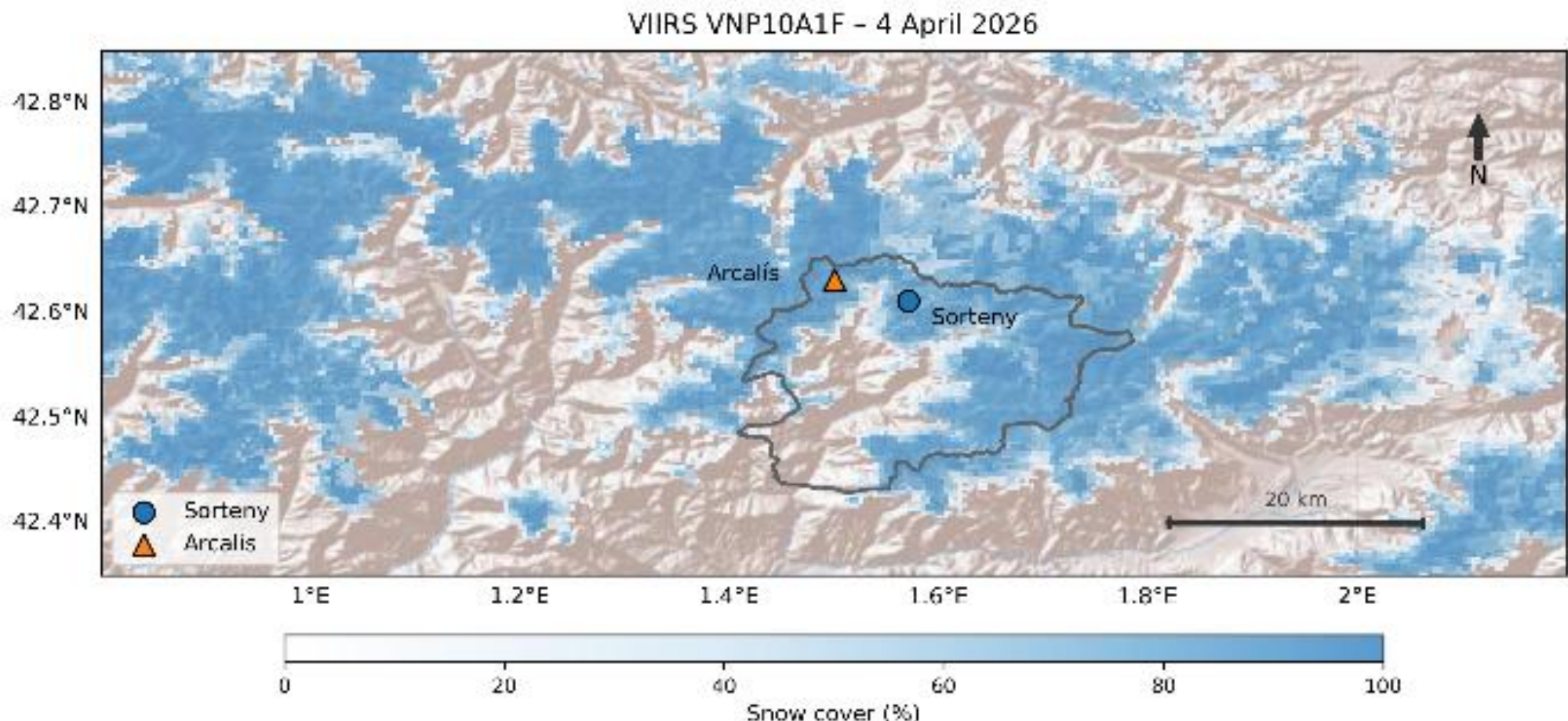


L'índex MSI com a eina de síntesi nivoclimàtica: cas d'aplicació a Andorra

1. Introducció i objectius

La caracterització de les temporades de neu amb indicadors és una eina clau per interpretar l'evolució del mantell nival i contextualitzar les observacions en relació amb la variabilitat climàtica recent. Els indicadors permeten quantificar i classificar el recurs hídric nival i anticipar-se a possibles escenaris futurs en un context de canvi climàtic. Els principals objectius són:

- Actualitzar la sèrie nivometeorològica de Sorteny (2009–2026) i Arcalís (1980–2026)
- Avaluar la capacitat de l'índex MSI per classificar i qualificar les temporades
- Comparar MSI amb altres indicadors amb l'objectiu de determinar les seves fortaleeses, limitacions i possibles ajustos



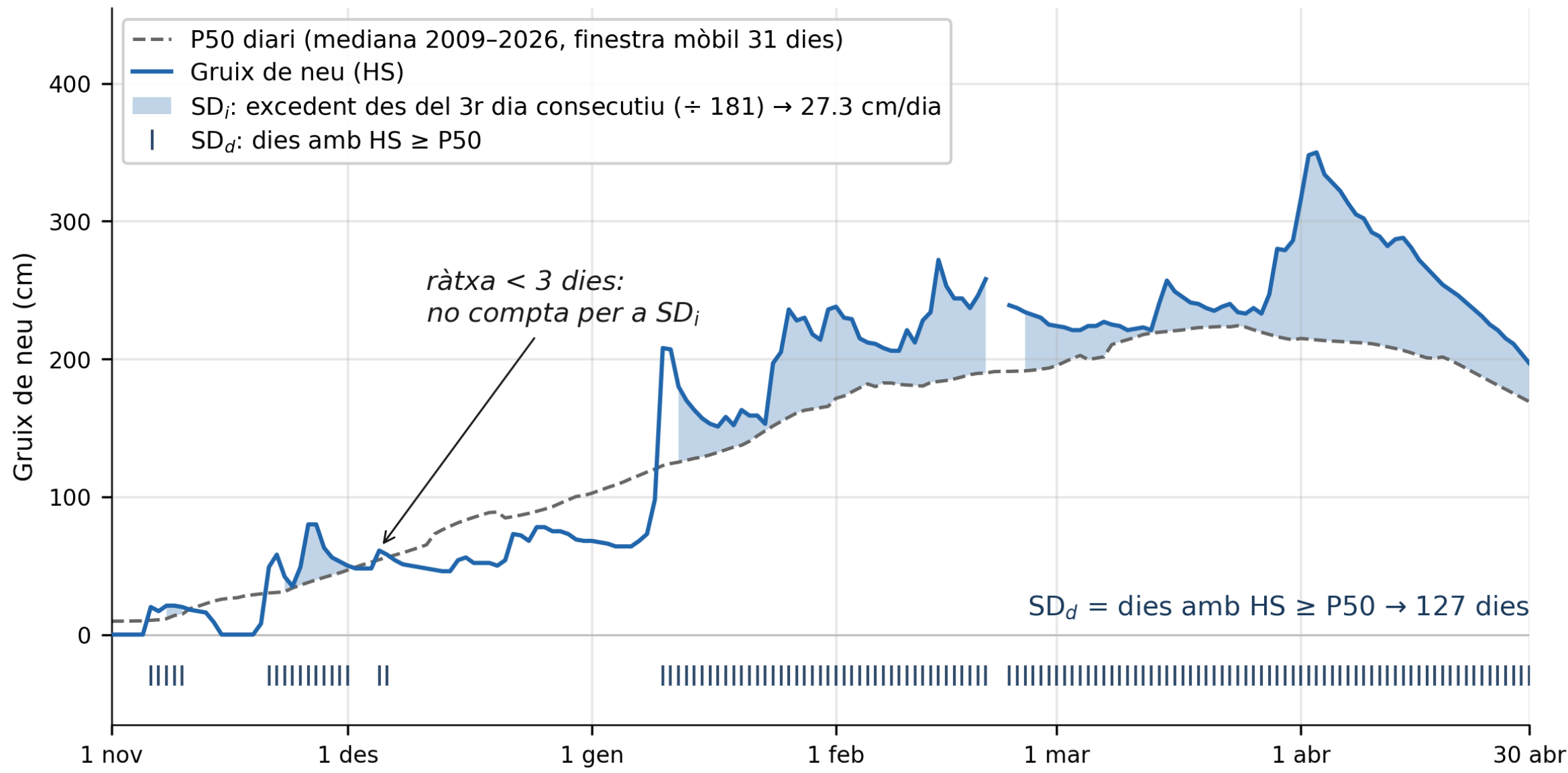
Sorteny — 2.290 m
sèrie contínua
(17 temporades)

Arcalís — 2.059 m
observació manual
(referència llarga de contrast)

Figura 1. Àrea d'estudi amb la localització de les dues estacions nivometeorològiques: Sorteny (2.290 m) i Arcalís (2.059 m)

2. Metodologia

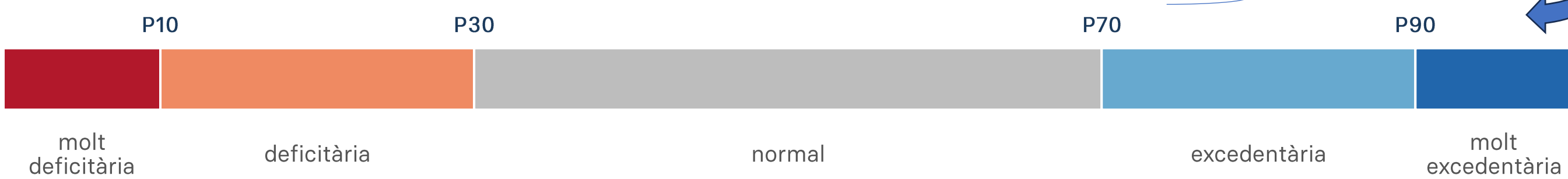
Com es construeix l'indicador MSI — Sorteny, temporada 2025-26



SD_d i SD_i → percentil dins la referència → $MSI_{score} = \frac{(SD_d + SD_i)}{2}$

Hsmean → gruix de neu mitjà per temporada → $HSmean_{score} = mean(HS)$

CLASSIFICACIÓ
PER
PERCENTILS



3. Classificació índex MSI

Desplaçament del MSI_{score} amb la verificació leave-one-out — Sorteny
(punt: valor estàndard · fletxa: valor amb la temporada exclosa de la referència)

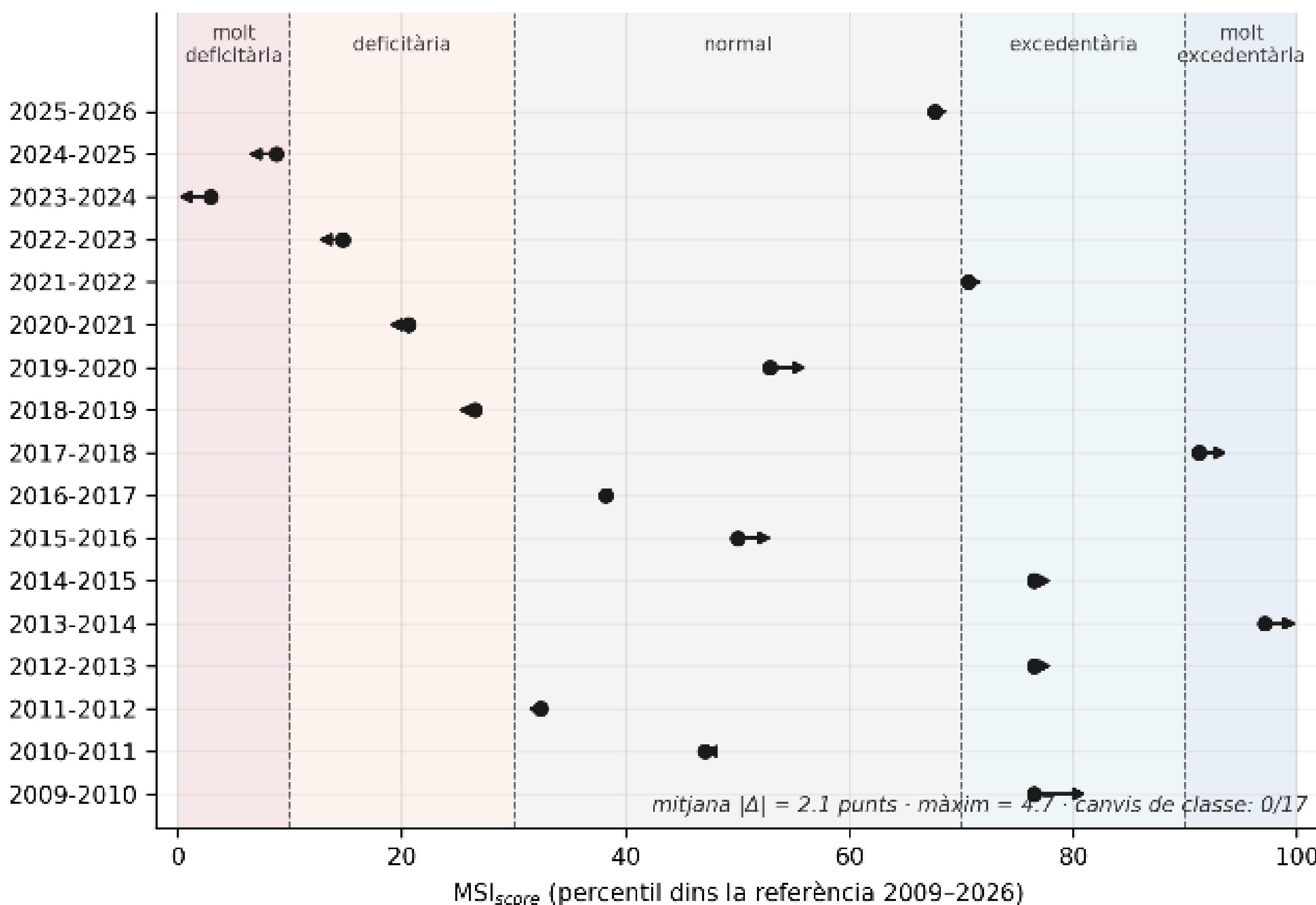


Figura 3: Verificació leave-one-out: puntuació estàndard (punt) i amb la temporada exclosa de la seva pròpia referència (fletxa), sobre les 5 classes operatives.

0 / 17

±2,1 punts

temporades canvien de classe amb el leave-one-out

desplaçament mitjà del MSI_{score} (màx. 4,7): sistemàtic i sense creuar cap tall

No canvia de classe, el desplaçament de les puntuacions és sistemàtic i es reforça la seva direcció sense creuar cap líndar de classe.

4. Sensibilitat període de referència

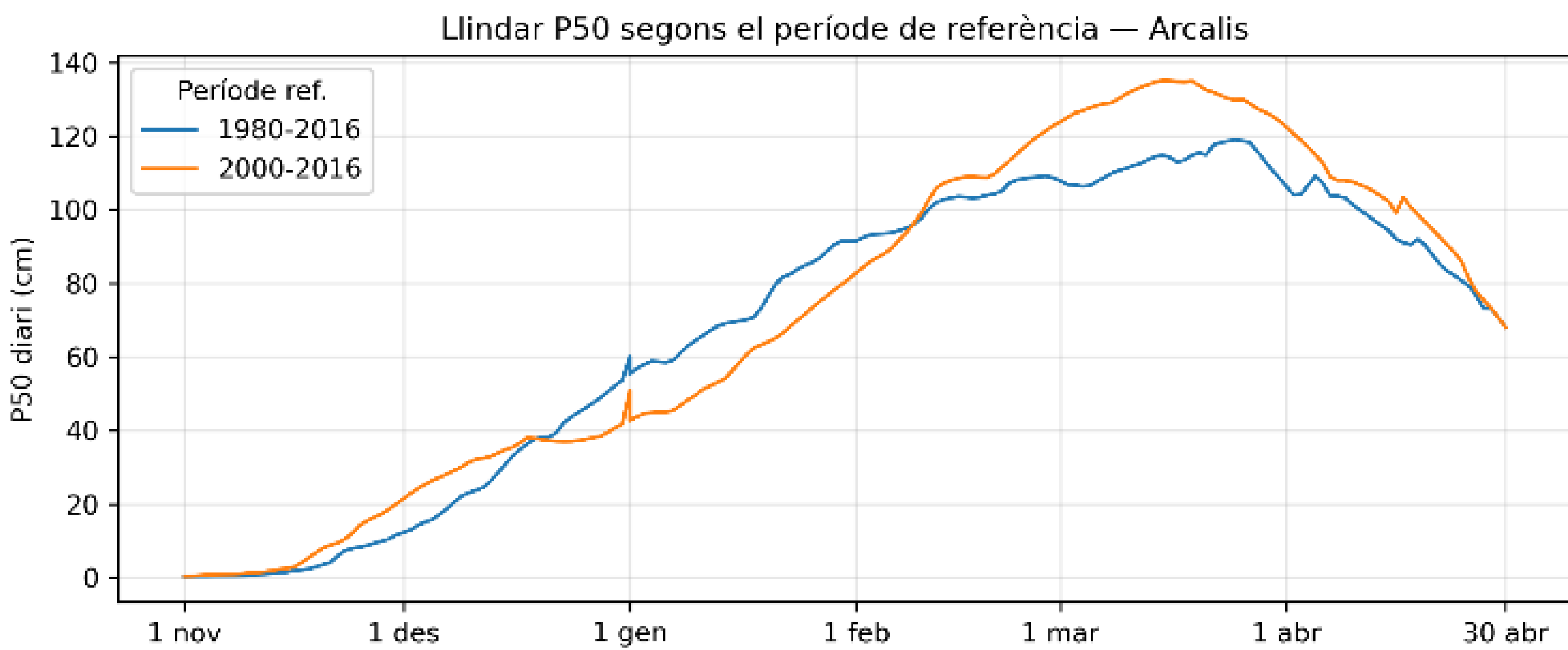


Figura 2. Llindar P50 de gruix de neu diari (HS) a Arcalís, amb finestra mòbil de 31 dies, per al període novembre – abril.

ARCALÍS	+3,2 cm	21,9 cm	10 / 37
Desplaçament mitjà del P50 amb la normal			
Desplaçament màxim			
Temporades canvien de classe segons el període			
SORTENY	+7,1 cm	24,0 cm	7 / 17

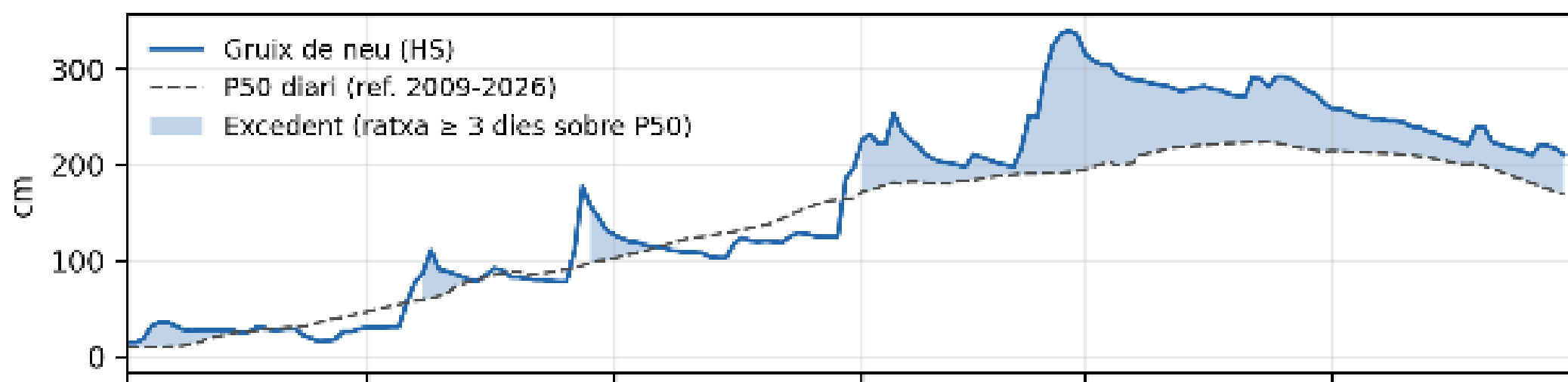
Rang Jackknife	SD_d Sorteny (dies)	SD_d Arcalís (dies)	SD_i Sorteny (cm/dia)	SD_i Arcalís (cm/dia)
Mitjana	7,2	5,2	2,4	1,5
Mediana	5	4	2,7	1,4
Màxim	22	20	4,6	3,2

Taula 1. Resultat de l'anàlisi de diagnosi Jackknife per SD_d i SD_i a les estacions de Sorteny i Arcalís. La sensibilitat típica és menor amb la referència llarga; el màxim depèn del perfil de cada temporada, no de la longitud (17 vs. 37 temporades).

5. MSI vs HSmean

Sorteny — Temporades en desacord de classificació

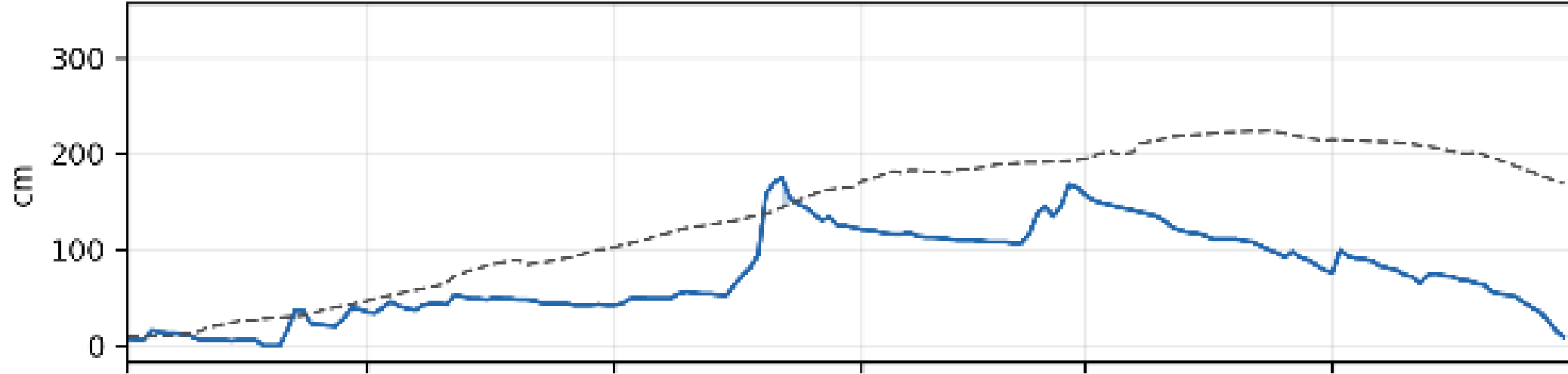
2014-2015 · Tradicional: normal ($HSmean = 164$ cm) · MSI: excedentària ($SD_d = 130$ dies, $SD_i = 28.8$ cm/dia)



14 / 17

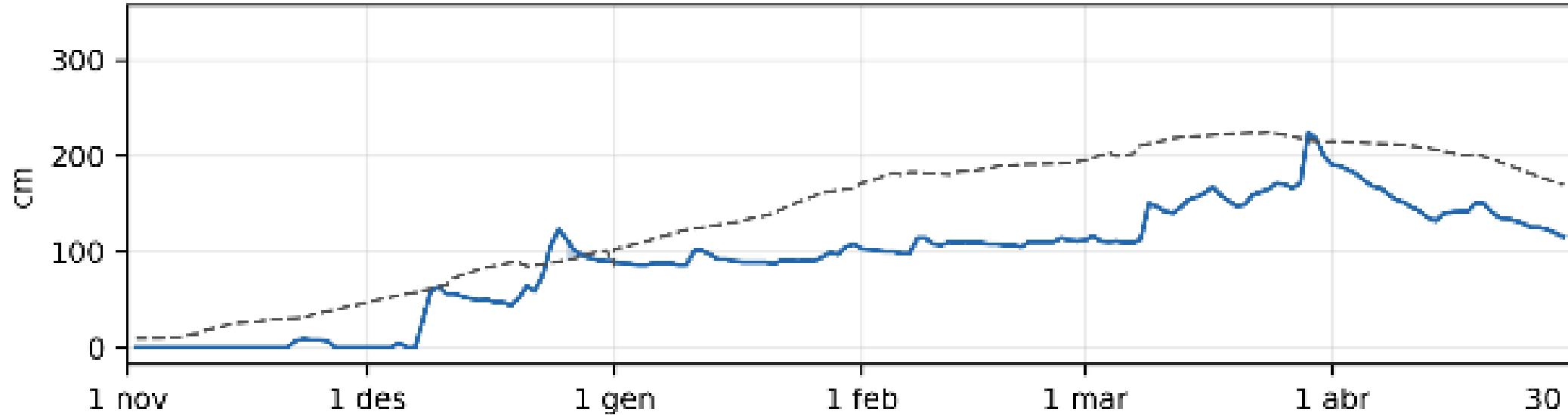
temporades coincideixen amb la qualificació per HSmean a Sorteny.

2022-2023 · Tradicional: molt deficitària ($HSmean = 75$ cm) · MSI: deficitària ($SD_d = 11$ dies, $SD_i = 0.4$ cm/dia)



Els 3 desacords són d'una classe adjacent i interpretables:
2014-15: hivern persistent (130 dies > P50) que el gruix mitjà dilueix — l'MSI el reconeix.

2024-2025 · Tradicional: deficitària ($HSmean = 92$ cm) · MSI: molt deficitària ($SD_d = 8$ dies, $SD_i = 0.4$ cm/dia)



2022-23 i 2024-25: ordre de severitat invertit — l'MSI satura a la banda deficitària (percentils de durada i magnitud idèntics).

Figura 4: – Evolució diària del gruix de neu HS (línia contínua) i del líndar P50 (discontinua) a Sorteny per a les tres temporades amb desacord entre la classificació MSI i la tradicional; l'ombregat marca SD_d , l'excedent comptabilitzat per l'índex (ratxes ≥ 3 dies sobre el P_{50}).

- s'ha fet el càlcul del dèficit de l'índex, per a les temporades del trienni sec (2022-2025)
- els resultats mostren que amb dues temporades amb nombre de dies per sota el P_{50} similars (170 i 173 dies respectivament), la magnitud distingeix la 2022-23 (63,9 cm/dia) de la 2024-25 (46,5 cm/dia), sent aquesta darrera menys deficitària.

Conclusions

Codi: llibreria SnowDepthAnalysis (R i Python), al GitHub

- L'aplicació de l'índex MSI a la sèrie contínua de 17 anys de Sorteny (2009–2026) mostra sintètica i adequadament el comportament global d'una temporada, coincidint amb la qualificació del gruix de neu mitjà per percentils en 14 dels 17 casos.
- L'anàlisi amb Jackknife de la sèrie d'Arcalís i Sorteny pels dos subperíodes analitzats confirma que la diferència rangs de SD_d i SD_i no s'explica per la longitud de la sèrie de referència sinó pel règim nivoclimàtic de cadascuna i la variabilitat específica de cada zona.
- Pel que fa a la magnitud, s'ha detectat que la formulació operativa publicada de l' SD_i incorpora, en temporades amb ratxes de poca magnitud, excedents dels dos primers dies de cada superació del líndar, que la pròpia definició de l'indicador i del càlcul de l'excedent exclou.

Agraïments:

Els responsables de pistes de les estacions d'esquí d'Andorra (Pal-Arinsal, Ordino-Arcalís, Soldeu - el Tarter i Pas de la Casa - Grau Roig), i al Servei Meteorològic Nacional.