

# Adaptació al canvi climàtic en el sector agrícola de l'Alt Pirineu i l'Aran: riscos i oportunitats

Jordi Puig, Oriol Baena, Anton Montsant

L'Espigall, l'Ametlla del Vallès (Barcelona)

REBUT: 12 DE MAIG DE 2021 · ACCEPTAT: 28 DE DESEMBRE DE 2021

---

## RESUM

---

Aquest estudi analitza les implicacions del canvi climàtic en l'agricultura d'una regió mediterrània muntanyosa modelant la idoneïtat agroclimàtica dels cultius i comparant l'escenari climàtic de referència (1971-2000) amb un escenari futur (2031-2050). Es proposa una estratègia d'adaptació per a les 53.535 ha de camps de conreu de la zona d'estudi, per tal de diversificar la producció agrícola tot mantenint la cabana ramadera actual. Els resultats indiquen que, si no es fan canvis estructurals, els impactes del canvi climàtic sobre l'agricultura de la zona poden provocar una reducció dels ingressos del 9%. No obstant això, si aquesta amenaça s'utilitza com a motor de canvi per a promoure la pastura de prats alpins i els boscos i praderies de menys altitud, gairebé la meitat de les terres agrícoles poden ser alliberades per a cultius nous, que es podrien destinar al consum humà. Aquesta estratègia podria generar un augment dels ingressos bruts agrícoles d'un 115% (passarien de 85 a 181 milions d'euros).

**PARAULES CLAU:** canvi climàtic, agricultura de muntanya, classificació agroclimàtica de Papadakis, idoneïtat climàtica.

Correspondència: Jordi Puig Roca. C/ Alzina, 23. 08480 L'Ametlla del Vallès. Tel.: 670 267 274. A/e: [jordi@espigall.cat](mailto:jordi@espigall.cat). A/I: [www.espigall.cat](http://www.espigall.cat).

## Adaptation to climate change in the agricultural sector of the High Pyrenees and the Aran Valley: Risks and opportunities

---

### ABSTRACT

---

This study analyses the implications of climate change in agriculture in a mountainous Mediterranean region by modelling crop agro-climatic suitability and comparing the reference climate scenario (1971-2000) with a future scenario (2031-2050). An adaptation strategy is proposed for the 53,535 hectares of farmland in the area under study, in order to diversify agricultural production while maintaining current livestock numbers. The results indicate that, if structural changes are not made, climate change impacts on agriculture in the area might lead to a revenue reduction of 9%. However, if this threat is used as a driving force for change to promote grazing of alpine grasslands and lower-altitude forests and prairies, nearly half of agricultural lands may be released for new crops that could be targeted to human consumption. This strategy could generate an increase of agricultural gross revenues of about 115% (rising from €85 million to €181 million).

**KEYWORDS:** climate change, mountain farming, Papadakis agro-climate classification, climate suitability.

## Adaptación al cambio climático en el sector agrícola del Alto Pirineo y Aran: riesgos y oportunidades

---

### RESUMEN

---

El presente estudio analiza las implicaciones del cambio climático en la agricultura de una región mediterránea montañosa modelando la idoneidad agroclimática de los cultivos y comparando el escenario climático de referencia (1971-2000) con un escenario futuro (2031-2050). Se propone una estrategia de adaptación para las 53.535 ha de campos de cultivo de la zona de estudio, con el fin de diversificar la producción agrícola manteniendo la cabaña ganadera actual. Los resultados indican que, si no se realizan cambios estructurales, los impactos del cambio climático sobre la agricultura de la zona pueden provocar una reducción de los ingresos del 9%. Sin embargo, si esa amenaza se utiliza

como motor de cambio para promover el pastoreo en prados alpinos y bosques y pastos de menor altitud, casi la mitad de las tierras agrícolas pueden ser liberadas para nuevos cultivos, que se podrían destinar al consumo humano. Esta estrategia podría generar un aumento de los ingresos brutos agrícolas en torno al 115 % (pasando de 85 a 181 millones de euros).

**PALABRAS CLAVE:** cambio climático, agricultura de montaña, clasificación agroclimática de Papadakis, idoneidad climática.

## 1. Introducció

El canvi climàtic ja afecta els sistemes naturals i agrícoles de Catalunya i de la conca mediterrània en conjunt (Bravo *et al.*, 2008; Pascual *et al.*, 2016). L'agroclima d'una regió es pot definir com la descripció de les condicions climàtiques rellevants per al cultiu econòmicament viable d'espècies d'interès agrícola. Juan Papadakis (1903-1997) va classificar els climes del món en funció del seu potencial agrícola, a través de definicions elaborades i valors extrems que recullen la severitat de l'hivern, l'estrès tèrmic estival i la disponibilitat d'aigua durant tot l'any (Papadakis, 1966).

A mesura que el clima local es fa més càlid i amb estacions humides més curtes, s'han suggerit diverses possibilitats per a augmentar la resiliència del sector agrícola a les condicions ambientals canviants (Aguilera *et al.*, 2020). En algunes zones, les estratègies d'adaptació que permeten el manteniment dels cultius actuals poden ser factibles. L'augment del contingut de C del sòl, el desenvolupament de regadius nous, la modificació de les dates de sembra, el canvi a varietats locals o cultivars comercials que s'adaptin a dificultats meteorològiques específiques o l'ombreig parcial de cultius sensibles durant la temporada càlida i seca, són enfocaments útils per a contrarestar alguns dels efectes del canvi climàtic. En altres àrees, però, un canvi estructural dels tipus de cultius que es produeixen actualment (diversificació mitjançant rotació de cultius, associació de cultius o substitució completa de varietats o espècies) pot ser una estratègia d'adaptació millor.

Per a ajudar en aquesta presa de decisions, cal tenir en compte els efectes del canvi climàtic a escala local. A Catalunya hi ha disponibles, públicament, capes de dades meteorològiques d'alta resolució, així com un model regional de canvis esperats pel que fa a precipitacions i temperatures estacionals mitjanes per a l'escenari 2031-2050, dut a terme pel Servei Meteorològic de Catalunya d'acord amb la trajectòria de concentracions representativa (RCP, de l'anglès *representative concentration pathway*) 4.5 (Calbó *et al.*, 2016).

Aquest article resumeix un estudi elaborat l'any 2017 per a l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, amb els objectius d'avaluar el potencial econòmic del sector agrícola de l'Alt

Pirineu i l'Aran, mesurar els impactes que pot tenir el canvi climàtic en la producció actual i determinar els cultius més susceptibles de ser mantinguts o implantats. Com a hipòtesi de partida s'assumeix, d'una banda, que cal potenciar la pastura extensiva per tal d'alliberar terres de cultiu per a l'alimentació humana i, de l'altra, que els recursos hídrics de l'àmbit d'estudi són limitats i que no es preveu que incrementin. L'àmbit d'estudi correspon a les comarques de l'Alt Pirineu (Cerdanya, Alt Urgell, Alta Ribagorça, Pallars Jussà, Pallars Sobirà) i l'Aran. Segons dades de l'Institut d'Estadística de Catalunya (Idescat) (2016), aquesta superfície comprèn 5.691 km<sup>2</sup> (el 17,8% de la superfície total de Catalunya) i té 69.459 habitants (12,2 h./km<sup>2</sup>), és a dir, al voltant de l'1% de la població catalana.

## 2. Materials i mètodes

Els detalls metodològics d'aquest estudi estan publicats (Montsant *et al.*, 2021; Puig i Montsant, 2017) i a continuació es descriuen sintèticament. Es consideren, d'una banda, dos escenaris agroclimàtics: 1971-2000, escenari actual o de referència, i 2031-2050, escenari futur, basats en la classificació de Papadakis (1966) per a la potencialitat agrícola dels climes. D'altra banda, es consideren quatre escenaris corresponents a quatre càrregues i tipus de gestió ramaderes que permeten alliberar parcel·les dedicades a farratges per a destinar-les a productes de consum humà; d'aquests escenaris, se'n selecciona un. Finalment, es determina el cultiu òptim per a cada parcel·la agrícola de l'àmbit d'estudi segons criteris de màxim ingrés brut de la producció, tenint en compte l'efecte del clima sobre la idoneïtat de cultiu en els escenaris actual i futur. Els càlculs climàtics per a tota la superfície es basen en capes de dades amb una resolució de 180 × 180 m. Els càlculs sobre les parcel·les agrícoles inclouen les terres cultivables registrades al Sistema d'Informació Geogràfica de la Política Agrària Comunitària (SIGPAC)<sup>1</sup> de 2013 més els pastius a menys de 1.500 msnm de la superfície agrícola utilitzada (SAU) de l'any 2013. Tots els càlculs i mapes s'han fet amb els programes Microsoft Excel i QGIS.

### 2.1. Determinació del sòl agrícola

Es van identificar les parcel·les agrícoles existents a partir del SIGPAC: 22.001 parcel·les de terres cultivades, que sumen 24.251,76 ha, i 78.467 parcel·les de pastius a menys

---

1. Per a més informació, vegeu <http://agricultura.gencat.cat/ca/serveis/cartografia-sig/aplicatius-tematics-geoinformacio/sigpac/>.

de 1.500 msnm, que sumen 29.283,63 ha; un total de 53.535 ha de terreny disponible per a activitats agrícoles (45,3% terres conreades i 54,7% pastiu a menys de 1.500 msnm). El subconjunt de terres que es poden regar es va determinar combinant les parcel·les marcades com a regadiu al SIGPAC amb les que figuren al Pla de regadius de Catalunya 2008-2020.

## 2.2. Delimitació de terres agrícoles compatibles amb la ramaderia

La càrrega ramadera màxima de cada comarca es va calcular a partir de la composició de la cabana ramadera comarcal, incloent-hi totes les espècies per grups d'edat i sistema de cria. Això va generar un total d'unitats de bestiar gros (UBG) que es van transformar en hectàrees de terreny. Aquest valor es va creuar amb la SAU de cada comarca per a comprovar si es disposava o no d'aquesta superfície. Per a fer els càlculs, es van comptabilitzar per separat les espècies que poden viure en extensiu i transhumar (boví, equí, cabrum i oví) i les que estan estabulades (porcí, conill, aviram i vaques lleteres). L'encreuament d'aquestes dades va mostrar que no hi ha prou terra agrícola per a suportar la cabana ramadera actual. Per a mantenir el bestiar actual i simultàniament deixar terres disponibles per a la diversificació agrícola, es van considerar quatre escenaris amb pressió decreixent sobre les terres de cultiu per part de la ramaderia. Se'n va seleccionar un perquè era l'únic que allibera prou superfície agrícola per a fer projectes competitius. Amb aquest esquema, es van destinar 27.431 ha de terres cultivables a les necessitats de la ramaderia local i 26.104 ha per a implementar l'estratègia de diversificació de conreus. Aquestes superfícies estarien repartides proporcionalment a totes les comarques, i mantindrien la mateixa relació de secà i regadiu que tot l'àmbit d'estudi. No es van definir les parcel·les concretes que les constituïrien.

## 2.3. Modelització climàtica

Per tal de calcular la distribució potencial actual i futura de cultius d'interès, es va utilitzar la classificació agroclimàtica de Papadakis (1966) per a determinar el tipus d'hivern, el tipus d'estiu i el règim d'humitat a cada ubicació (Montsant *et al.*, 2021). Les dades climàtiques es van obtenir de l'*Atles climàtic digital de Catalunya* (Ninyerola, Pons i Roure, 2000; Ninyerola *et al.*, 2003). L'escenari climàtic futur es va generar mitjançant els canvis de temperatura i precipitació indicats al *Tercer informe del canvi climàtic a Catalunya* (Calbó *et al.*, 2016).

## 2.4. Anàlisi de cultius

Inicialment, es van considerar més de vint-i-cinc cultius de consum humà que eren agroclimàticament idonis en almenys una part de la regió d'estudi. Finalment, se'n van seleccionar deu destinats a circuits curts de comercialització de productes alimentaris de qualitat: tres arbres fruiters amb tradició a la zona (pomera, perera i cirerer), dos llegums molt apreciats a la cuina local (mongeta i cigró) i cinc cultius tradicionals mediterranis que poden generar productes d'alt valor al mercat local i tenen poca demanda d'aigua (vinya, olivera, sègol, patata i fajol; els dos darrers són cultius de regadiu en condicions mediterrànies seques, però es fan al secà en zones elevades més plujoses i fresques). Per a cadascun d'aquests deu cultius, es van crear mapes d'idoneïtat climàtica segons la seva tolerància als règims tèrmics i d'humitat de Papadakis, sense considerar els tipus de sòl o profunditat efectiva d'arrelament per manca de dades, i es va classificar cada punt de l'àmbit d'estudi en una de les tres categories següents: viable, no viable o viable amb regadiu. Aquests mapes es van generar tant per a l'escenari climàtic actual com per al futur.

## 2.5. Càlcul dels ingressos bruts de la producció agrícola

Per a avaluar l'impacte econòmic del canvi climàtic i de les polítiques d'adaptació sobre l'agricultura, es van calcular d'entrada els ingressos bruts dels principals cultius existents. Les dades de productivitat dels anys 2013-2015 es van obtenir de les estadístiques del Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural<sup>2</sup> i, combinades amb els preus de mercat dels conreus considerats en agricultura convencional no ecològica, van permetre obtenir l'ingrés brut mitjà del conjunt de cultius en €/ha. Es va calcular el mateix valor assumint que a l'escenari 2030-2050 hi hauria la mateixa composició de cultius que hi havia l'any previ a l'estudi, el 2016, i, alternativament, que s'implementaria una diversificació optimitzada de deu cultius.

## 2.6. Establiment del model regional òptim per a la implementació dels deu conreus seleccionats

Per tal de determinar el sistema òptim en termes de valor econòmic, cada parcel·la es va avaluar tenint en compte la idoneïtat agroclimàtica i la productivitat econòmica (€/ha)

---

2. Vegeu *Estadístiques definitives de conreus* (en línia), <<http://agricultura.gencat.cat/ca/departament/estadistiques/agricultura/estadistiques-definitives-conreus/>> (consulta: desembre 2021).

de cadascun dels deu conreus seleccionats i la disponibilitat o absència de reg. Es va obtenir així una taula en què cada parcel·la de l'àrea d'estudi s'associava al cultiu que genera els ingressos bruts més elevats. Es van comparar les distribucions de cultius òptims en l'escenari agroclimàtic de referència i l'escenari de futur.

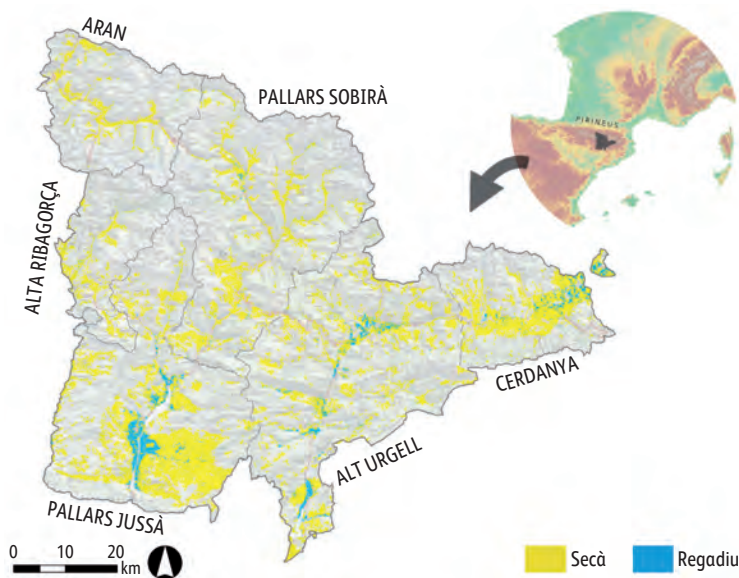
### 3. Resultats

#### 3.1. Situació actual de l'agricultura i la ramaderia

Segons dades del 2016, la SAU de l'àmbit d'estudi consta de més de 34.000 ha de terres llaurades i 191.275 ha de prats i pastures. De les 53.535 ha de terres agrícoles identificades amb el SIGPAC, el 70,7% són de secà i el 29,3% de regadiu (figura 1). Els cereals, majoritàriament farratgers, ocupen més del 70% d'aquesta superfície. L'agricultura actual del Pirineu, per tant, està fortament esbiaixada cap a la producció de farratges i cereals per a pinsos.

**FIGURA 1**

Parcel·les agrícoles de regadiu i de secà identificades pel SIGPAC a la zona d'estudi



FONT: Elaboració pròpia.

A partir de les dades dels usos del sòl i de l'anàlisi GIS es va calcular la càrrega ramadera que poden suportar les àrees de pastures d'estiu i d'hivern. Així, per sobre de 1.500 msnm, l'àmbit d'estudi pot suportar 140.057 UBG i, per sota de 1.500 msnm, 122.528 UBG (taula 1).

**TAULA 1**

**Càrrega ramadera que es pot mantenir en cotes altes (aptes per a pastura d'estiu) i baixes (aptes per a pastura d'hivern) en la zona d'estudi i per comarca**

| Comarca        | UBG màx. ≥ 1.500 msnm | UBG màx. < 1.500 msnm |
|----------------|-----------------------|-----------------------|
| Alta Ribagorça | 15.536,6              | 6.106,4               |
| Alt Urgell     | 20.177,1              | 38.292,8              |
| Aran           | 27.312,6              | 4.036,8               |
| Cerdanya       | 15.770,4              | 7.600,0               |
| Pallars Sobirà | 50.304,0              | 18.809,4              |
| Pallars Jussà  | 10.956,9              | 47.682,6              |
| <b>Total</b>   | <b>140.057,6</b>      | <b>122.528,0</b>      |

FONT: Elaboració pròpia a partir de dades de l'Anuari estadístic de Catalunya (Idescat, 2016).

Si es descarten tots els animals estabulats (porcs, aviram i conill) i aquells que no poden pasturar en extensiu (vaquí de llet), a l'àmbit d'estudi hi ha 69.962 UBG que podrien viure en règim extensiu sense superar la capacitat de càrrega de les pastures d'estiu i d'hivern i, fins i tot, rebre, com passa ara, cabana procedent d'altres comarques durant els mesos d'estiu (taula 2).

**TAULA 2**

**Caps de bestiar que poden transhumar (boví no de llet, oví, cabrum i equí) a cadascuna de les sis comarques de l'àmbit d'estudi en UBM (dades de 2016)**

| Comarca        | Boví     | Oví      | Cabrum  | Equí  | Total    |
|----------------|----------|----------|---------|-------|----------|
| Alt Urgell     | 17.798,8 | 3.159,5  | 312,3   | 54,0  | 21.324,6 |
| Alta Ribagorça | 2.893,0  | 1.872,5  | 77,0    | 19,0  | 4.861,4  |
| Aran           | 4.815,9  | 673,4    | 53,1    | 34,0  | 5.576,3  |
| Cerdanya       | 10.055,9 | 774,5    | 57,8    | 134,0 | 11.022,1 |
| Pallars Jussà  | 6.096,9  | 6.862,5  | 453,9   | 29,0  | 13.442,3 |
| Pallars Sobirà | 9.680,1  | 3.771,3  | 186,9   | 98,0  | 13.736,3 |
|                | 51.340,5 | 17.113,5 | 1.140,9 | 368,0 | 69.962,9 |

FONT: Elaboració pròpia a partir de dades de la Generalitat de Catalunya.



Seguidament, es van definir quatre escenaris de pastura extensiva creixent per tal de veure quin seria l'efecte en l'alliberament de sòl agrícola per a altres usos:

*Escenari 1.* 100% de concentració de la càrrega ramadera sobre les terres seleccionades (53.535 ha). El resultat és un dèficit de 16.427 ha.

*Escenari 2.* Concentració del 100% del bestiar establut a les terres d'estudi i, pel que fa al bestiar transhumant, dues tercers parts de la càrrega ramadera a l'àmbit d'estudi (d'octubre a maig) i una tercera part de la càrrega ramadera fora (a pastures i prats alpins, de juny a setembre). El resultat és un alliberament de 3.114 ha agrícoles per a altres usos.

*Escenari 3.* Concentració del 100% del bestiar establut a les terres d'estudi i, del bestiar transhumant, un 56% de la càrrega ramadera a l'àmbit d'estudi (d'octubre a mitjan abril), un 34% de la càrrega ramadera fora (a pastures i prats alpins, de juny a setembre) i un 10% de la càrrega ramadera a pastures o boscos de les zones baixes (final d'abril i maig). El resultat és un alliberament de 8.861 ha agrícoles per a altres usos.

*Escenari 4.* Concentració del 100% del bestiar establut a les terres d'estudi i, del bestiar transhumant, un 26% a l'àmbit d'estudi (de desembre a febrer), un 34% fora (a pastures i prats alpins, de juny a setembre) i un 40% a pastures o boscos de les zones baixes (de març a maig i d'octubre a novembre). El resultat és un alliberament de 26.103,9 ha agrícoles per a altres usos.

Es va seleccionar l'escenari 4, ja que permet una massa crítica prou important per a fer cultius d'una manera eficient i a escala comercial. Superfícies més petites podrien no ser suficients per a generar un teixit agroalimentari de transformació a la mateixa zona.

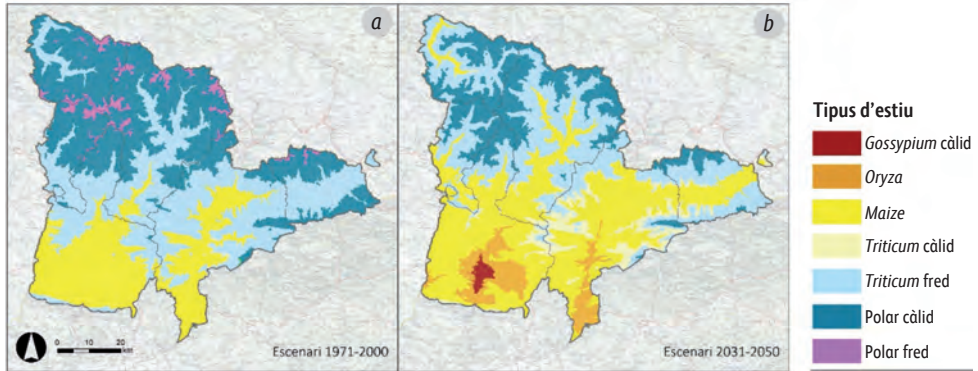
## 3.2. Anàlisi agroclimàtica

L'àrea d'estudi mostra dues regions agroclimàtiques diferents. Les terres baixes i les valls fluvials tenen estius de tipus *Triticum* relativament càlids i hiverns suaus, mentre que els cims de les muntanyes superiors als 1.500 m tenen estius polars i hiverns freds i, per tant, són inhòspits per a l'agricultura. Entremig, les ubicacions a mitja altitud probablement experimentaran una transició marcada a categories més càlides a l'escenari 2031-2050 (figura 2). El règim d'humitat és adequat per a la majoria dels cultius, tret de les parts més baixes al sud de la zona d'estudi, on els efectes de l'altitud s'esvaeixen i domina un règim mediterrani més sec.

Com a conseqüència d'aquests canvis, diversos cultius tradicionalment de secà a la zona d'estudi (com ara l'ordi o l'alfals) requeriran reg en l'escenari 2031-2050, o bé s'hauran de traslladar a altituds i latituds més elevades. Algunes espècies que tradicionalment hi han estat absents a causa d'hiverns excessivament freds esdevindran viables a aquesta altitud, com l'olivera o l'ametller (dades no mostrades).

**FIGURA 2**

Mapes de distribució del tipus d'estiu segons Papadakis, escenari de referència (a) i de futur (b)



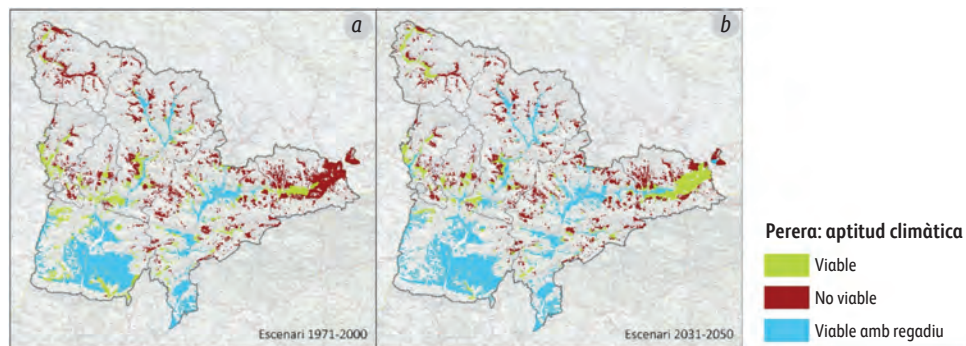
NOTA: Per a la classificació dels estius es consideren la durada de l'estació lliure de gelades, la mitjana de  $T_{max}$  mensuals dels dos, quatre o sis mesos més càlids, i la  $T_{max}$  i  $T_{min}$  del mes més càlid.

FONT: Elaboració pròpia.

### 3.3. Establiment d'una estratègia de diversificació òptima i comparació amb la composició actual dels cultius

Es va generar una fórmula lògica per a seleccionar un cultiu òptim per a cada parcel·la considerant la idoneïtat agroclimàtica futura de cada cultiu a cada lloc (la figura 3 mostra el cas de la perera), i utilitzant el consum mínim d'aigua i la màxima rendibilitat econòmica com a factors decisius. Amb aquests criteris es va trobar que la mongeta és el cultiu que generaria més ingressos bruts (66,1%) (taula 3) i ocuparia totes les zones de regadiu (figura 4).

La vinya és el segon conreu que generaria més ingressos bruts, amb un 17,7% dels ingressos totals. En total, es generarien més de 141,8 M € en 26.104 ha diversificades amb els deu cultius nous. Com que es va considerar que la resta de terres agrícoles (27.431 ha) es dediquen a l'alimentació animal, hi hauria un ingrés brut addicional de 39,3 M €. En total, per a l'escenari 2030-2050, la zona podria generar més de 181 M €, cosa que implicaria un augment del 115% en relació amb els ingressos bruts actuals, o del 136% en relació amb els ingressos que generaria el perfil actual de cultius amb el futur escenari agroclimàtic (figura 5). Aquest augment notable seria la conseqüència d'una millora dels ingressos de les zones de secà, on els cultius actuals serien parcialment substituïts per cultius llenyosos com vinyes o arbres fruiters, juntament amb l'ús massiu de regadiu per a fruites i verdures en comptes de conreus de gra.

**FIGURA 3**
**Mapes d'idoneïtat agroclimàtica de la perera en l'escenari de referència (a) i de futur (b)**


FONT: Elaboració pròpia.

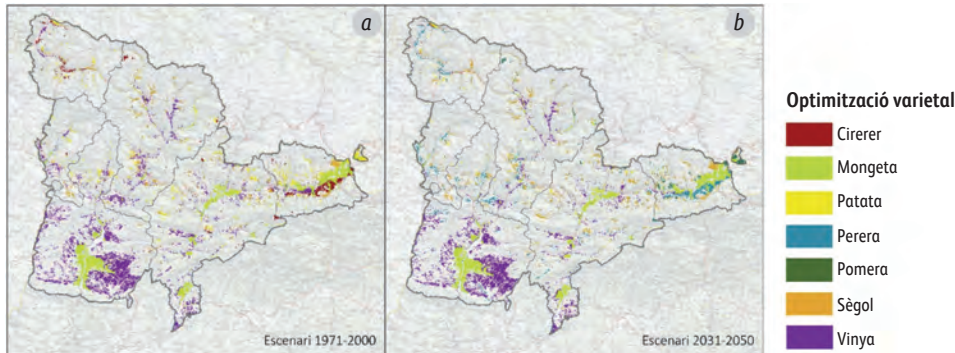
**TAULA 3**
**Ingressos bruts que generarien en l'escenari de futur els cultius estudiats segons el càlcul d'optimització dut a terme**

|                            | Ingrés brut futur (€) | % s/ ingrès àrea d'estudi |
|----------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Cirerer                    | 44.920,6              | 0,0                       |
| Espelta                    | —                     | 0,0                       |
| Fajol                      | —                     | 0,0                       |
| Mongeta                    | 93.724.312,0          | 66,1                      |
| Olivera                    | —                     | 0,0                       |
| Patata                     | 2.088.704,0           | 1,5                       |
| Perera                     | 14.292.668,6          | 10,1                      |
| Pomera                     | 5.055.518,8           | 3,6                       |
| Sègol                      | 1.509.899,7           | 1,1                       |
| Vinya                      | 25.094.523,3          | 17,7                      |
| Cultius per a la ramaderia | 39.317.921,0          | —                         |
| <b>Àrea d'estudi</b>       | <b>181.128.467,90</b> | <b>100,0</b>              |

FONT: Elaboració pròpia.

**FIGURA 4**

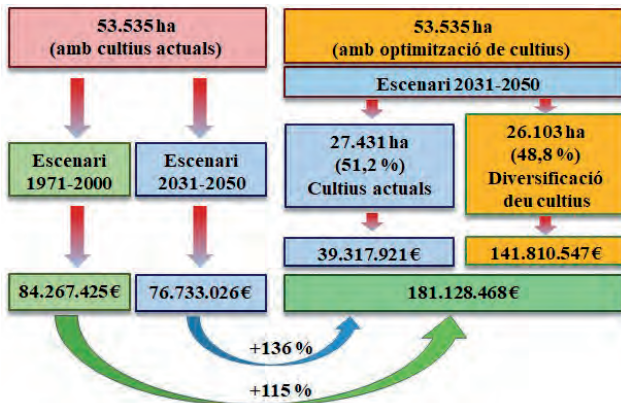
Mapes de distribució dels set cultius òptims a les parcel·les de l'àmbit d'estudi, escenari de referència (a) i de futur (b)



FONT: Elaboració pròpia.

**FIGURA 5**

Resum dels ingressos generats pel model agrícola actual i dels ingressos potencials tenint en compte el futur escenari agroclimàtic, amb aplicació del model optimitzat de deu cultius o sense



FONT: Elaboració pròpia.

## 4. Discussió

Actualment, un percentatge molt important de la superfície agrícola de l'Alt Pirineu i l'Aran es destina a l'alimentació animal. El canvi climàtic, per tant, pot ser el factor desencadenant d'una renovació profunda de l'economia agrícola de la regió, que s'hauria de basar en la ramaderia extensiva en prats alpins i zones no agrícoles de les valls com a mecanisme per a alliberar pressió sobre les terres agrícoles.

Els resultats d'aquest estudi indiquen que el canvi climàtic afectarà significativament la producció agrícola de l'Alt Pirineu i l'Aran. La reducció estimada d'ingressos bruts del 9% a causa de la pèrdua d'idoneïtat agroclimàtica hauria de ser el motor que impulsi canvis estratègics a la regió. Si es pogués subministrar prou reg a totes les parcel·les agrícoles, les prediccions climàtiques per a l'escenari 2031-2050 tindrien com a resultat un augment de la diversitat de cultius idonis, especialment a les zones més fresques. No obstant això, és poc probable que s'incrementi significativament la capacitat de reg de la zona. Els recursos hídrics pirinencs van disminuir durant el segle xx (López-Moreno, Beniston i García-Ruiz, 2008), principalment a causa de l'augment de la vegetació a les capçaleres fluvials i de la disminució de les precipitacions i l'acumulació de neu. Per tant, caldrà desplegar sistemes de reg moderns de manera que es pugui mantenir o augmentar la disponibilitat d'aigua mitjançant guanys en l'eficiència d'ús. Amb la infraestructura actual de reg, el canvi climàtic modificarà la distribució dels cultius.

La diversificació de cultius serà més necessària a les terres de secà, on el marge de maniobra és molt més petit que al regadiu. Els conreus mediterranis (vinya, olivera i cereals) i els arbres fruiters amb poca demanda d'aigua (ametller, magraner, figuera, etc.) seran els més afavorits pel canvi climàtic a la zona d'estudi. En canvi, alguns cultius fets tradicionalment en règim de secà al Pirineu, com ara la patata, la pomera o la perera, poden experimentar una forta regressió o requerir un trasllat a zones de regadiu, on haurien de competir amb verdures, fruita seca o productes que poden tenir més marge brut.

Promocionant l'ús del recurs que proporcionen les pastures naturals, es podrien alliberar més de 26.100 ha de terres agrícoles de l'àmbit d'estudi, on es podrien cultivar espècies destinades a l'alimentació humana agroclimàticament idònies, basant-se en criteris com el màxim ingrés brut o el consum mínim d'aigua, per exemple. Seguint aquests criteris, el sector agrícola de l'escenari de futur podria duplicar el potencial econòmic dels cultius actuals. La prevenció d'incendis forestals i la millora del sòl mitjançant el pasturatge, juntament amb la diversificació de cultius, es destaquen cada vegada més com a estratègies necessàries d'adaptació al canvi climàtic (Bernués *et al.*, 2011; Nadal-Romero, Lasanta i Cerdà, 2018; Alary *et al.*, 2019). L'ús de les abundants pastures del territori pirinenc per a alimentar el bestiar, doncs, a més d'alliberar grans porcions de

terres de cultiu, tindria múltiples efectes positius pel que fa a la prevenció d'incendis forestals, la biodiversitat i la sostenibilitat en l'ús de recursos locals.

Aquestes perspectives de futur encoratjadores poden tenir algunes limitacions, com ara dificultats de gestió associades a la transició a la ramaderia extensiva, un accés limitat als drets de plantació de vinya o una manca de professionals del sector agrari o infraestructures agrícoles que puguin afavorir la diversificació de cultius.

## 5. Conclusions

Dels resultats d'aquest treball es conclou que:

— Aprofitant les pastures naturals per a alimentar la cabana ramadera actual del Pirineu quedaria pràcticament un 50% de la terra agrícola per a altres cultius que, avui, són pràcticament d'ús exclusiu per a l'alimentació animal.

— El canvi climàtic afectarà de manera important l'agricultura de la zona. L'increment de les temperatures beneficiarà la diversitat d'espècies cultivables i la seva productivitat. No obstant això, la reducció de precipitacions i l'increment d'evapotranspiració provocarà una regressió dels cultius menys resistents a la sequera a les terres sense disponibilitat de reg, que són la majoria (més del 70% de les terres agrícoles de l'àmbit d'estudi).

— Les reduccions del rendiment econòmic que podria produir el canvi climàtic es poden superar considerablement centrant els cultius en la producció d'aliments per a consum humà.

## Agraïments i finançament

Agraïm a Itziar Müller (Asociación Ecoresiliencia) les seves contribucions en les fases inicials d'aquest treball i a Gabriel Borràs (Oficina Catalana del Canvi Climàtic) els seus comentaris constructius durant el desenvolupament del projecte. Aquest article és una síntesi explicativa d'un treball més extens finançat per l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic com a part del projecte LIFE MEDACC, disponible a <https://territori.gencat.cat/ca/detalls/Article/Estudi-sobre-ladaptacio-al-canvi-climatic-del-sector-agricola-de-lAlt-Pirineu-i-Aran>.

## Bibliografia

- AGUILERA, E.; DÍAZ-GAONA, C.; GARCÍA-LAUREANO, R.; REYES-PALOMO, C.; GUZMÁN, G. I.; ORTOLANI, L.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, M.; RODRÍGUEZ-ESTÉVEZ, V. (2020). «Agroecology for adaptation to climate change and resource depletion in the Mediterranean region. A review». *Agricultural Systems*, 181, p. 102809. DOI: 10.1016/j.agsy.2020.102809.
- ALARY, V.; MOULIN, C. H.; LASSEUR, J.; ABOUL-NAGA, A.; SRAÏRI, M. T. (2019). «The dynamic of crop-livestock systems in the Mediterranean and future prospective at local level: A comparative analysis for South and North Mediterranean systems». *Livestock Science*, 224, p. 40-49. DOI: 10.1016/j.livsci.2019.03.017.
- BERNUÉS, A.; RUIZ, R.; OLAIZOLA, A.; VILLALBA, D.; CASASÚS, I. (2011). «Sustainability of pasture-based livestock farming systems in the European Mediterranean context: Synergies and trade-offs». *Livestock Science*, 139, p. 44-57. DOI: 10.1016/j.livsci.2011.03.018.
- BRAVO, D. N.; ARAÚJO, M. B.; LASANTA, T.; MORENO, J. I. L. (2008). «Climate change in Mediterranean mountains during the 21st century». *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 37, p. 280-285. DOI: 10.1579/0044-7447(2008)37[280:CCIMMD]2.0.CO;2.
- CALBÓ, J.; GONÇALVES, M.; BARRERA, A.; GARCÍA, J.; DOBLAS, F.; GUEMAS, V.; CUNILLERA I GRAÑÓ, J.; ALTAVA ORTIZ, V. (2016). «Projeccions climàtiques i escenaris de futur». A: *Tercer informe del canvi climàtic a Catalunya* [en línia]. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans: Generalitat de Catalunya, p. 113-133. <<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/103153>> [Consulta: abril 2022].
- INSTITUT D'ESTADÍSTICA DE CATALUNYA (IDESCAT) (2016). *Anuari estadístic de Catalunya* [en línia]. <<https://www.idescat.cat/pub/?id=aec>> [Consulta: desembre 2021].
- LÓPEZ-MORENO, J. I.; BENISTON, M.; GARCÍA-RUIZ, J. M. (2008). «Environmental change and water management in the Pyrenees: Facts and future perspectives for Mediterranean mountains». *Global and Planetary Change*, 61, p. 300-312. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2007.10.004.
- MONT SANT, A.; BAENA, O.; BERNARDEZ, L.; PUIG, J. (2021). «Modelling the impacts of climate change on potential cultivation area and water deficit in five Mediterranean crops». *Spanish Journal of Agricultural Research*, 19, p. e0301. DOI: 10.5424/sjar/2021192-17112.
- NADAL-ROMERO, E.; LASANTA, T.; CERDÀ, A. (2018). «Integrating extensive livestock and soil conservation policies in Mediterranean mountain areas for recovery of abandoned lands in the central Spanish Pyrenees. A long-term research assessment». *Land Degradation & Development*, 29, p. 262-273. DOI: 10.1002/ldr.2542.
- NINYEROLA, M.; PONS, X.; ROURE, J. M. (2000). «A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques». *Inter-*

- national Journal of Climatology* [en línia], 20, p. 1823-1841. <<https://www.opengis.grumets.cat/acdc/catala/presentacio.htm>> [Consulta: maig 2022].
- NINYEROLA, M.; PONS, X.; ROURE, J. M.; MARTÍN-VIDE, J.; RASO-NADAL, J. M.; CLAVERO, P. (2003). *Atlas climàtic de Catalunya* [CD-ROM]. Barcelona: Servei Meteorològic de Catalunya: Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient.
- PAPADAKIS, J. (1966). *Climates of the world and their agricultural potentialities*. Buenos Aires: J. Papadakis.
- PASCUAL, D.; ZABALZA MARTINEZ, J.; FUNES, I.; VICENTE-SERRANO, S. M.; PLA, E.; SAVÉ, R.; ARANDA, X.; BIEL, C. (2016). «Impacts of climate and global change on the environmental hydrological and agriculture systems in the LIFE MEDACC case study basins». *Deliverable 14* [en línia] [LIFE MEDACC]. <<http://medacc-life.eu/document/deliverable-14-impacts-climate-and-global-change-ecological-hydrological-and-agriculture>> [Consulta: desembre 2021].
- PUIG, J.; MONTSANT, A. (2017). *Adaptació al canvi climàtic del sector agrícola de l'Alt Pirineu i Aran: riscos i oportunitats* [en línia]. MEDACC. <[http://medacc-life.eu/sites/medacc-life.eu/files/docuemnts/resum\\_executiu.pdf](http://medacc-life.eu/sites/medacc-life.eu/files/docuemnts/resum_executiu.pdf)> [Consulta: desembre 2021].