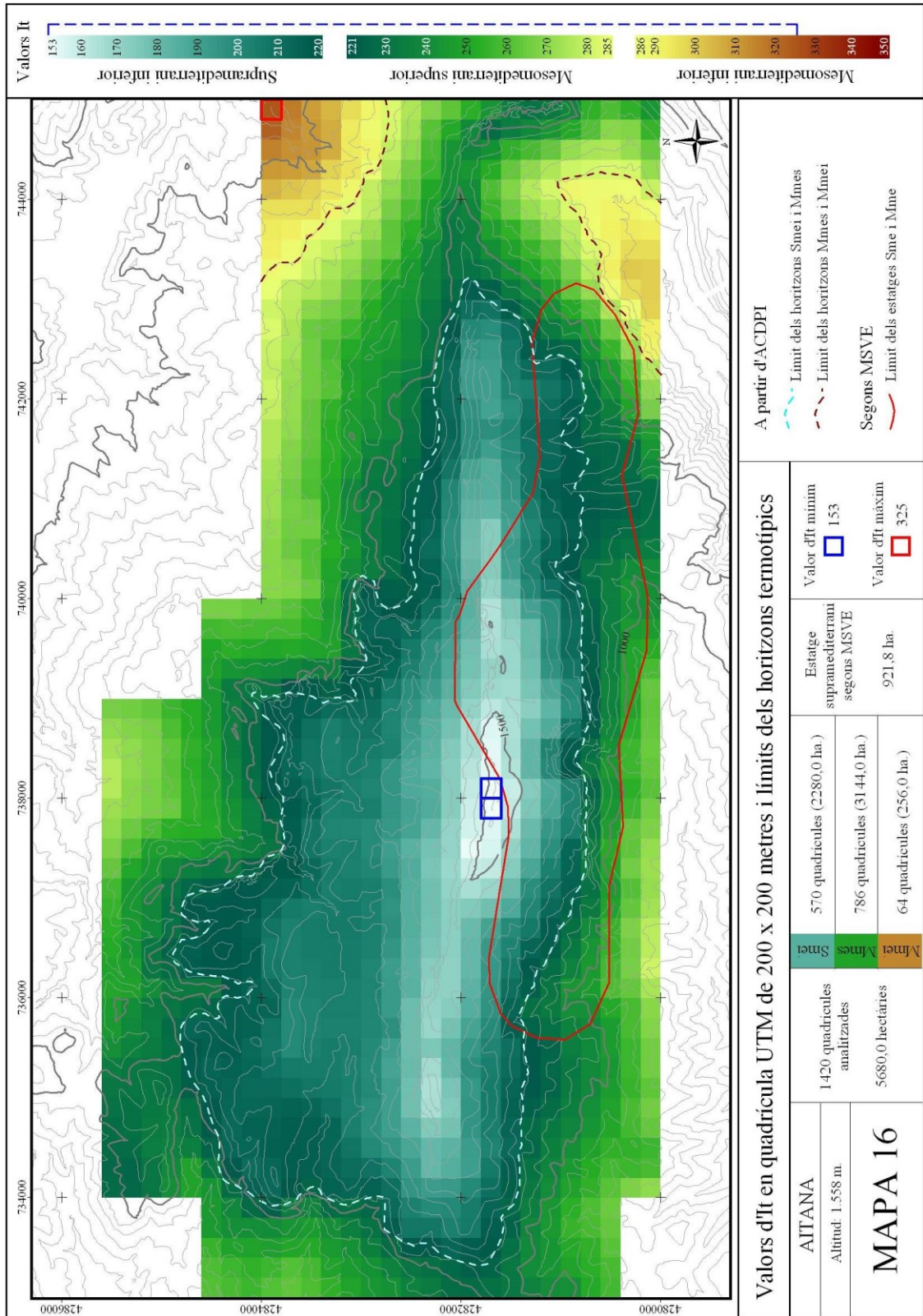
Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI i MSVE.

Mapa 15. Índex de termicitat de la serra del Menejador.



Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI i MSVE.

Mapa 16. Índex de termicitat de la serra d'Aitana.



Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI i MSVE.

## 6.2. Relació entre corologia i índex de termicitat.

L'objectiu perseguit és millorar la cartografia i la nomenclatura dels subhoritzons, ja que per a estudis de l'It i corològics a gran escala es requereix una modificació de la metodologia emprada a altres escales (Azorín *et al.*, 2010). En aquest sentit cal recordar que el fet d'ampliar un mapa no suposa un augment d'escala sinó que es canvien les seues dimensions. L'escala no expressa la mida de les coses sinó el caràcter dels fenòmens, així que un canvi d'escala suposa que representem elements espacialment menuts d'impossible representació a l'escala anterior (Folch, 2017). Al respecte, els mapes 17 i 18<sup>8</sup> ofereixen, respectivament, la corologia de *Genista longipes* Pau i *V. spinosa* Boiss.<sup>9</sup>, amb dues representacions diferents en cadascú d'ells. En la part superior reflectim la presència de l'espècie en qüestió matisada segons quatre nivells, cartografia que tal volta casa millor amb una representació de l'It segons subhoritzons termoclimàtics. En canvi en la part inferior es representa un fenomen diferent, els límits de les poblacions, i per tant sembla més acurat presentar la cartografia de l'It segons el valor exacte de cadascuna de les quadrícules.

A partir de la cartografia corològica s'han determinat els respectius rangs d'It en els quals es troben els dos pulvínuls. *G. longipes* es troba en quadrícules amb It comprés entre 155 i 192, encara que el gruix de la població té com a límit el valor 171. Per subhoritzons ocupa 4.17 ha al Smei<sub>7</sub>, 3.09 ha al Smei<sub>6</sub>, 0.03 ha al Smei<sub>5</sub>, i apareix de forma puntual al Smei<sub>3</sub>. També s'ha establert el grau de presència de l'espècie, de manera que l'hem catalogada com abundant en una quadrícula del Smei<sub>7</sub>; freqüent en una del Smei<sub>7</sub> i en dues del Smei<sub>6</sub>; localitzada en una del Smei<sub>7</sub> i en tres del Smei<sub>6</sub>; i rara en quatre del Smei<sub>6</sub>, en una del Smei<sub>5</sub> i en una del Smei<sub>3</sub> (taula 5). La població aïllada al Smei<sub>3</sub>, per la seua localització, presenta unes particularitats sobre les quals tornarem més endavant.

---

<sup>8</sup> Les capes vectorials amb la corologia de *G. longipes* i *V. spinosa* emprades en aquest treball han estat facilitades pel grup d'investigació MedSPai (Medi, Societat i Paisatge) del Departament d'Anàlisi Geogràfica Regional i Geografia Física de la Universitat d'Alacant. Les dades s'han generat amb un GPS de precisió submètrica i millorat amb correcció diferencial, amb la qual cosa cadascun dels punts registrats presenta errors màxims de 0.6 m i mínims de 0.3 m.

<sup>9</sup> Les dues espècies figuren com a "Vulnerable" segons la categoria UICN; i al Catàleg Valencià d'Espècies de Flora Amenazades es troben, respectivament, a l'Annex II. Protegides no catalogades i a l'Annex III. Espècies Vigilades.

Taula 5. Nombre de quadrícules amb presència de *G. longipes* segons el grau de presència i el subhoritzó.

	Abundant	Freqüent	Localitzada	Rara
Smei <sub>7</sub>	1	1	1	
Smei <sub>6</sub>		2	3	4
Smei <sub>5</sub>				1
Smei <sub>3</sub>				1

Font: elaboració pròpia.

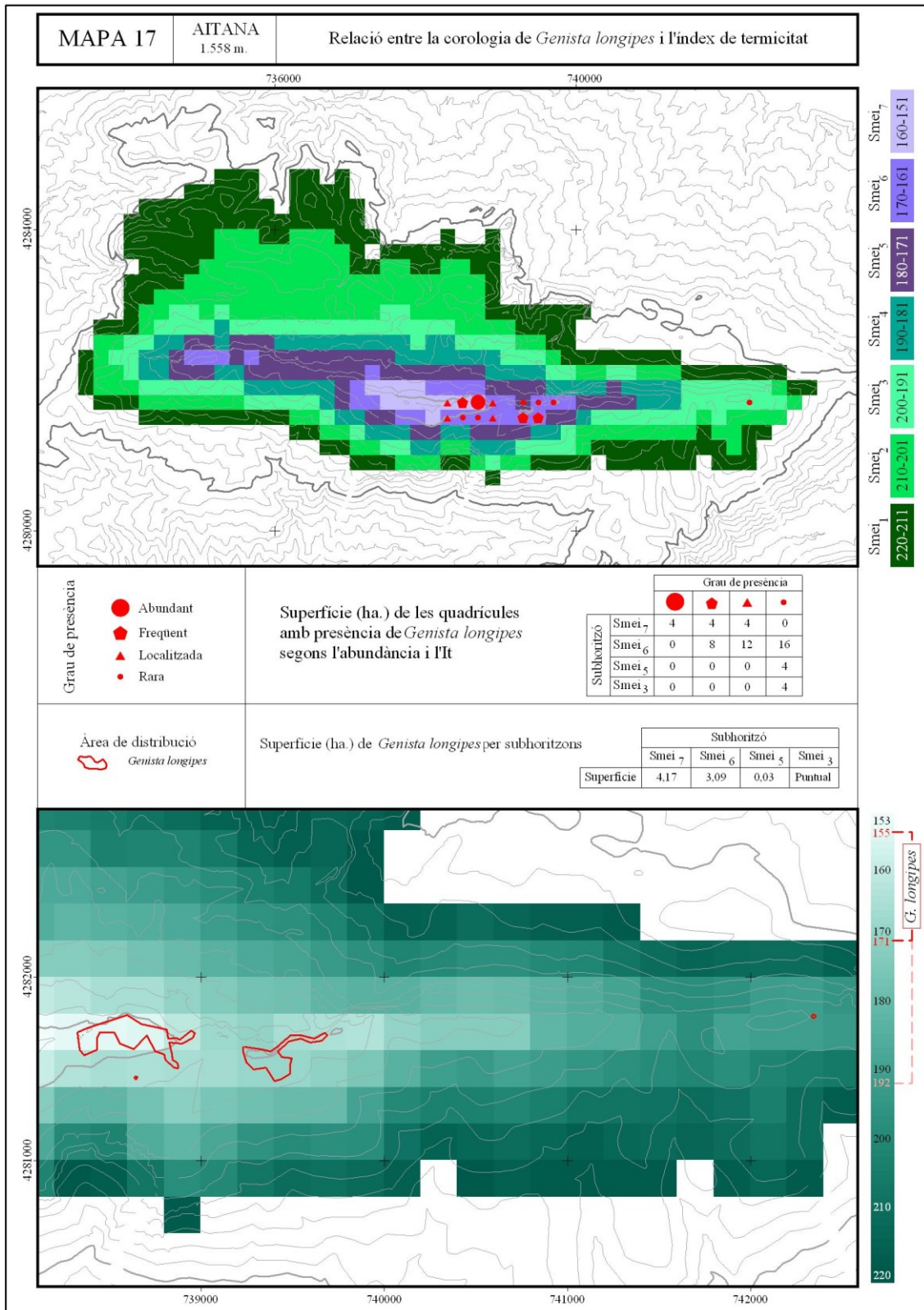
Pel seu torn *V. spinosa* presenta una menor plasticitat ecològica i se situa en un rang d'It que va del 155 al 187. Aquesta afirmació s'ha de matisar, ja que la població disjunta de *G. longipes* és la que fa que aquesta espècie estiga present en valors més alts d'It i per tant amb una aparent menor exigència tèrmica. La distribució de *V. spinosa*, s'estén per 6.51 ha del Smei<sub>7</sub>, 15.20 ha del Smei<sub>6</sub>, 3.56 ha del Smei<sub>5</sub>, i 0.74 del Smei<sub>4</sub>. Quant al grau de presència, és abundant en dues quadrícules del Smei<sub>7</sub> i en cinc del Smei<sub>6</sub>; freqüent en tres del Smei<sub>6</sub>; localitzada en una del Smei<sub>7</sub>, en tres del Smei<sub>6</sub>, en sis del Smei<sub>5</sub> i en dues del Smei<sub>4</sub>; i rara en una del Smei<sub>6</sub>, en tres del Smei<sub>5</sub> i en sis del Smei<sub>4</sub> (taula 6). Al contrari que *G. longipes* la seua localització espacial és més homogènia.

Taula 6. Nombre de quadrícules amb presència de *V. spinosa* segons el grau de presència i el subhoritzó.

	Abundant	Freqüent	Localitzada	Rara
Smei <sub>7</sub>	2		1	
Smei <sub>6</sub>	5	3	3	1
Smei <sub>5</sub>			6	3
Smei <sub>4</sub>			2	6

Font: elaboració pròpia.

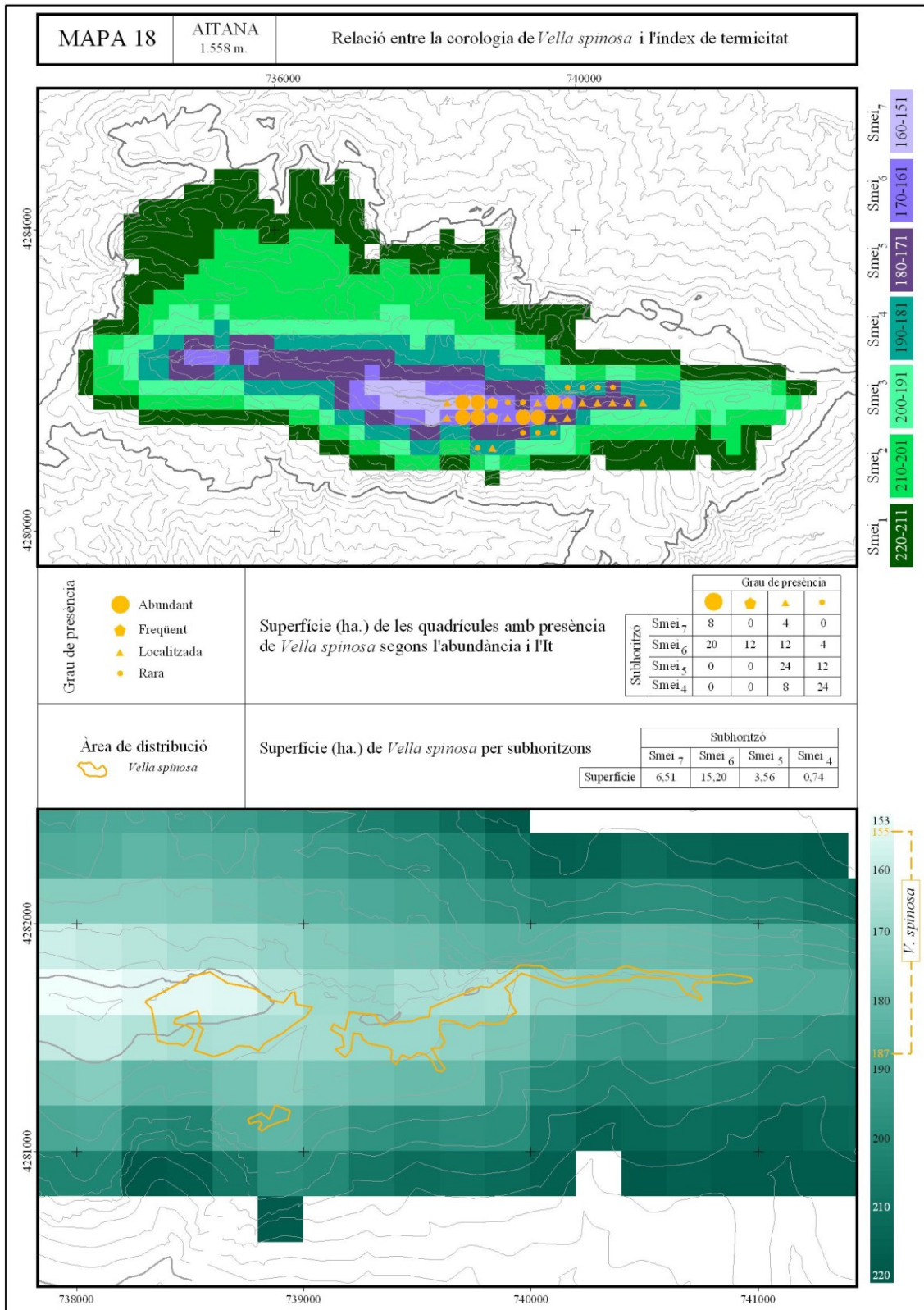
Mapa 17. Índex de termicitat i corologia de *G. longipes* a la serra d'Aitana.



Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI, Giménez et al., 2004; Marco et al., 2006, 2006b.



Mapa 18. Índex de termicitat i corologia de *V. spinosa* a la serra d'Aitana.



Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI, Giménez et al., 2004; Marco et al., 2006, 2006b.

### 6.3. Distribució potencial.

Mitjançant mapes i inventaris es pot conèixer l'àrea de distribució actual d'una espècie. Els models de distribució potencial (MDP) es basen en utilitzar l'àrea de distribució actual com a mostra per a valorar l'àrea de distribució potencial mitjançant un conjunt de variables que puguin explicar, al menys de manera parcial, les distribucions (Felicísimo, 2011). Per al nostre estudi les variables descriptives són les variables climàtiques aportades per l'ACDPI. Tot partint de la base que l'It presenta una elevada correlació amb la vegetació existent en un territori, proposem un MDP per a *G. longipes* i *V. spinosa* a la serra d'Aitana (mapes 19 i 20). A partir de la cartografia corològica a gran escala de què es disposa es planteja un model segons el qual podríem trobar ambdues espècies, segons els següents criteris:

- *G. longipes*.

Aquesta espècie té un grau de presència abundant en una quadrícula amb It de 156. Com que el valor més baix trobat a Aitana és molt semblant, 153, i situat a 400 m d'aquesta quadrícula, sembla plausible que no solament assignem la categoria abundant al valor 156. Així doncs considerem que *G. longipes* pot arribar a ser abundant a les quadrícules amb It comprés entre 153 i 156.

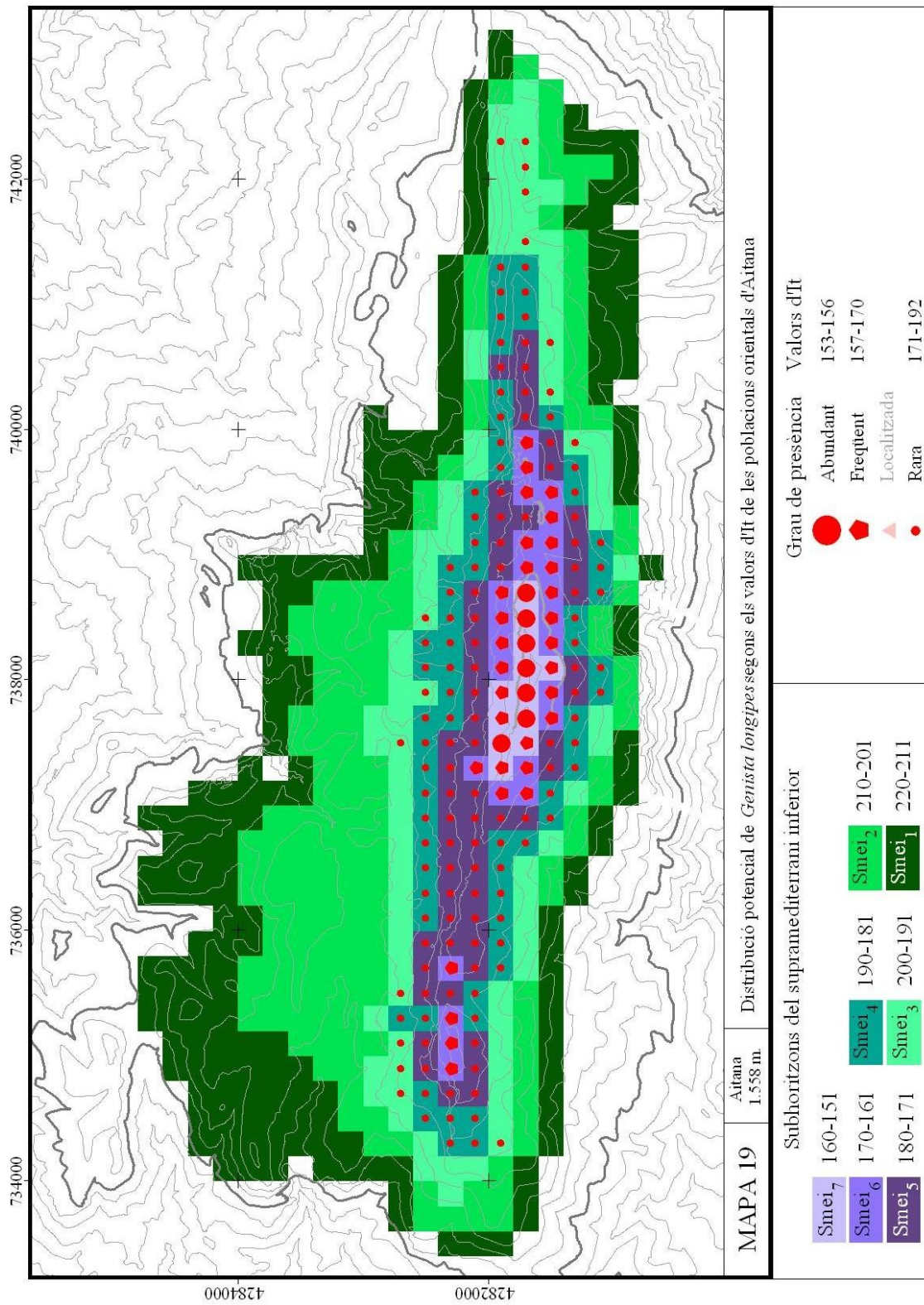
És freqüent amb It entre 155 i 170. Com que l'interval 153 al 156 el considerem abundant, assignem potencialitat freqüent als valors que van del 157 al 170.

Amb valors de 155, 162, 164 o 167 és localitzada. Com que 153-156 és abundant i 157-170 és freqüent, no la considerem localitzada en cap cas.

La presència de l'espècie és rara quan l'It és 166, 167, 171 o 192. Com que entre 157 i 170 li hem assignat la categoria de freqüent, la considerarem rara entre els valors 171 i 192.

El MDP mostra que *G. longipes* pot arribar a ser abundant en 7 quadrícules, totes elles del Smei<sub>7</sub>; freqüent en 31, de les quals 5 són del Smei<sub>7</sub> i 26 del Smei<sub>6</sub> (totes les d'aquest subhoritzó); i rara en 137, repartides en 56 del Smei<sub>5</sub> (totes), 65 del Smei<sub>4</sub> (totes) i 16 del Smei<sub>3</sub>.

Mapa 19. Distribució potencial de *G. longipes* a la serra d'Aitana.



Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI, Giménez et al., 2004; Marco et al., 2006, 2006b.

- *V. spinosa*.

El segon dels pulvínuls cartografiats és abundant amb valors d'It de 155, 156, 166, 167 i 170. Tornem a considerar que el valor 153 és idoni perquè la presència siga abundant i per tant assignem aquesta categoria als valors compresos entre 153 i 170.

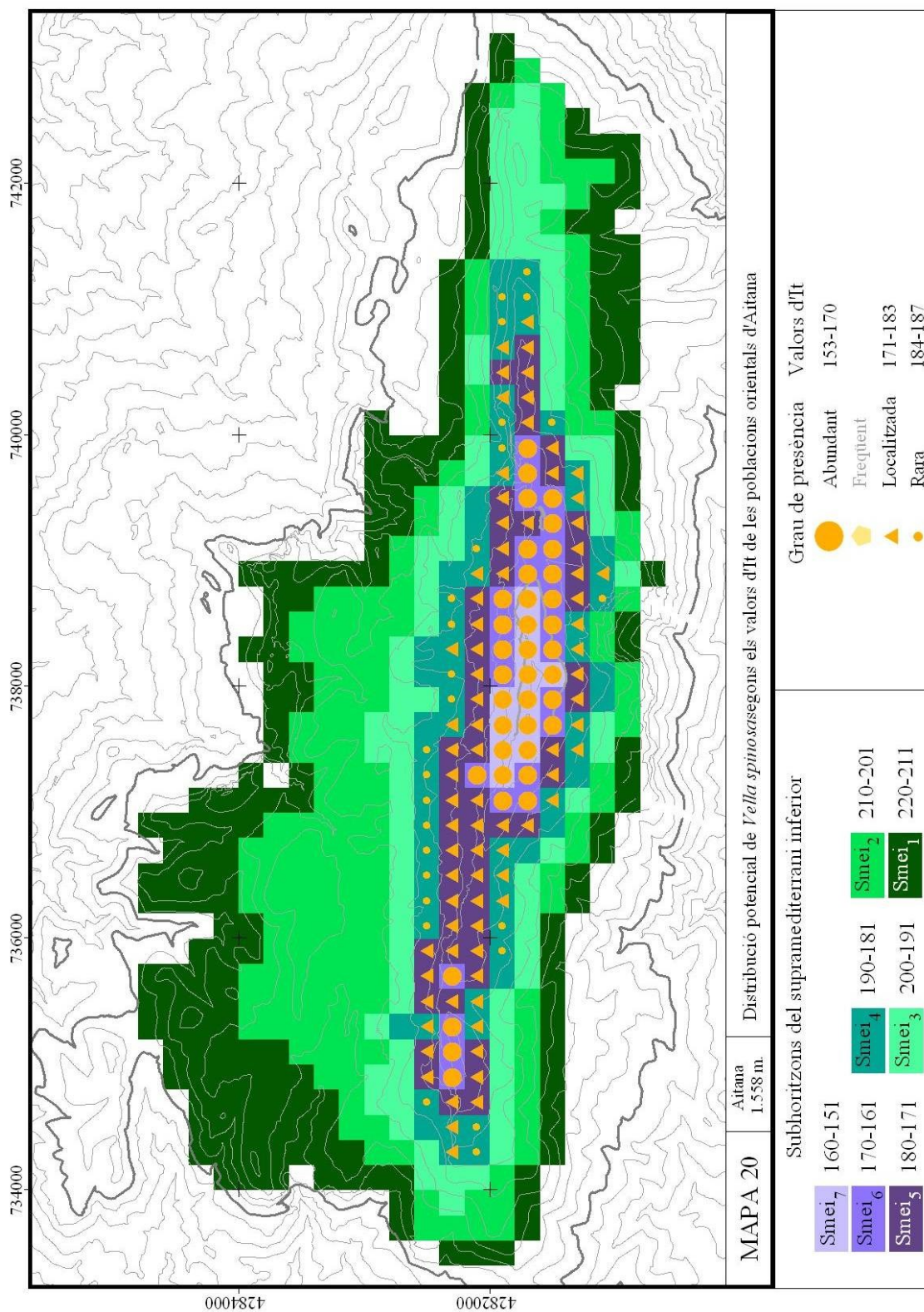
El grau de presència és freqüent entre It 162 i 167. Com que aquests valors entren dins de la categoria anterior, el grau freqüent no el representem.

Aquesta espècie és localitzada quan l'It és 155, 164, 167, 168, 171, 172, 174, 176 o 183. Aleshores la considerem localitzada entre els valors 171 i 183.

Quan l'It és 169, 171, 179, 180, 181, 182, 185 o 187 es considera rara, i per tant la considerarem així a les quadrícules amb It entre 184 i 187.

Segons el nostre MDP *V. spinosa* es pot considerar que arribe a abundant en 38 quadrícules (totes les del Smei<sub>7</sub>, 12, i totes les del Smei<sub>6</sub>, 26); localitzada en 79 quadrícules, de les quals 56 són del Smei<sub>5</sub> (totes les d'aquest subhoritzó) i 23 del Smei<sub>4</sub>; i rara en 26 també del Smei<sub>4</sub>.

Mapa 20. Distribució potencial de *V. spinosa* a la serra d'Aitana.



Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI, Giménez et al., 2004; Marco et al., 2006, 2006b.

#### **6.4. Cartografia de l'índex de termicitat, de les isoterms anuals i de gener i corologia de *Genista longipes* i *Vella spinosa*.**

Amb la pretensió d'esbrinar quines variables poden influir en la distribució de les dues espècies analitzades representem, juntament amb l'It i la corologia, les isoterms següents: mitjana anual, mitjana anual de les mínimes i de les màximes, mitjana de gener, mitjana de les mínimes i de les màximes de gener (mapes 21 al 26 per a la corologia de *G. longipes* i mapes 27 al 32 per a la de *V. spinosa*).

Els resultats obtinguts no mostren diferències rellevants excepte per al cas de la temperatura mitjana anual de les mínimes aplicada a la corologia de *G. longipes*. Efectivament, aquesta isoterma és compartida tant per la taca principal com per la petita població isolada al Smei<sub>3</sub> a què abans fèiem referència. Es tracta d'un conjunt que en el cens del 2004 comptava amb 5 individus, i amb 26 quan es va repetir el seu seguiment al 2014 (Marco *et al.*, 2016). A més, presenta com a particularitats que es troba a uns 2.5 km a l'est de la població principal i a una altitud de 1250 m, quan el límit altitudinal inferior de l'altra població el trobem a uns 1450 m.

Aquestes apreciacions fan pensar que la hipòtesi d'una reducció de l'hàbitat dels matollars xeroacàntics d'Aitana com a conseqüència del canvi climàtic no és vàlida, atenent a l'augment del nombre d'individus d'aquesta subpoblació que a priori semblava molt més vulnerable al canvi climàtic que la població principal. Si més no, fa pensar que la corologia de *G. longipes* no es pot determinar solament basant-nos en l'anàlisi de les temperatures i de l'It. Com ja va assenyalar Cavanilles (1795) el vent sembla factor rellevant per a la presència de camèfits pulvinulars. El botànic il·lustrat afirma no trobar eriçons (*Erinacea anthyllis*) que anuncien llocs freds quan puja al Montemayor, a la Calderona. En canvi sí que els troba a menor altitud a un lloc amb el significatiu topònim de El Ventisquero, de la qual cosa inferim dues coses: la gran capacitat interpretativa que Cavanilles tenia del complex ecològic; i que el factor vent s'ha de sumar a la variable tèrmica per a explicar l'absència o presència dels camèfits pulviniformes (Marco, 2006; Marco *et al.* 2016).

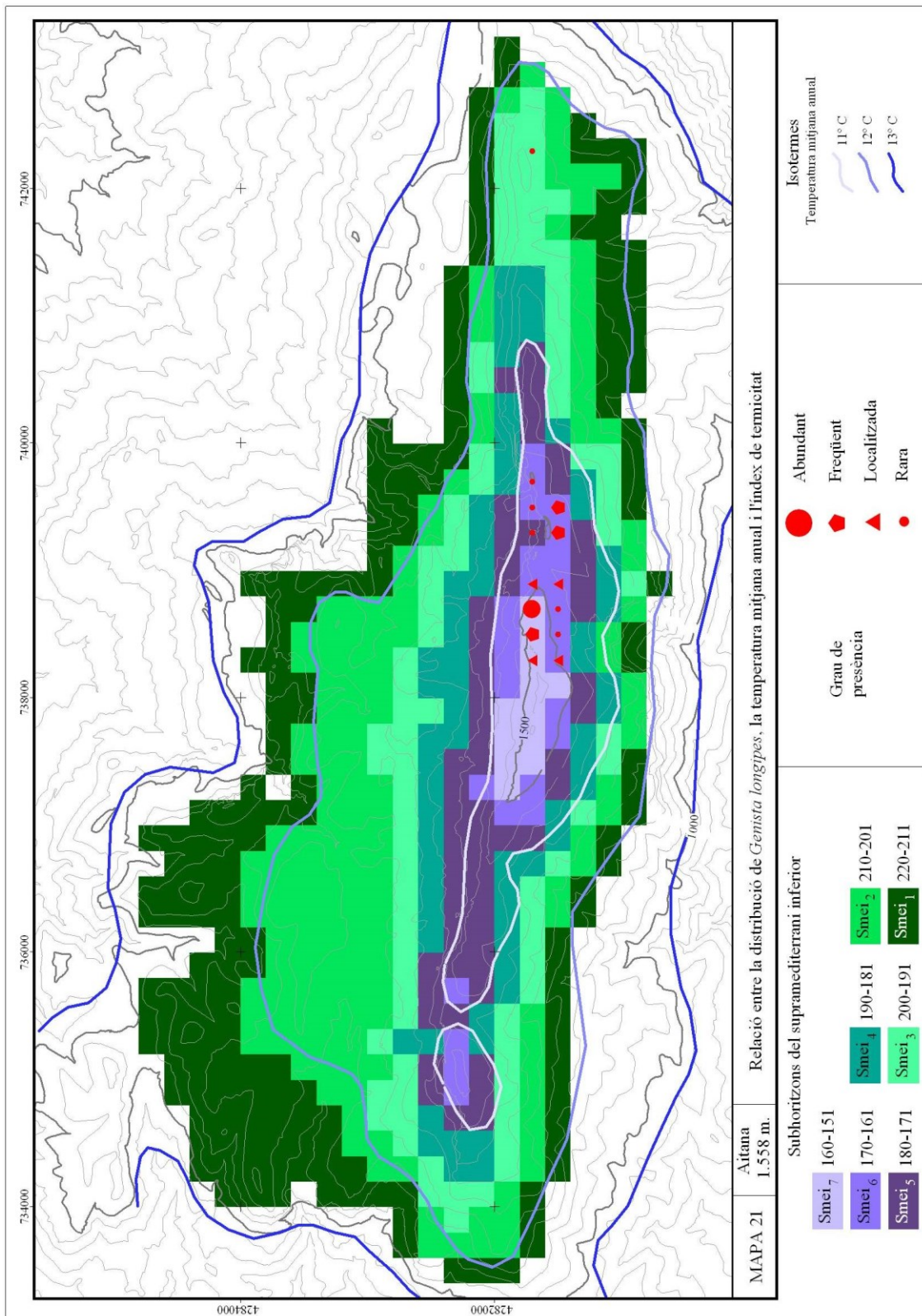
Efectivament, les espècies de l'alta muntanya mediterrània han de fer front a unes condicions ambientals particulars que no es donen a les muntanyes de les zones temperades, ja que, a banda de període hivernal amb baixes temperatures i neu, la

sequera estiuenca és un condicionant de primer ordre (Giménez-Benavides *et al.*, 2007). Aquest factor addicional suposa una limitació que condiciona el desenvolupament vegetatiu i que configura un marc evolutiu absolutament original (Giménez-Benavides *et al.*, 2011).

Al respecte d'això, el creixement pulvinular representa una protecció contra el vent —tant per la morfologia aerodinàmica com pel xerofitisme que comporta— i disminueix la sensibilitat de la planta a les oscil·lacions tèrmiques i a la radiació intensa (Folch *et al.*, 2002). Als llocs més eixuts i exposats a vents intensos sovinteja un menor recobriment vegetal i un índex d'àrea foliar més baix. El vent i l'abrasió que produeixen les partícules que arrossega sobre els teixits vegetals són un factor mecànic determinant per a la morfologia de moltes espècies. Així doncs, mitjançant convergència adaptativa, trobem a la part culminant d'Aitana diferents espècies que han adaptat solucions semblants per a colonitzar un indret amb unes condicions tan adverses. Cadascú dels pulvínuls és un "veritable illot de vida en el desert pedregós que l'envolta" que, gràcies a la seua estructura tancada, reté virosta i partícules minerals. Per a la serra d'Aitana s'ha calculat que la capa de fullaraca de la comunitat xeroacàntica pot arribar a suposar, només sota els coixins, 1.8 t/ha (si la coberta vegetal fos del 100% la xifra seria d'unes 12 t/h, és a dir, similar a la d'un alzinar ben desenvolupat). Si comparem els pulvínuls xeroacàntics amb la vegetació d'ambients alpins —tots dos sotmesos a condicions semblants encara que la presència de neu és molt major en aquests— els primers són més alts, amb forma esfèrica i punxosos, morfologia aquesta que fa pensar en una defensa contra l'herbivorisme. Pot ser indicatiu que a indrets on la vegetació xeroacàntica aconsegueix el seu màxim desenvolupament, com ara l'Atlas, l'augment de la ramaderia afavoreix les espècies pulvinulars (Terradas, 2001).

En qualsevol cas les exigències ecològiques de la població de *G. longipes* a Aitana encara resten per analitzar. La subpoblació més oriental presenta una gran heterogeneïtat pel que fa al seu estat, fins al punt que el 50% dels individus es troben en molt mal estat (Marco *et al.*, 2016). És per això que s'imposa un seguiment especial de l'espècie, i en concret d'aquesta subpoblació, ja que amb les dades actuals no es pot concretar si es tracta d'una població efímera, si és un grup relict d'altre que en el passat va arribar a ser més extens, o si es troba en plena disseminació.

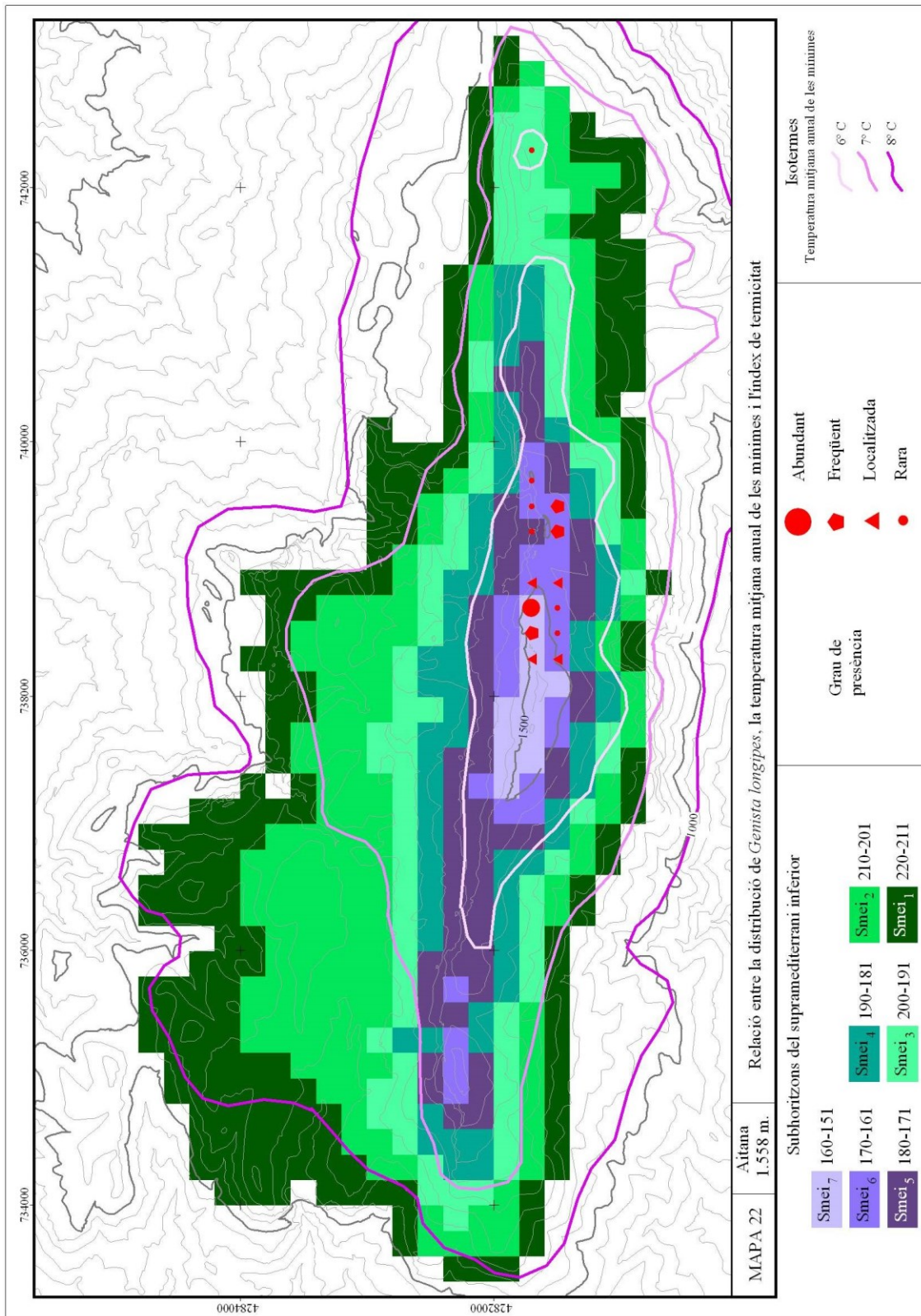
Mapa 21. Temperatura mitjana anual, índex de termicitat i corologia de *G. longipes* a la serra d'Aitana.



Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI, Giménez et al., 2004; Marco et al., 2006, 2006b.

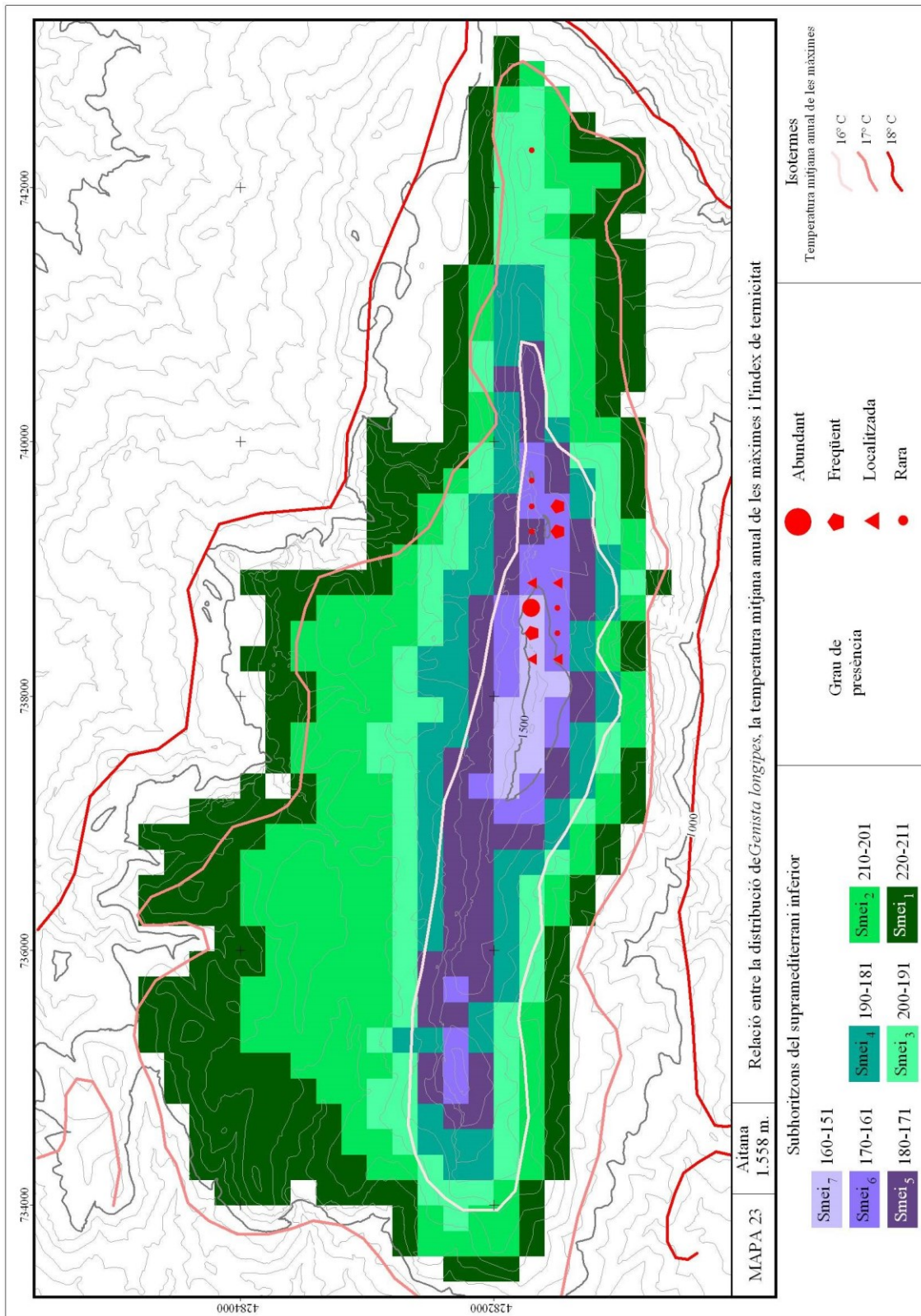


Mapa 22. Temperatura mitjana anual de les mínimes, índex de termicitat i corologia de *G. longipes* a la serra d'Aitana.



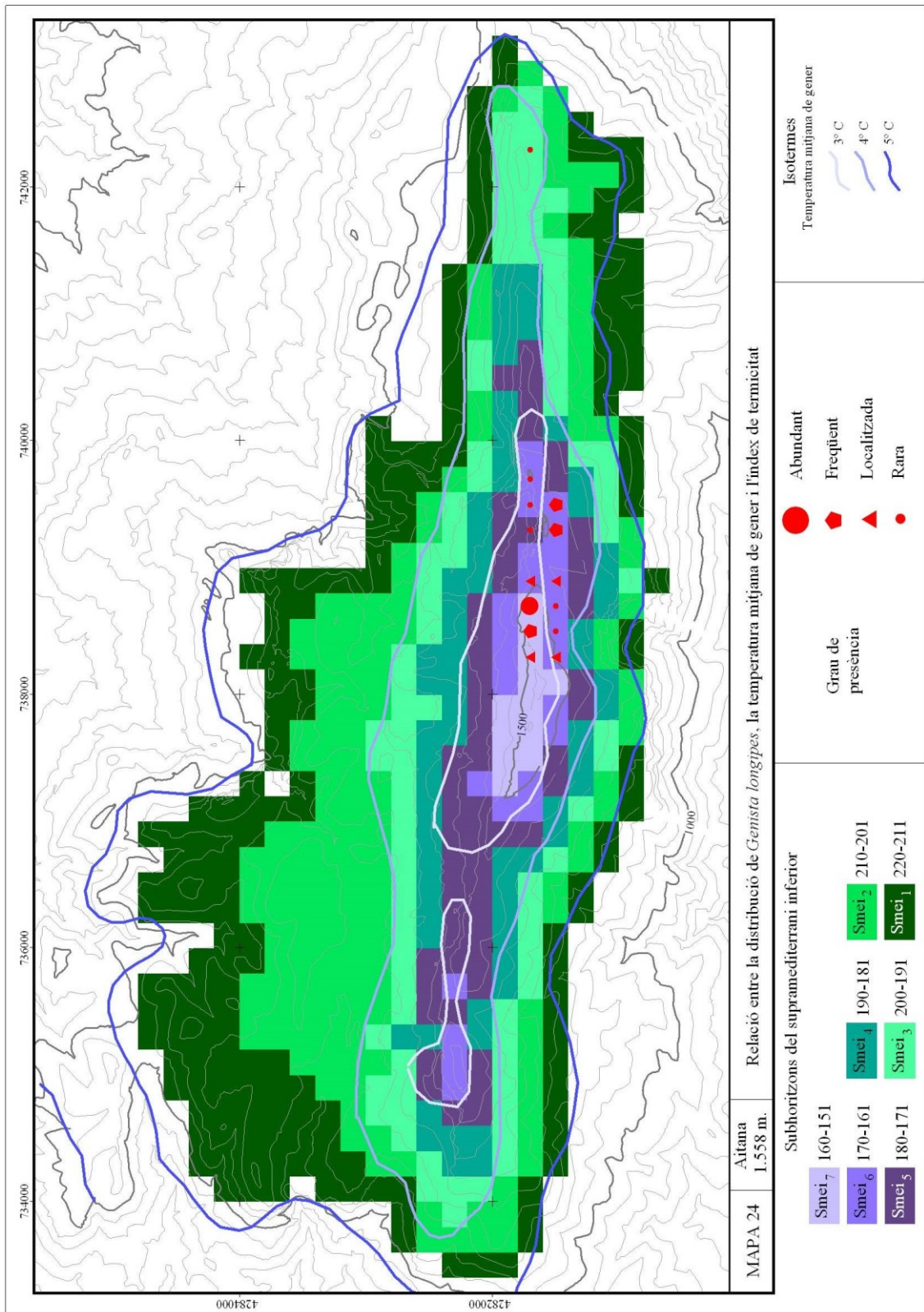
Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI, Giménez et al., 2004; Marco et al., 2006, 2006b.

Mapa 23. Temperatura mitjana anual de les màximes, índex de termicitat i corologia de *G. longipes* a la serra d'Aitana.



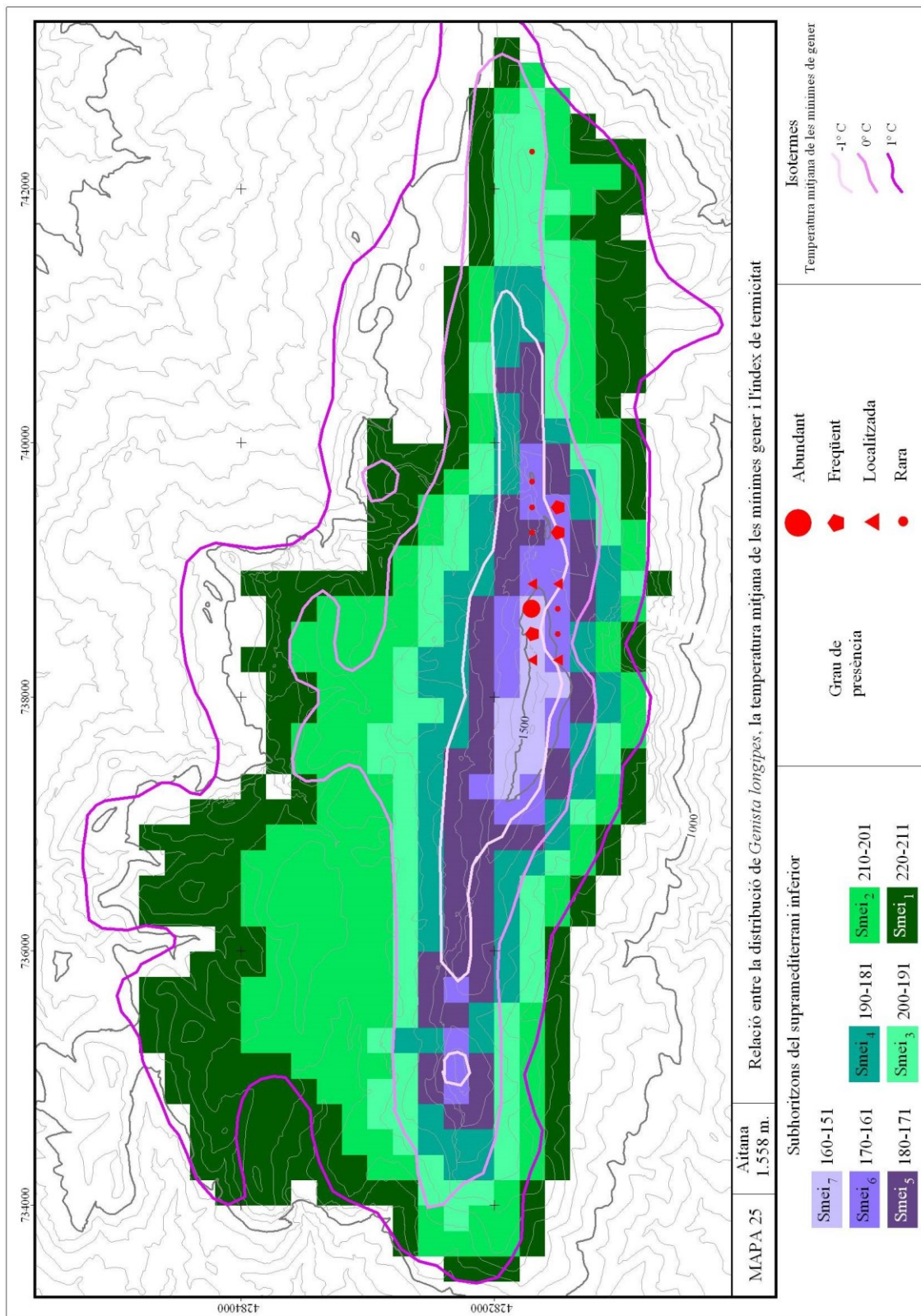
Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI, Giménez et al., 2004; Marco et al., 2006, 2006b.

Mapa 24. Temperatura mitjana de gener, índex de termicitat i corologia de *G. longipes* a la serra d'Aitana.



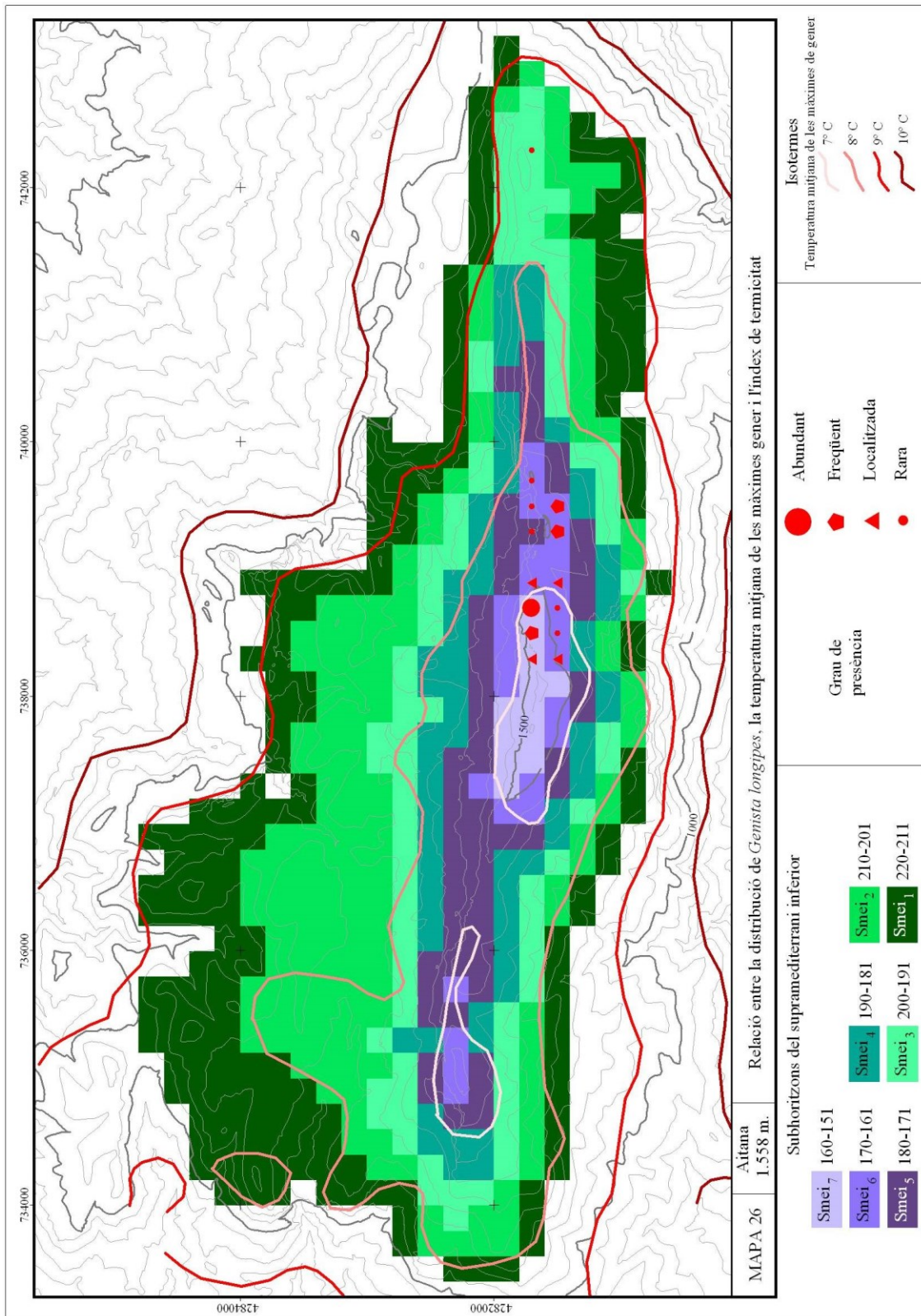
Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI, Giménez et al., 2004; Marco et al., 2006, 2006b.

Mapa 25. Temperatura mitjana de les mínimes de gener, índex de termicitat i corologia de *G. longipes* a la serra d'Aitana.



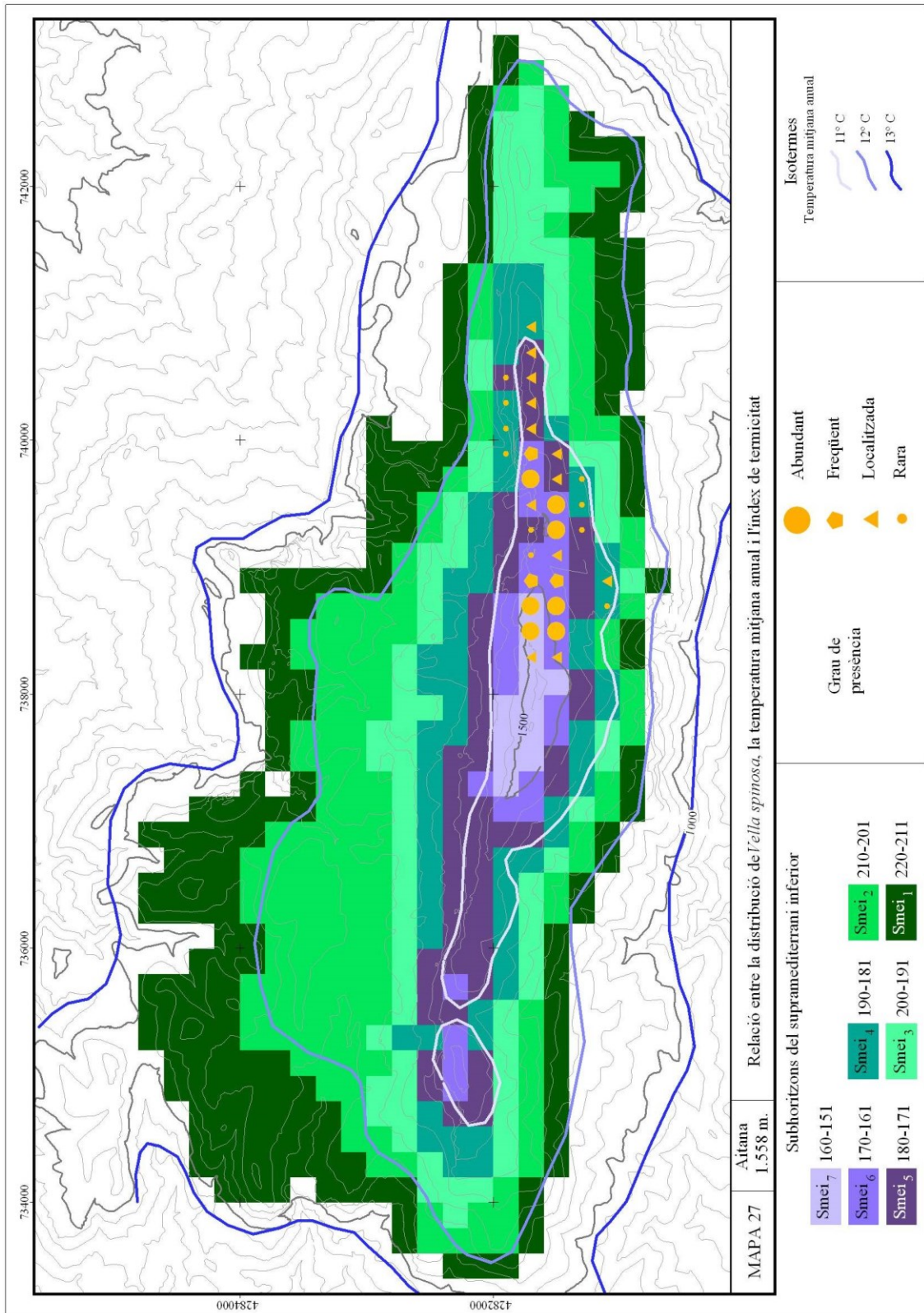
Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI, Giménez et al., 2004; Marco et al., 2006, 2006b.

Mapa 26. Temperatura mitjana de les màximes de gener, índex de termicitat i corologia de *G. longipes* a la serra d'Aitana.



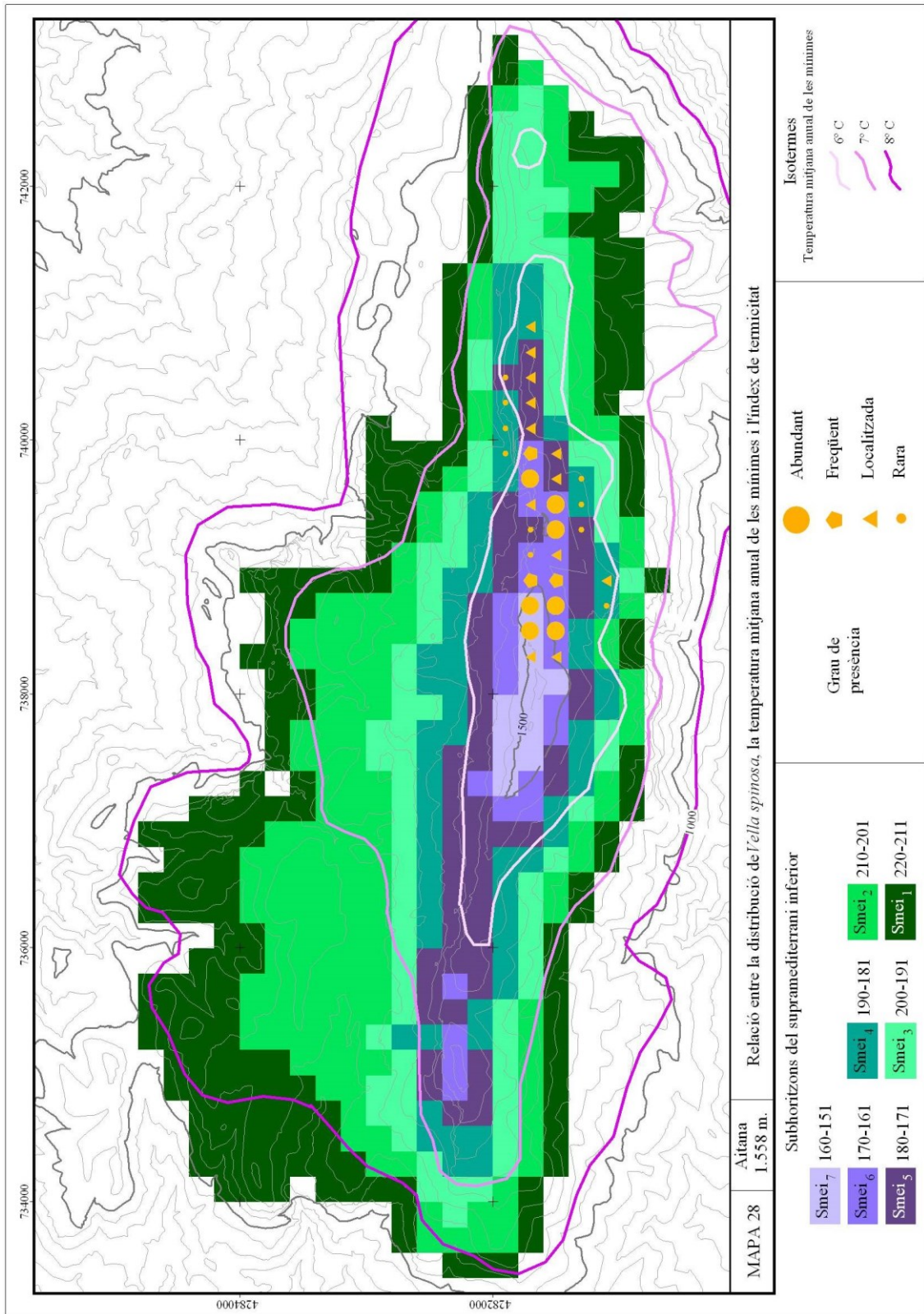
Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI, Giménez et al., 2004; Marco et al., 2006, 2006b.

Mapa 27. Temperatura mitjana anual, índex de termicitat i corologia de *V. spinosa* a la serra d'Aitana.



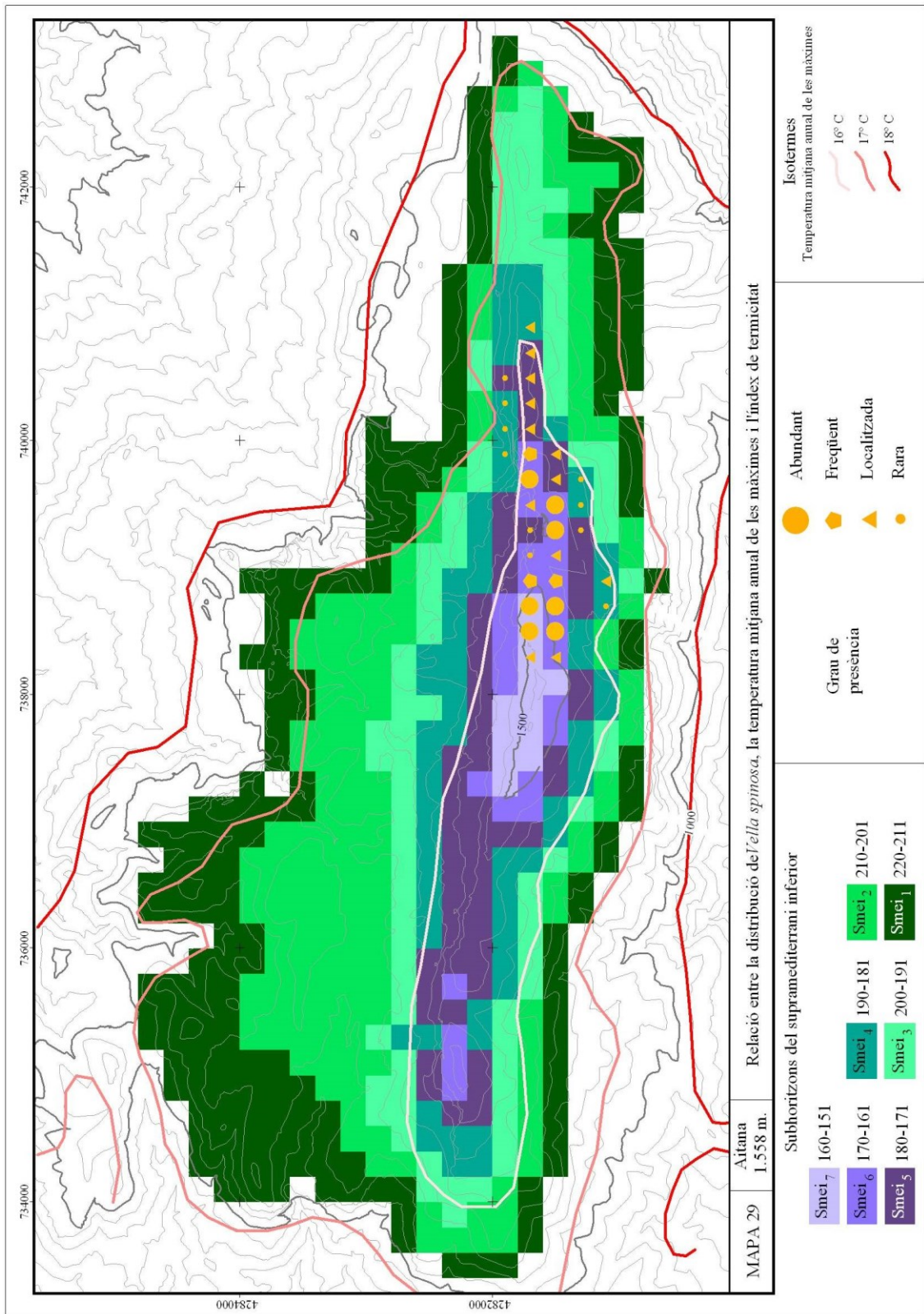
Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI, Giménez et al., 2004; Marco et al., 2006, 2006b.

Mapa 28. Temperatura mitjana anual de les mínimes, índex de termicitat i corologia de *V. spinosa* a la serra d'Aitana.



Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI, Giménez et al., 2004; Marco et al., 2006, 2006b.

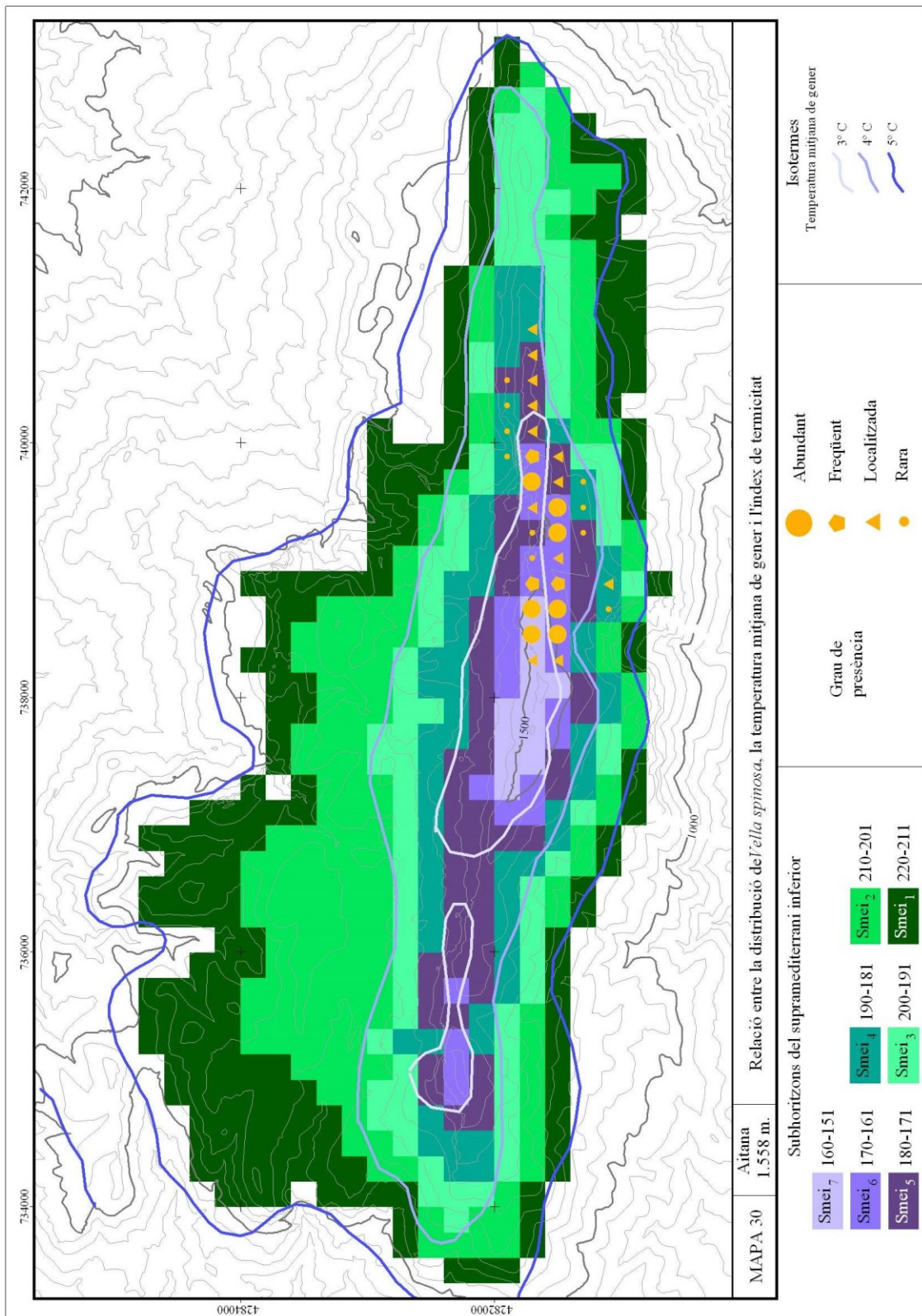
Mapa 29. Temperatura mitjana anual de les màximes, índex de termicitat i corologia de *V. spinosa* a la serra d'Aitana.



Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI, Giménez et al., 2004; Marco et al., 2006, 2006b.

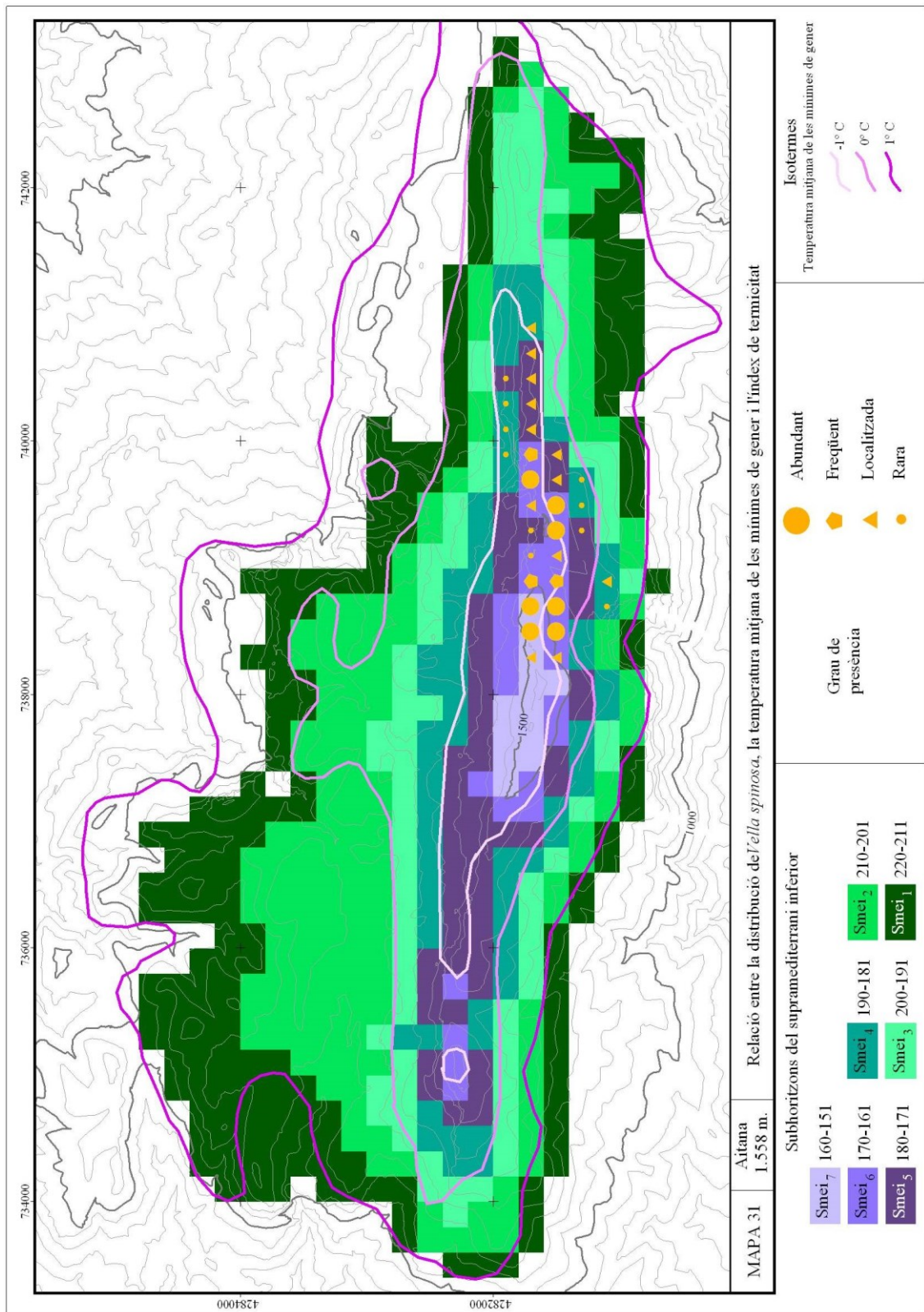


Mapa 30. Temperatura mitjana de gener, índex de termicitat i corologia de *V. spinosa* a la serra d'Aitana.



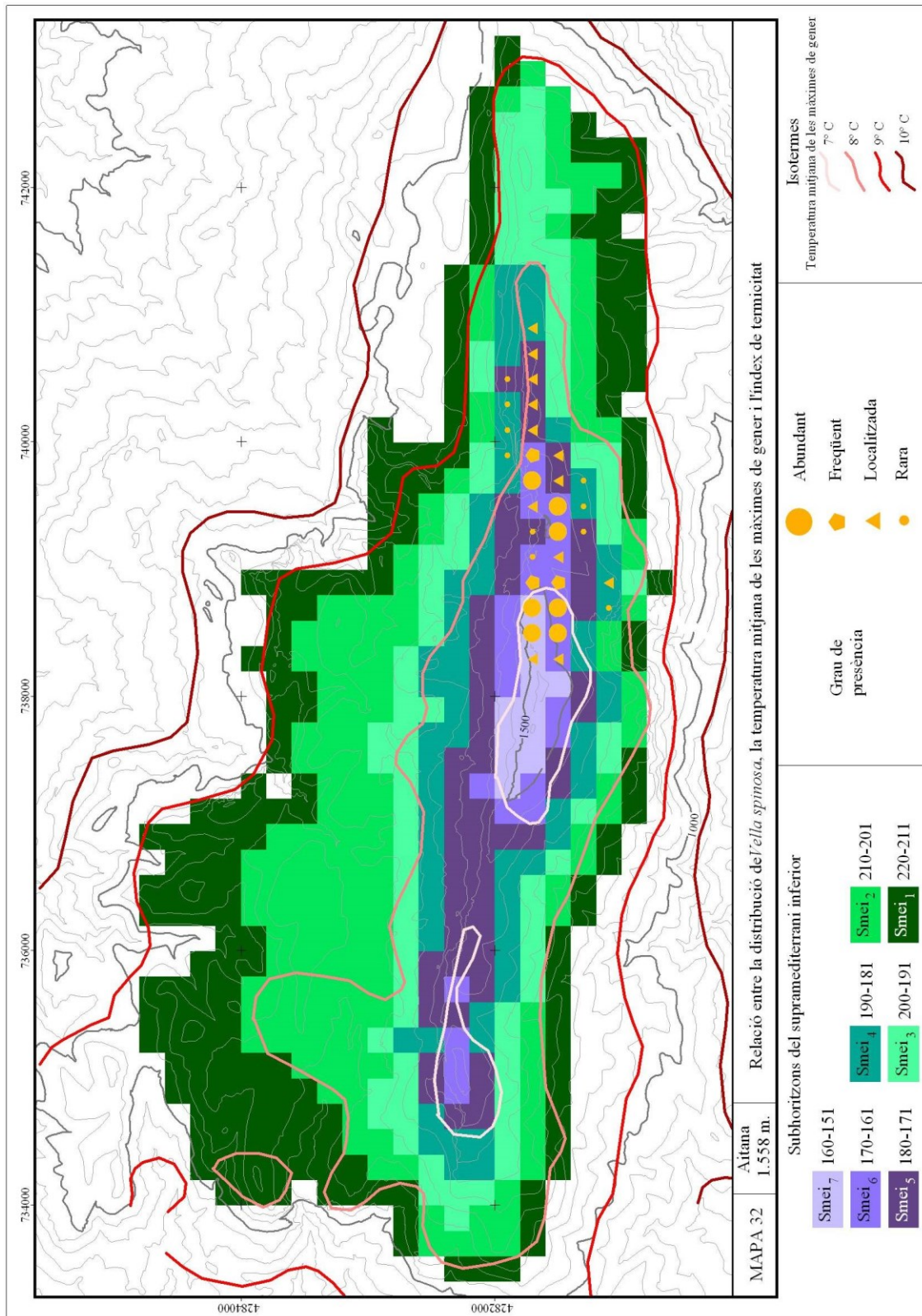
Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI, Giménez et al., 2004; Marco et al., 2006, 2006b.

Mapa 31. Temperatura mitjana de les mínimes gener, índex de termicitat i corologia de *V. spinosa* a la serra d'Aitana.



Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI, Giménez et al., 2004; Marco et al., 2006, 2006b.

Mapa 32. Temperatura mitjana de les màximes de gener, índex de termicitat i corologia de *V. spinosa* a la serra d'Aitana.



Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI, Giménez et al., 2004; Marco et al., 2006, 2006b.

## 6.5. Escenaris de canvi climàtic.

Les àrees de distribució de moltes espècies estan desplaçant-se cap a latituds o altituds majors, com a conseqüència del canvi climàtic, fins a llocs amb condicions favorables (Chen *et al.*, 2011). Aquest desplaçament es produeix, tot seguint els canvis ambientals, mitjançant dinàmiques colonitzadores en la vora d'avanç —el límit septentrional o altitudinal superior, és a dir, allà on les condicions climàtiques seran les més aptes per a l'espècie sotmesa a desplaçament— i amb processos d'extinció al perímetre de reraguarda —que es correspon amb el límit meridional o de menor altitud. Però fins i tot les espècies que mantenen la seua àrea de distribució quan es veuen sotmeses a canvis climàtics bruscos poden patir extincions locals dins de la seua àrea. A més, les zones properes al cantell de reraguarda són les que acullen les poblacions més singulars i rellevants per a la conservació de la identitat genètica i evolutiva de les espècies (Escudero *et al.*, 2015). Per altra part Hampe (2015) assenyala que moltes poblacions d'aquesta vora de reraguarda han resistit als grans canvis climàtics del passat, fent referència a espècies arbòries de zones de muntanya de la península Ibèrica.

A les zones fredes de muntanya l'increment de les temperatures mínimes redueix la importància de danys pel fred, amplia el període lliure de gelades i el temps en què hi ha activitat vegetativa. D'aquesta manera s'afavoreix la colonització ascendent d'espècies pròpies de cotes més baixes. L'expansió de la vegetació llenyosa i arbustiva contribueix a la seua pròpia consolidació perquè la seua capacitat d'absorció de radiació solar respecte de la d'una comunitat herbàcia és major, i per tant augmenta la temperatura (Sanz-Elorza, 2015).

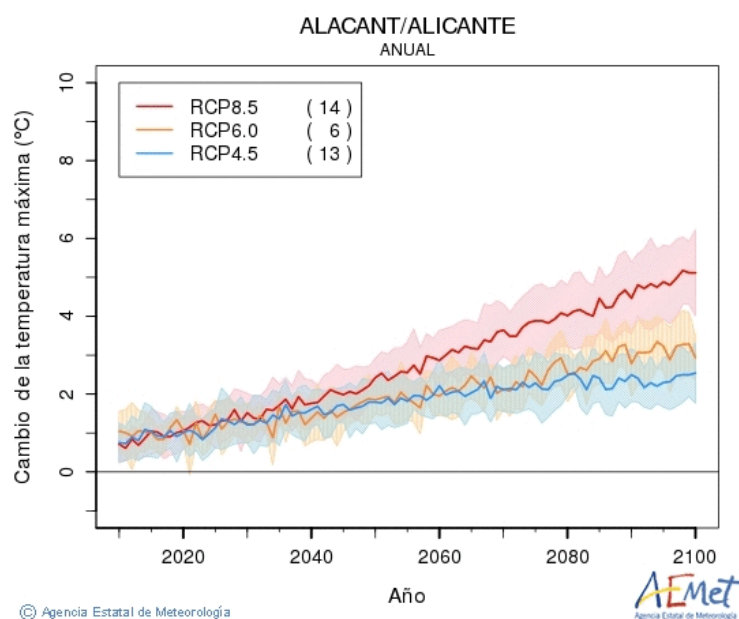
Els dos paràgrafs anteriors donen peu a la discussió sobre la situació de *G. longipes* i *V. spinosa* a l'Aitana, i en especial per a formular futures metodologies de seguiment de la subpoblació isolada de la primera d'elles. Sembla clar que aquests individus són el perímetre de reraguarda perquè se situen a una altitud menor que la població principal, però, vol dir això que aquesta taca està en procés d'extinció? Si comparem els censos de 2004 i 2014 (Marco *et al.*, 2016) la resposta sembla negativa. També hem de considerar una hipotètica expansió d'espècies llenyoses que podrien ocupar els indrets on ara hi trobem matollars xeroacàntics, i per tant alterar les condicions d'aquests llocs. En definitiva, com més parem atenció a la qüestió, més interrogants ens sorgeixen.

Tot aprofitant que disposem d'una òptima cartografia de l'It i amb resolució de 200 m, d'una banda, i de la corologia de *G. longipes* i *V. spinosa* amb precisió submètrica, d'altra banda, assagem un escenari de canvi climàtic i la seua cartografia a la serra d'Aitana i per al conjunt de les zones cacuminals de la província.

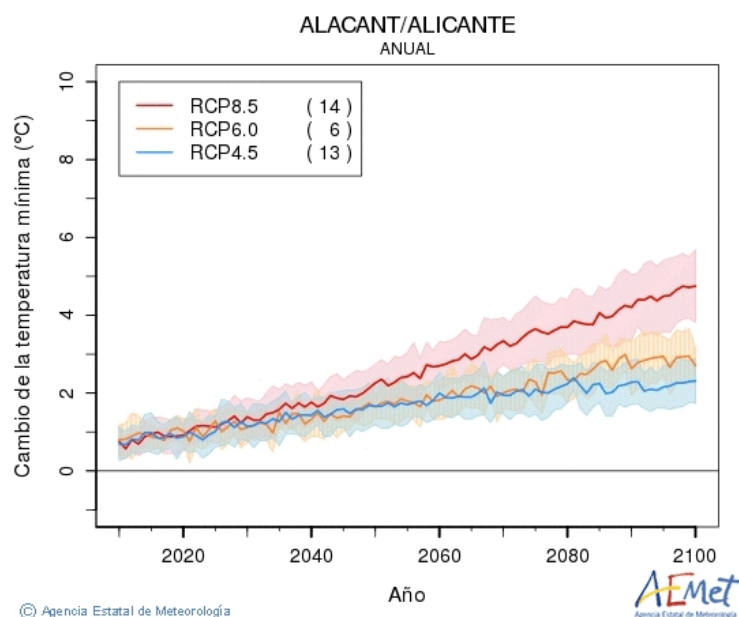
Per a generar el nostre escenari no ens ha convençut la metodologia que al respecte han seguit altres autors. Fernández-Cancio *et al.* (2012) argumenten que cap escenari regional és més precís i exacte que els proposats per ells i consideren sempre un augment màxim de temperatura de 2 °C per al 2050, aplicat a la distribució de *Quercus suber* L., perquè amb un major increment tèrmic els models mostren una desestabilització climàtica impredecible . En una altra temptativa (Gil *et al.*, 2008) s'augmenta la temperatura en 2 °C per a cartografiar l'It, però sense diferenciar els increments tèrmics aplicats a T, m i M.

D'altra banda l'Agencia Estatal de Meteorologia (AEMet) ofereix l'evolució temporal dels valors mitjans de temperatura màxima i mínima anuals segons tres Trajectòries de Concentracions Representatives<sup>10</sup> (TCR): RCP8.5, RCP6.0 i RCP4.5, amb diferents valors de forçament radiatiu total per a l'any 2100 (8.5, 6.0 i 4.5 W/m<sup>2</sup>, respectivament).

Figura 9. Canvi de la temperatura mitjana màxima i mínima per a Alacant segons diferents Trajectories de Concentracions Representatives.



<sup>10</sup> De l'anglès *Representative Concentration Pathways*, o RCP.



Font: [http://www.aemet.es/ca/serviciosclimaticos/cambio\\_climat](http://www.aemet.es/ca/serviciosclimaticos/cambio_climat)

Les dades oferides per a Alacant assenyalen valors molt diferents segons es consulte una TCR o una altra, a banda de que no es poden determinar els augments tèrmics per a les variables que participen en el càlcul de l'Ít. Les conclusions a què arriben Morata *et al.* (2014), estudi en el qual es troben les dades d'Alacant, de Castro *et al.* (2005) o Brunet *et al.* (2009) són massa generals com per a que puguem considerar-les en el nostre assaig.

En definitiva, sembla difícil adjudicar increments concrets i diferenciats per a T, m i M. A més, si considerem que l'àrea ocupada pel supramediterrani a Alacant es distribueix en diferents taques, també hauríem de considerar els factors latitud i continentalitat per a matisar en cadascun dels sectors els hipotètics increments aplicats a les tres variables que intervenen en el càlcul de l'Ít. Per tot això, encara que siga com una aproximació a la qüestió de la influència del canvi climàtic en la modificació del supramediterrani i en la distribució potencial de *G. longipes* i *V. spinosa*, trobem que pot resultar vàlida la proposta que atén als següents criteris:

*G. longipes* està present en quadrícules que tenen valors d'Ít entre 155 i 192, és a dir, que aquesta espècie ja no es troba quan l'Ít és igual o superior a 193. Respecte al valor mínim recordem que tant per la poca diferència que hi ha entre el 153 i el 155 com per la seua proximitat espacial, considerem l'Ít 153 apte per a aquesta espècie. Doncs bé, el valor 153 a Aitana està present en dues quadrícules, i en les dues resulta dels següent

registres tèrmics: T = 10.3 °C, m = -1.7 °C i M = 6.7 °C. El valor 193 hi apareix en 8 quadrícules amb els següents valors mitjans: T = 11.6 °C, m = -0.2 °C i M = 7.9 °C. Aleshores hem considerat un increment tèrmic de 1.3 °C per a T, de 1.5 °C per a m i de 1.2 °C per a M, ja que és el que determina que les quadrícules amb It de 153 augmenten fins el 193.

Quant a *V. spinosa*, ja no està present quan l'It assoleix el valor de 188. Les sis quadrícules que presenten aquest registre es caracteritzen pels següents valors mitjans de T, m i M: 11.4 °C, -0.4 °C i 7.9 °C. Per tant l'increment tèrmic que suposaria arribar al valor 188 com a mínim per a l'Aitana és de 1.1 °C per a T, 1.3 °C per a m i 1.2 °C per a M.

Taula 7. Valors mitjans de T, m i M dels valors d'It 193 i 153 i la seua diferència (°C).

		T	m	M
<i>G. longipes</i>	193	11.6	-0.2	7.9
	153	10.3	-1.7	6.7
	Diferència	1.3	1.5	1.2
<i>V. spinosa</i>	188	11.4	-0.4	7.9
	153	10.3	-1.7	6.7
	Diferència	1.1	1.3	1.2

Font: elaboració pròpia

Els resultats poden resultar semblants ja que els augments de T, m i M que provocarien una teòrica extinció de cadascuna de les espècies també ho són (mapa 33). Però si analitzem amb deteniment la situació de l'horitzó supramediterrani inferior basant-nos en la subdivisió interna, sembla que es troben matisos notables i que els subhoritzons aporten informació útil quan treballem a gran escala. Si solament parem atenció al conjunt, és a dir, a l'horitzó, un escenari i altre difereixen en 28 quadrícules (112 ha). Si ens fixem en els subhoritzons és aleshores que ja podem assenyalar, per exemple, que *Smei<sub>4</sub>* ha desaparegut en el primer dels escenaris; o que més de la meitat de les quadrícules pertanyen al *Smei<sub>1</sub>* i per tant la major part es troba en contacte directe amb l'horitzó mesomediterrani superior. Esperem que en futures aplicacions de la cartografia dels subhoritzons, aquests puguin ajudar a entendre millor allò que vulguem analitzar.

Per al conjunt de les zones cacuminals de la província hem aplicat l'escenari escenari que provocaria la hipotètica extinció de *G. longipes* (mapa 34). En aquesta

situació s'observa que, a banda de la presència del supramediterrani a Aitana, ja representada en el mapa 33, solament hi ha altres tres quadrícules d'aquest horitzó al Menejador. Si l'extensió a Aitana ja és ben minsada, amb la major part ja en contacte amb el mesomediterrani com ja s'ha assenyalat, al Menejador es pot definir com irrellevant.

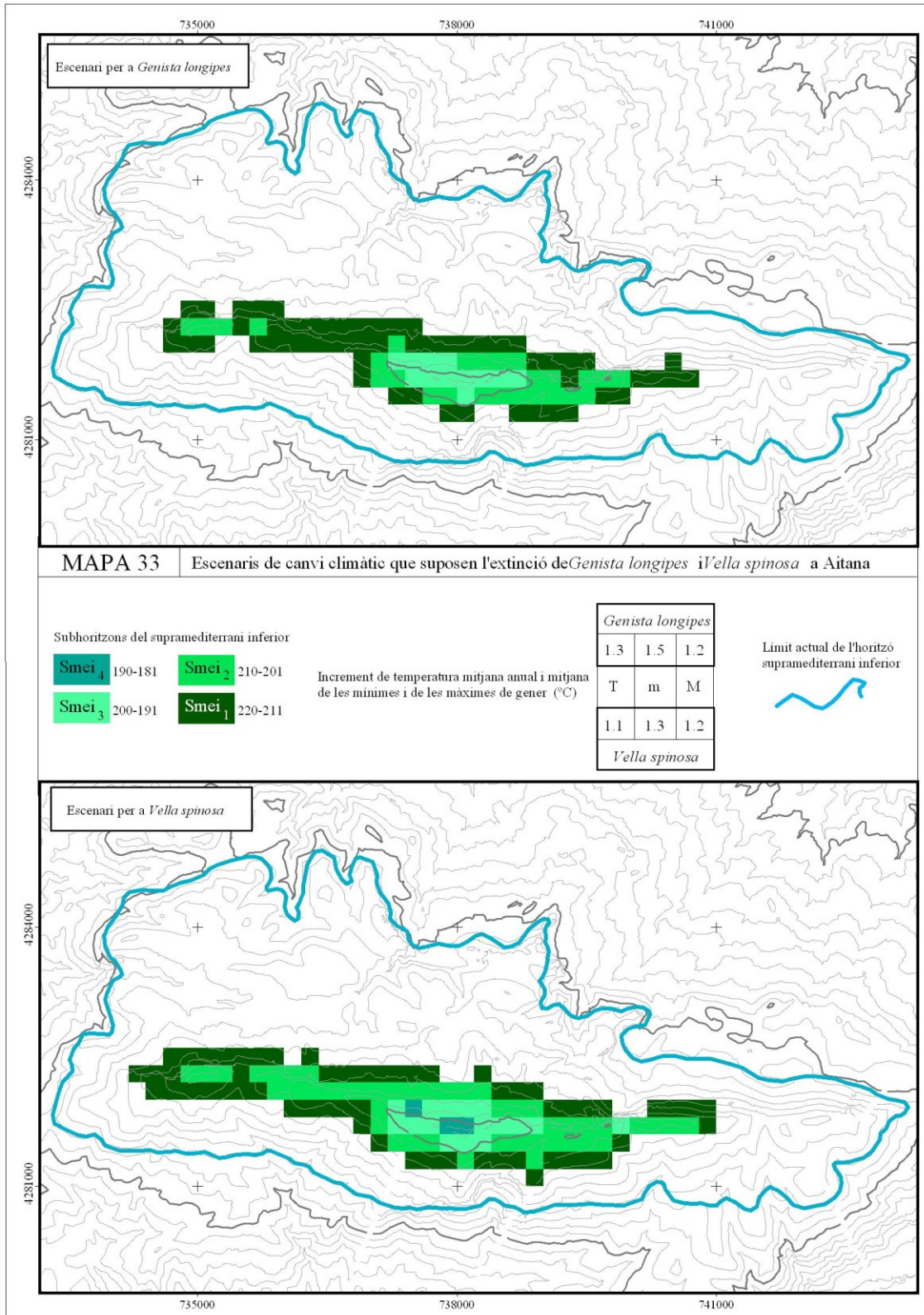
Taula 8. Nombre de quadrícules de cadascun dels subhoritzons en l'actualitat i en els dos escenaris de canvi climàtic proposats.

	Situació actual	Escenari <i>G. longipes</i>	Escenari <i>V. spinosa</i>
Smei <sub>7</sub>	12	-	-
Smei <sub>6</sub>	26	-	-
Smei <sub>5</sub>	56	-	-
Smei <sub>4</sub>	65	-	3
Smei <sub>3</sub>	84	12	16
Smei <sub>2</sub>	150	26	45
Smei <sub>1</sub>	177	56	58
TOTAL	570	94	122

Font: elaboració pròpia.

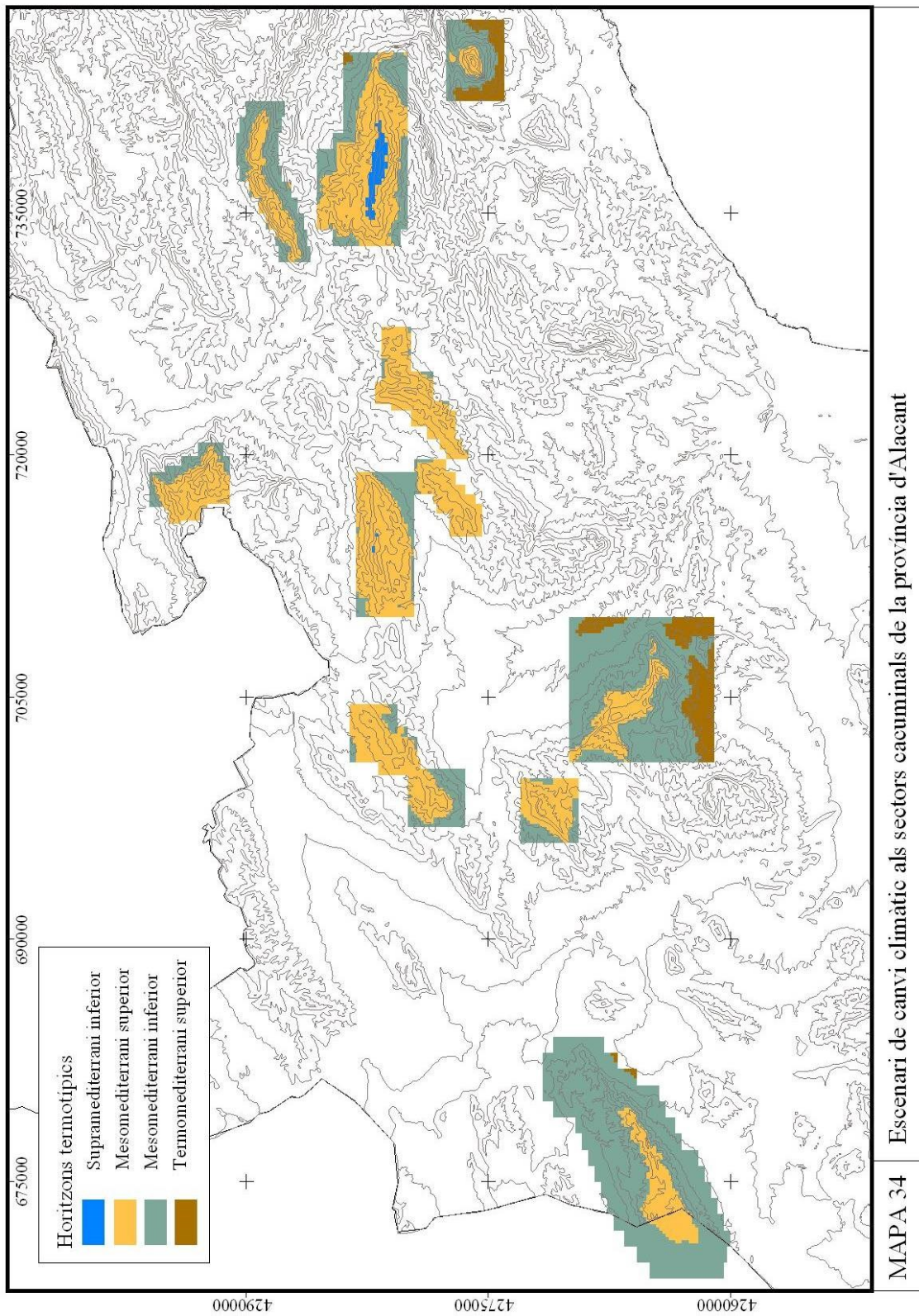


Mapa 33. Escenaris de canvi climàtic que suposarien l'extinció de *G. longipes* i *V. spinosa* a la serra d'Aitana.



Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI.

Mapa 34. Escenari de canvi climàtic als sectors cacuminals de la província d'Alacant.



Font: elaboració pròpia a partir d'ACDPI.

## **7. Conclusions.**

L'Atlas Climàtic Digital de la Península Ibèrica ofereix la possibilitat, de manera gratuïta, de disposar d'una base de dades climàtica per a tot el territori peninsular, encara que la importació de la informació pot requerir molt de temps. En qualsevol cas sembla ser la millor alternativa quan no es pot desenvolupar un model propi. La modelització climàtica realitzada per Miró (2013) potser és més adequada per a l'anàlisi de l'It de la nostra província, però no hi ha possibilitat de descarregar-la.

Aquestes dues modelitzacions climàtiques són una font d'informació que hauria de considerar-se com a cartografia base per a qualsevol estudi en què s'haja d'analitzar el clima, en especial per a treballs a escala regional i local.

Amb la informació aportada per l'ACDPI es pot calcular l'índex de termicitat proposat per Rivas-Martínez amb una resolució espacial de 200x200m, així com qualsevol altra cartografia referida a les variables oferides (temperatures, precipitació i insolació). És per això que amb les capes vectorials generades fins ara podem ampliar l'anàlisi dels sectors cacuminals de la província d'Alacant.

Els resultats obtinguts milloren de manera molt notable la cartografia bioclimàtica realitzada amb altres mètodes, de manera que es calcula de forma molt precisa la situació, extensió i límits dels horitzons termotípics existents als sectors analitzats. A banda d'aquests paràmetres s'obté una caracterització interna des horitzons molt interessant.

Proposem una divisió interna per als horitzons termotípics, els subhoritzons. Per a estudis corològics a gran escala resulta convenient afegir matisacions quantitatives i qualitatives que d'altra manera no es reflecteixen a la cartografia.

La cartografia de l'It obtinguda, per la seua resolució espacial, sembla casar a la perfecció amb els treballs realitzats pel grup d'investigació MedSPai referents a la corologia de determinades espècies vegetals. S'aconsegueix així una cartografia fitoclimàtica de detall molt interessant, ja que es refereix a espècies de notable interès i que a més es troben en posició finícola a la serra d'Aitana. A banda d'això, i segons recents estudis (Miró, 2013, 2016) sembla que hi ha un major escalfament a aquestes zones cacuminals. D'això s'infereix que l'hàbitat d'un bon nombre d'endemismes està amenaçat pel canvi climàtic.

Les dues propostes d'escenaris de canvi climàtic s'han realitzat amb una metodologia poc habitual, si no innovadora. Efectivament, els escenaris s'han fet atenent a quin és l'increment tèrmic que pot provocar l'extinció de *G. longipes* i *V. spinosa* a la serra d'Aitana. Com que aquestes espècies es troben en posició finícola, pel que fa a la latitud, i al límit septentrional de la seua distribució a la península Ibèrica, són idònies per a fer un seguiment de les seues poblacions i completar els censos realitzats fins ara (Giménez et al., 2004; Marco et al., 2016). Al respecte, es fa necessari l'establiment d'una metodologia acurada per al seguiment de les poblacions, i en especial de la subpoblació més oriental de *G. longipes*.

## 8. Bibliografía.

Azorín, D., Jover, N. (2008): "Cartografía corològica d'*Erinacea anthyllis* Link a la serra de l'Algaiat (la Romana), *Revista del Vinalopó*, 11, 101-112.

Azorín, D., Jover, N. (2010): "Aproximación metodológica para la caracterización del piso supramediterráneo en la provincia de Alicante". En GIMÉNEZ, P., MARCO, J.A., MATARREDONA, E., PADILLA, A., SÁNCHEZ, A. (eds.): *Biogeografía. Una ciencia para la conservación del Medio*. Asociación de Geógrafos Españoles. Murcia, 335-343.

Brunet, M., Casado, M. J., de Castro, M., Galán, P., López, J. A., Martín, J. M., Pastor, A., Petisco, E., Ramos, P., Ribalaygua, J., Rodríguez, E., Sanz, I., Torres, L. (2009): Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España, Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Calbó, J. (2015): "Per què canvia, el clima?". *Mètode. Revista de Difusió de la Investigació*, 87, Universitat de València, 21-26.

Cavanilles, A. J. (1795-1797): *Observaciones sobre la historia natural, geografia, agricultura, poblacion y frutos del Reyno de Valencia*, facsímil de la Ed. de la Imprenta Real en Madrid, de Albatros Ediciones, Bibliotheca Valentina, 1 y 2, Valencia, 2 vol., 1985, 236 pp. + 1 mapa y 339 pp.

Chen, I. C., Hill, J. K., Ohlemüller, R., Roy, D. B., Thomas, C. D. (2011): "Rapid change shifts of species associated with high levels of climate warming", *Science*, 333, 1024-1026.

De Bolòs, O., Vigo, J., Masalles, R. M., Ninot, J. M. (2005): *Flora manual dels Països Catalans*, Editorial Pòrtic.

De Castro, M., Martín-Vide, J., Alonso, S. (2005): "El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI". En MORENO RODRÍGUEZ, J. M. (dir.): *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*, Ministerio de Medio Ambiente, Universidad de Castilla la Mancha, 1-64.

Escudero, A., García-Camacho, R., García-Fernández, A., Giménez-Benavides, L., Iriondo, J.M., Lara-Romero, C., Morente, J., Pescador D.S. (2015): "Vulnerabilidad al

cambio climático de las plantas de alta montaña mediterránea". En HERRERO, A., ZAVALA, M. A. (eds.): *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 107-114.

Estévez, A., Vera, J. A., Alfaro, P., Andreu, J. M., Tent-Manclús, J. E., Yébenes, A. (2004): "Alicante en la Cordillera Bética". En ALFARO, P., ANDREU, J. M., ESTÉVEZ, A., TENT-MANCLÚS, J. E., YÉBENES, A. (eds.): *Geología de Alicante*, 39-50.

Felicísimo, Á. M. (coord.) (2011): *Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española. 1. Flora y vegetación*. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.

Fernández-Cancio, A., Sánchez-Salguero, R. Gil, P.M., Manrique Menéndez, E., Fernández Fernández, R., Navarro-Cerrillo, R.M. (2012): "Efectos del cambio climático sobre la distribución de los alcornoques españoles. Una aproximación fitoclimática para la futura gestión", *Ecosistemas* 21(3), 50-62.

Ferrer, P., Ferrando, I., Albert, F. J., Escribá, M. C., Navarro, A., Oltra, J.E., Pérez, J., Pérez, P., Laguna, E. (2010): Trabajos de restitución de flora rara, endémica o amenazada de la Comunidad Valenciana". En GIMÉNEZ, P., MARCO, J.A., MATARREDONA, E., PADILLA, A., SÁNCHEZ, A. (eds.): *Biogeografía. Una ciencia para la conservación del Medio*. Asociación de Geógrafos Españoles. Murcia, 201-2010.

Folch, R. (2017): "Escala", *Mètode. Revista. Revista de Difusió de la Investigació*, 92, Universitat de València, 141.

Folch, R., Franquesa, T. (2002): "2. Els ambients zonals mediterranis i submediterranis". En FOLCH, R., FRANQUESA, T., CAMARASA, J. M. (coords.): *Història Natural dels Països Catalans*, vol. 7, Vegetació, Fundació Enciclopèdia Catalana, Barcelona, 73-123.

Folch, R., Franquesa, T. (2002b): "3. El paisatge vegetal als Països Catalans". En FOLCH, R., FRANQUESA, T., CAMARASA, J. M. (coords.): *Història Natural dels Països Catalans*, vol. 7, Vegetació, Fundació Enciclopèdia Catalana, Barcelona, 213-391.

Gil, P., del Carre, M., Fernández, A. (2008): "Evaluación de impactos del cambio climático en especies bioindicadoras o de interés forestal en España", *Forestalis*, 92, 5-9.

Giménez-Benavides, L., Escudero, A., Iriondo, J. M. (2007): "Reproductive limits of a late-flowering high-mountain Mediterranean plant along an elevation climate gradient", *New Phytologist*, 173, 367-382.

Giménez-Benavides, L., García-Camacho, R., Iriondo, J. M., Escudero, A. (2011): "Selection on flowering time in Mediterranean high-mountain plants under global warming", *Evolutionary Ecology*, 25, 777-794.

Giménez, P.; Marco, J.A.; Martínez, E.; Padilla, A.; Sánchez, A. (2004): "Cartografía corológica de especies vegetales cacuminales en el sector oriental de Aitana (Alacant, España)". En III Congreso Español de Biogeografía, At Sukarrieta (Reserva de la Biosfera de Urdaibai). DOI: 10.13140/RG.2.1.1621.9602.

Hampe, A. (2015): "Vulnerabilidad y conservación de los relictos climáticos de larga duración". En HERRERO, A., ZAVALA, M. A. (eds.): *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 99-106.

Juan Gallardo, A., Crespo Villalba, M. B. (2003): *Flora y vegetación de la sierra del Cid (Alicante)*, Publicaciones de la Universidad de Alicante.

Laguna, E., M. B. Crespo, G. Mateo, S. López, C. Fabregat, L. Serra, A. Aguilera, R. Figuerola (1998): *Flora endémica, rara o amenazada de la Comunidad Valenciana*, Col. Biodiversidad, nº 1. Conselleria de Medi Ambient, Generalitat Valenciana, Valencia.

López Fernández, M. L., López F., M. S. (2008): "Ideas básicas de "Global Bioclimatics", del Profesor Rivas-Martínez: Guía para reconocer y clasificar las unidades bioclimáticas", *Serie Botánica*, 17, Publicaciones de Biología, Universidad de Navarra, 3-188.

López Fernández, M. L., Piñas, S., López F., M. S. (2008b): "Similitudes y diferencias entre nuestra "Cartografía bioclimática de la España peninsular y balear", y

los trabajos anteriores", *Serie Botánica*, 17, Publicaciones de Biología, Universidad de Navarra, 249-260.

Marco Molina, J. A. (1985): "La variedad del relieve alicantino". En UROZ SÁEZ, J. (dir.): *Historia de la provincia de Alicante*, Vol. 1, Tomo 1, La provincia de Alicante y sus comarcas, Diputación Provincial de Alicante, 17-46.

Marco Molina, J.A. (2001): *Aitana como espacio singular. Perspectiva geográfica de una montaña mediterránea*. Servicio de publicaciones de la Universidad de Alicante. Alicante.

Marco Molina, J.A. (2006): "Rasgos climáticos, relieve y vegetación en tierras valencianas a través de la mirada de Cavanilles". *Estudios Geográficos*, LXVII, 260, 105-140.

Marco Molina, J.A. (dir.) (2007): *Les plantes del Baix Vinalopó*, Institut d'Estudis Comarcals del Baix Vinalopó.

Marco Molina, J.A. (2004): *Atles finotímic d'Alacant*, Publicacions de la Universitat d'Alacant.

Marco, J.A., Padilla, A., Sánchez, A., Giménez, P., Ramón, A., Martínez, E. (2006): "Cartografía corológica a escala de detalle mediante GPS y SIG: nuevas aplicaciones en el sector oriental de Aitana". En GIMÉNEZ, P., MARCO, J.A., MATARREDONA, E., PADILLA, A. y SÁNCHEZ, A. (eds.): *Geografía Física y Medio Ambiente*. Asociación de Geógrafos Españoles. Alicante, 183-194.

Marco, J.A., Padilla, A., Sánchez, A. (2006b): "Cartografía corológica mediante el uso de GPS de especies vegetales endémicas, raras o amenazadas en el sector oriental de Aitana (Alacant). *Serie Geográfica*, 13, 11-24.

Marco, J. A., Azorín, D., Giménez, P., Miró, J. J., Padilla, A., Sánchez, A. (2016): "Comparación de los censos de *Genista longipes* Pau (2004-2014) en la Serra d'Aitana, Alacant, en el contexto del calentamiento global". En GÓMEZ, J., ARIAS, J., OLMEDO, J. A., SERRANO, J. L. (eds.), *Avances en biogeografía. Áreas de distribución: entre puentes y barreras*, IX Congreso Español de Biogeografía, Editorial Universidad de Granada, 231-239.



Mateo, G., M. B. Crespo (2009): *Manual para la determinación de la flora valenciana*, Monografías de flora Montibérica, nº5, Alicante-Valencia.

Miró Pérez, J.J. (2013): *Downscaling estadístico de series climáticas mediante redes neuronales: Reconstrucción en alta resolución de la temperatura diaria para la Comunidad Valenciana. Interpolación espacial y análisis de tendencias (1948–2011)*, Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante, Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo, Universidad de Valencia.

Miró, J. J., Estrela, M. J., Caselles, V., Olcina-Cantos, J. (2016): "Fine-scale estimations of bioclimatic change in the Valencia region, Spain", *Atmospheric Research* 180, 150-156.

Miró, J. J., Estrela, M. J., Caselles, V. (2016b): "Cambios a fina escala de la aridez en la Comunidad Valenciana entre 1948 y 2011", *X Congreso Internacional AEC: Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*, 267-278.

Morata Gasca, A. (2015): *Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR4*, Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.

Ninyerola (2000): *Modelització climàtica mitjançant tècniques SIG i la seva aplicació a l'anàlisi quantitativa de la distribució d'espècies vegetals a l'Espanya peninsular*, Universitat Autònoma de Barcelona.

Ninyerola, M., Pons, X., Roure, J. M. (2005): "Atlas Climático Digital de la Península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica", Universitat Autònoma de Barcelona.

Nogués-Bravo, D., Araújo, M. B., Lasanta T., Moreno, J. L. (2008): "Climate change in Mediterranean mountains during the 21st Century", *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 37:280-285.

Padilla Blanco, A. (1997): *Colonización vegetal en campos de cultivo abandonados de la provincia de Alicante*, tesis doctoral, Universidad de Alicante.

Padilla Blanco, A. (2002): "Protección y conservación de la flora en la Comunidad Valenciana", *Investigaciones Geográficas*, nº 27, 107-130. Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante.

Peris Figuerola, J. I., Mataix Oltra, J., Jordá Bou, M. C. (2002): *Orquídeas y bulbos silvestres de la provincia de Alicante*, Diputación Provincial de Alicante, Área de Medio Ambiente.

Piñas, S., López, M. S., López, M. L. (2008): "Termotipos de la España peninsular y balear y su cartografía", *Serie Botánica*, 17, Publicaciones de Biología, Universidad de Navarra, 237-242.

Rigual, A. (1972): *Flora y vegetación de la provincia de Alicante*, Instituto de Estudios Alicantinos, Diputación Provincial de Alicante, 451 pp.

Rivas-Martínez, S. (1987): Memoria del mapa de series de vegetación de España 1:400.000, ICONA, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.

Rivas-Martínez, S. (2008): *Global Bioclimatics*, [www.globalbioclimatics.org](http://www.globalbioclimatics.org)

Sanz-Elorza, M. (2015): "Efectos del cambio climático sobre la vegetación de la península Ibérica". En HERRERO, A., ZAVALA, M. A. (eds.): *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 115-128.

Serra Laliga, L. (2007): *Estudio crítico de la flora vascular de la provincia de Alicante: aspectos nomenclaturales, biogeográficos y de conservación*, Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales, Centro Iberoamericano de la Biodiversidad, Universidad de Alicante.

Serra Laliga, L. (2010): "Flora vascular de la provincia de Alicante: protección y diversidad". En GIMÉNEZ, P., MARCO, J.A., MATARREDONA, E., PADILLA, A., SÁNCHEZ, A. (eds.): *Biogeografía. Una ciencia para la conservación del Medio*. Asociación de Geógrafos Españoles. Murcia, 315-322.

Serra, L., Fabregat, C., J. J. Herrero-Borgoñón y S. López (2000): *Distribución de la flora vascular endémica, rara o amenazada en la Comunidad Valenciana*. Valencia, Conselleria de Medio Ambiente, Generalitat Valenciana.

Solanas Ferrándiz, J. L., Crespo Villalba, M. B. (2000): *Medi físic i flora de la Marina Baixa*, Publicacions de la Universitat d'Alacant.

Solanas Ferrándiz, J. L. (2001): *Flora i fitogeografia de la Serrella*, Publicacions de la Universitat d'Alacant.

Terradas, J. (2001): "3.8. Els ecosistemes d'alta muntanya". En TERRADAS, J., PRATS, N., ESCARRÉ, A., MARGALEF, R. (coords.): *Història Natural dels Països Catalans*, vol. 14, Sistemes naturals, Fundació Enciclopèdia Catalana, Barcelona, 312-319.

Terradas, J. (2010): "La biodiversitat no és prescindible". *Mètode. Revista de Difusió de la Investigació*, 67, Universitat de València, 34-39.

Vera, J. A. (2004): "Geología de la Cordillera Bética". En ALFARO, P., ANDREU, J. M., ESTÉVEZ, A., TENT-MANCLÚS, J. E., YÉBENES, A. (eds.): *Geología de Alicante*, 15-36.