
This is the **published version** of the bachelor thesis:

Aleman Milan, Oscar; Zabala Torres, Alaitz, dir. Teledetecció de la coberta de gel estacional dels estanys d'alta muntanya d'Aigüestortes. Teoria i nous mètodes per a estanys de mida petita en la fase de congelació. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona, 2021-2022. (1390 Geografia, Medi Ambient i Planificació Territorial)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/264234>

under the terms of the  **CC BY-NC-ND** license

TREBALL DE FINAL DE GRAU

Teledetecció de la coberta de gel estacional dels estanys d'alta muntanya d'Aigüestortes. Teoria i nous mètodes per a estanys de mida petita en la fase de congelació

Autor: Òscar Alemán Milán

Tutora: Alaitz Zabala Torres

Grau: Geografia i Ordenació del Territori

Data d'entrega: 5 de juny de 2022

Grau: Geografia i Ordenació del Territori

Curs acadèmic: 2021/22

L'estudiant Òscar Alemán Milán amb NIF 38846446K

Lliura el seu TFG amb:

Títol "Teledetecció de la coberta de gel estacional dels estanys d'alta muntanya d'Aigüestortes. Teoria i nous mètodes per a estanys de mida petita en la fase de congelació"

TUTOR/A: Alaitz Zabala Torres.

Declaro que el Treball de Fi de Grau que presento és fruit de la meva feina personal, que no copio ni faig servir idees, formulacions, cites integrals o il·lustracions diverses, extrems de cap obra, article, memòria, etc. (en versió impresa o electrònica), sense esmentar-ne de forma clara i estricta l'origen, tant en el cos del treball com a la bibliografia.

Sóc plenament conscient que el fet de no respectar aquests termes implica sancions universitàries i/o d'un altre ordre legal.

OSCAR
ALEMAN
MILAN - DNI
38846446K

Firmado
digitalmente por
OSCAR ALEMAN
MILAN - DNI
38846446K
Fecha: 2022.06.05
23:03:50 +02'00'

Signatura de l'Estudiant

Signat digitalment
per ALAITZ
ZABALA TORRES -
DNI 47643288F
Data: 2022.06.05
22:55:30 +02'00'

Vist-i-plau Tutor/a

Bellaterra, 5 de juny de 2022

ÍNDEX DE CONTINGUTS

Resum	4
1 Introducció.....	5
2 Marc teòric.....	8
2.1 Fenologia del gel dels estanys	8
2.2 Principis de teledetecció de la coberta de gel/aigua dels estanys	9
3 Dades i mètodes.....	14
3.1 Conjunt de dades.....	14
3.1.1 Selecció d'estanys	14
3.1.2 Dades in situ	16
3.1.3 Dades de teledetecció	19
3.2 Metodologia	20
3.2.1 Treball de camp	20
3.2.2 Tecnologies emprades	23
3.2.3 Algorisme general de teledetecció.....	24
3.2.4 Filtratge de núvols	25
3.2.5 Calibratge i lindars	26
3.2.6 Estudi de valors atípics, vàlids i mínims	27
3.2.7 Algorisme de detecció de la data de congelació completa	27
4 Resultats i discussió.....	29
4.1 Reflectàncies, resultats del calibratge i de l'estudi de mínims.....	29
4.2 Fase de congelació dels estanys monitoritzats amb càmeres 2021-22	31
4.3 Dates de congelació i validació.....	34
4.4 La variabilitat temporal de la coberta de gel dels estanys d'Aigüestortes	35
5 Conclusions	37
6 Referències bibliogràfiques	38
Annexos	40
I. Evolució dels estanys amb càmeres 2021-22	41
II. Gràfiques i taules amb les dates de congelació 2000-22	48
III. Diagrames de caixa del calibratge 2015-21.....	52

IV. Gràfiques de reflectància 2021-22	59
V. Exemple de taula de reflectàncies.....	85
VI. Taules de resultats de QA_PIXEL/Fmask.....	88
VII. Exemple d'informe de l'algorisme detecció data.....	92
VIII. Exemple d'informe d'estudi de mínims i valors atípics	95
IX. Detall de l'algorisme de detecció automàtica i flux de treball.....	105
X. Codi font.....	109

RESUM

La fenologia del gel dels llacs pirinencs està poc estudiada tot i ser un bon indicador que milloraria la comprensió que tenim del canvi climàtic i dels seus impactes en aquests ecosistemes tan sensibles. Així doncs, en aquest treball, s'exploren les possibilitats de la teledetecció per a estanys d'alta muntanya de mida petita, entre les 5 i les 25ha en l'àmbit del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, i al llarg de 22 temporades d'hivern, des de l'any 2000 fins al 2022, a la recerca de les dates de congelació completa. Al mateix temps, s'analitzen les problemàtiques dels píxels mixtes, noves tècniques de recollida de dades in situ, i un algorisme de detecció automàtica.

Paraules clau: teledetecció, gel dels llacs, estanys gelats, estanys petits, limnologia

RESUMEN

La fenología del hielo de los lagos pirenaicos está poco estudiada a pesar de ser un buen indicador que mejoraría la comprensión del cambio climático y sus impactos en estos ecosistemas tan sensibles. Así pues, en este trabajo, se exploran las posibilidades de la teledetección para lagos de alta montaña de pequeño tamaño, entre las 5 y las 25 ha en el ámbito del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, y durante 22 temporadas de invierno, desde el año 2000 hasta el 2022, en busca de las fechas de congelación completa. Al mismo tiempo, se analizan las problemáticas de los píxeles mixtos, nuevas técnicas de recogida de datos in situ y un algoritmo de detección automática.

Palabras clave: teledetección, hielo de los lagos, lagos helados, lagos pequeños, limnología

ABSTRACT

The ice phenology of the Pyrenean lakes has been little studied despite being a good indicator that would improve the understanding of climate change and its impacts on these highly sensitive ecosystems. Thus, in this work, the possibilities of remote sensing for small high mountain lakes are explored, between 5 and 25ha around the Aigüestortes i Estany de Sant Maurici National Park, and for 22 winter seasons, from the year 2000 to 2022, looking for the freeze up ending dates. At the same time, the problems of mixed pixels, new data collection techniques in situ and an automatic detection algorithm are analyzed.

Keywords: remote sensing, lake ice, frozen lakes, small lakes, limnology

1 INTRODUCCIÓ

Com a conseqüència de l'escalfament global s'ha observat una pèrdua significativa del gel d'aigua dolça en molts indrets del planeta. En termes generals s'ha documentat àmpliament, però encara manca una avaluació a gran escala de la pèrdua de gel dels llacs. Val a dir, que aquest gel proporciona una àmplia varietat de serveis ecosistèmics, entre ells la pesca, diverses tradicions culturals, el transport, la recreació i la regulació del cicle hidrològic, impactant de ple en milions de persones, i posant de manifest la necessitat de generar estratègies de mitigació del risc en front del clima canviant (Sharma et al., 2019). D'altra banda, la capa de gel juga un paper fonamental en els processos físics, biogeoquímics i ecològics dels llacs, posant de relleu la importància de la limnologia hivernal, que segueix essent encara poc estudiada (Sharma et al., 2020).

Els registres de la coberta de gel dels llacs que incloguin les dates de congelació i ruptura (descongelació) d'una sèrie temporal llarga de moltes zones lacustres no estan documentats de manera consistent, fet que limita críticament la comprensió de les interaccions entre el gel del llacs i el clima (S. Zhang & Pavelsky, 2019). Alguns dels que sí es coneixen moltes dades, mostren dates de congelació completa més tardanes, però sobretot, dates d'inici de ruptura i de descongelació completa cada vegada més primerenques, i, per tant, manifesten una regressió en la duració del gel estacional (Benson et al., 2012).

Als Pirineus, la temperatura mitjana de l'aire ha pujat 0,2 °C per dècada entre 1959 i 2010, així mateix, se sap que hi hagut una disminució de la duració de la coberta de neu, sobretot escurçada per la primavera, que pot tenir relació amb els canvis estacionals observats, que indiquen que l'escalfament a nivell regional ha estat més acusat a la primavera i a l'estiu (OPCC-CTP, 2018). D'aquest fet, es fa esperable detectar modificacions en la duració de la coberta de gel dels llacs pirinencs, especialment en la data del final de la ruptura, però encara no hi ha prou informació al respecte per saber si existeix cap tipus de tendència.

Així doncs, amb aquest treball es pretén aportar llum a la fenologia del gel dels llacs pirinencs, en concret dins de l'àmbit del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (PNAESM), que és la zona lacustre més important de la serralada. Per aquest motiu, i per respecte a la forma pròpia del territori, d'ara en endavant es parlarà majoritàriament d'estanys i no de llacs, i, alternativament també, s'utilitzarà la forma aranesa *lac* o *estanh* per fer referència als estanys de la Val d'Aran, i en tot cas, en aquest context, aquestes seran denominacions enteses com a sinònimes.

Per un altre costat, la recollida de dades in situ dels estanys gelats varia molt segons la regió, ja sigui amb finalitat científica, cultural o socio-econòmica. En alguns indrets, els arxius històrics són gratament sorprenents, i molt valuosos, amb sèries històriques de més de 500 anys (Sharma et al., 2019). D'altra banda, l'inici de recollida de dades sobre els

canvis de la coberta de gel estacional als estanys pirinencs és molt més recent. El *lac Redon* és un dels pioners arrel d'uns estudis que es van iniciar l'any 1984, on es van fer els primers perfils estratigràfics detectant espessors d'entre 2 i 5 metres de gel segons l'any (Catalan, 1989; Catalan et al., 1992). Fins aleshores, la informació de la qual es disposava es limitava a algunes visites esporàdiques i a especulacions (Ballesteros et al., 1990). Uns anys després, es va mesurar la duració de coberta en 4,5 mesos la temporada 1996/97, i en 5,8 mesos la 1997/98 (Ventura et al., 2000). Al mateix temps, es comencen a entendre millor els canvis fisicoquímics que es produeixen a la columna d'aigua segons la presència o no de gel, destacant el ràpid alliberament de carboni a l'atmosfera en el moment de la ruptura. Més tard, es varen instal·lar uns termistors a diferents estanys del PNAESM que monitoritzen la temperatura de l'aigua amb la que es podria inferir el moment de la congelació. Recentment, amb aquestes dades s'ha fet una caracterització dels factors més importants de la variació tèrmica superficial (Sabás et al., 2021).

Malgrat tot, no existeix en l'àmbit d'estudi una sèrie continua robusta de dates de congelació i ruptura que permeti entendre com ha evolucionat aquest fenomen. Molt probablement, un dels motius principals ha estat la dificultat d'accés en condicions hivernals a la majoria d'aquests estanys que es troben a varies hores a peu per camins que tot sovint transcorren per terreny d'allaus. Val a dir, que aquesta problemàtica es pot estendre a moltes d'altres serralades alpines. Des d'aquest punt de vista, la teledetecció pot jugar un paper molt important, però es topa amb un altre escull, que és la baixa resolució espacial dels sensors amb major resolució temporal, que és imprescindible per copsar els processos de transició aigua-gel-aigua i així identificar les dates rellevants amb major precisió. Això es veu agreujat perquè molt sovint, els estanys d'alta muntanya són de mida massa petita respecte de la mida de píxel d'aquestes imatges de satèl·lit, i, a més d'això, quan més petit l'estany, més ràpids succeeixen aquests processos, i per tant, augmenta la dificultat de detecció (S. Zhang & Pavelsky, 2019). Tanmateix, les noves tècniques obren noves possibilitats a explorar.

Sharma et al. (2020) exposa que el futur immediat per a la limnologia hivernal passa per integrar quatre disciplines: observacions in situ, observacions de teledetecció, models basats en processos (físics), i experiments. Al seu torn, comenta que els avenços en la teledetecció actual venen donats per la fusió i harmonització de dades provinents de diferents sensors, i per tant, per integrar un conjunt de dades que permetin millorar la resolució final. Val a dir, que aquest plantejament es veu encara més necessari per l'estudi d'estanys petits, pel qual, el referent a dia d'avui, és l'algorisme de detecció automàtica aportat per S. Zhang & Pavelsky (2019), que van ser capaços d'identificar les dates de congelació i ruptura, així com la fracció de gel de la coberta, en una gran quantitat d'estanys a partir de les 13h.

Finalment, aquest treball es va centrar en crear un nou algorisme de detecció automàtica de la data de congelació completa d'estanys de 5 a 25ha, utilitzant una variant pròpia de l'enfoc de S. Zhang & Pavelsky (2019). Per això, es van seleccionar els 26 estanys de règim hidrològic natural de més de 5ha del PNAESM (veg. mapa de la figura 1), per analitzar-los 22 temporades d'hivern (2000-22) amb imatges de MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). D'altra banda, per suplir la mancança de dades in situ per validar els resultats de teledetecció, es van instal·lar 7 càmeres automàtiques (*time lapse*). També, aquestes fotografies han ajudat a entendre millor els processos de congelació dels estanys de mida petita i l'afectació dels píxels mixtes. Amb tot, s'ha volgut començar a preparar les bases per posar en un futur els estanys dels Pirineus a les bases de dades mundials de la fenologia del gel dels estanys, i així contribuir a una millor comprensió del canvi climàtic i dels seus impactes en aquests ecosistemes tan sensibles.

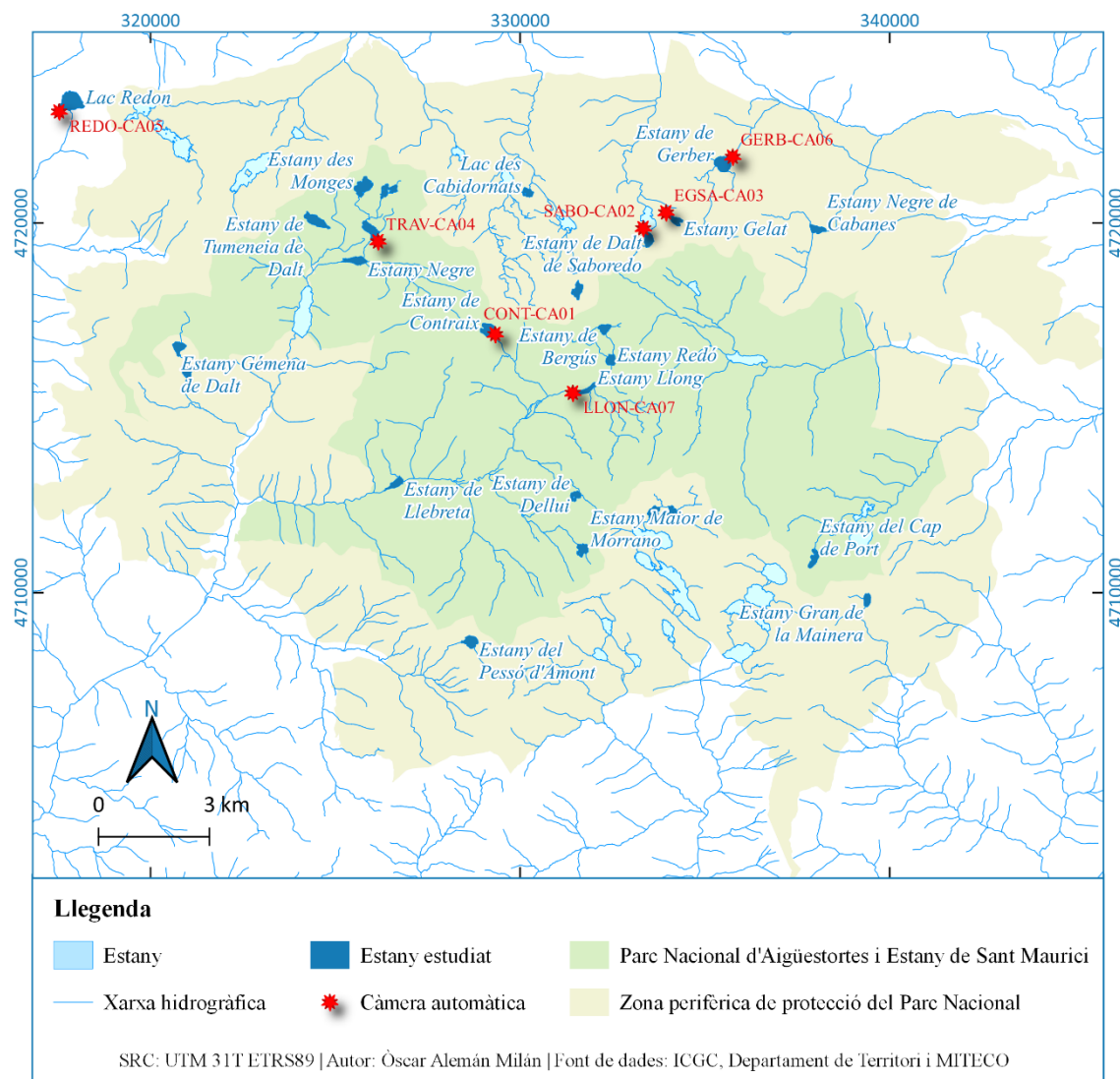


Figura 1 Mapa de l'àmbit d'estudi (Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici). Font: Elaboració pròpia.

2 MARC TEÒRIC

2.1 Fenologia del gel dels estanys

En aquesta àrea temàtica la fenologia s'entén com el cicle de formació i fusió de la coberta de gel estacional dels estanys. Per tant, hi ha una temporalitat en la presència de gel que es pot repetir cada temporada (hivern), o no. De la mateixa manera, pot haver-hi una continuïtat en el temps de la congelació completa fins a la seva fusió o ruptura definitiva, o fins i tot, podria haver-hi intermitències amb congelació-fusió-congelació-fusió total dins d'una mateixa temporada, tot i que probablement, no sigui el més habitual. Les diferents fases de la fenologia s'identifiquen i es descriuen a la *figura 2*.

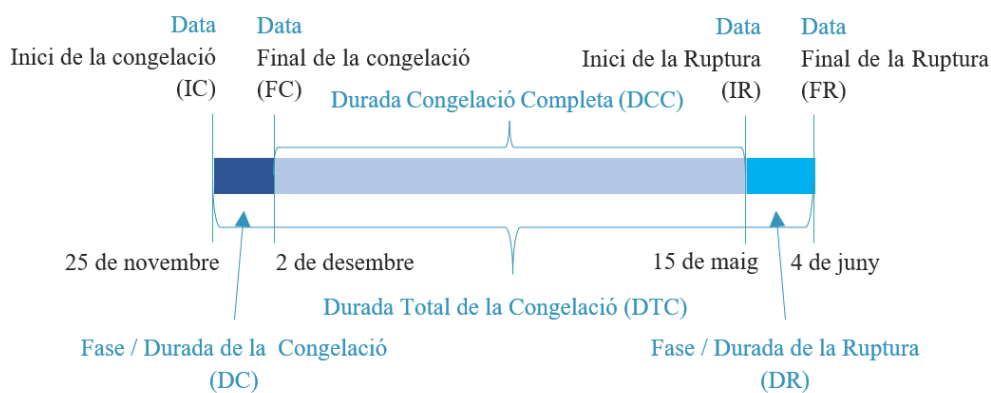


Figura 2 Esquema, fases i definicions de l'evolució temporal de la coberta de gel estacional d'un estany. Proposta i adaptació al català (Yang et al., 2019; X. Zhang et al., 2021). Font: Elaboració pròpia.

Per un altre costat, els dos tipus principals de gel que es formen en els estanys són: el negre i el blanc. El gel negre es forma per la congelació de la capa de l'aigua superficial de l'estany a causa de la baixa temperatura de l'aire, i aquest va creixent de la base de la capa de gel en direcció cap al fons de l'estany. D'altra banda, el gel blanc es forma de la superfície del gel cap amunt quan s'introdueix aigua a la matriu de neu, i el granissat resultant es torna a congelar. L'aigua introduïda pot provenir de l'aigua de pluja que cau sobre l'estany congelat amb neu a sobre, de la fusió de la neu a meitat de temporada, o de la intrusió d'aigua del mateix estany a mesura que el pes de la capa de neu fa baixar la capa de gel per sota del nivell de l'aigua (Brown & Duguay, 2010; Sharma et al., 2020) (veg. *figura 3*). Aquests processos de formació de gel s'han pogut observar en superfície en el transcurs del present estudi sobre el *lac Redon*, tal com podeu veure a la *figura 4*.

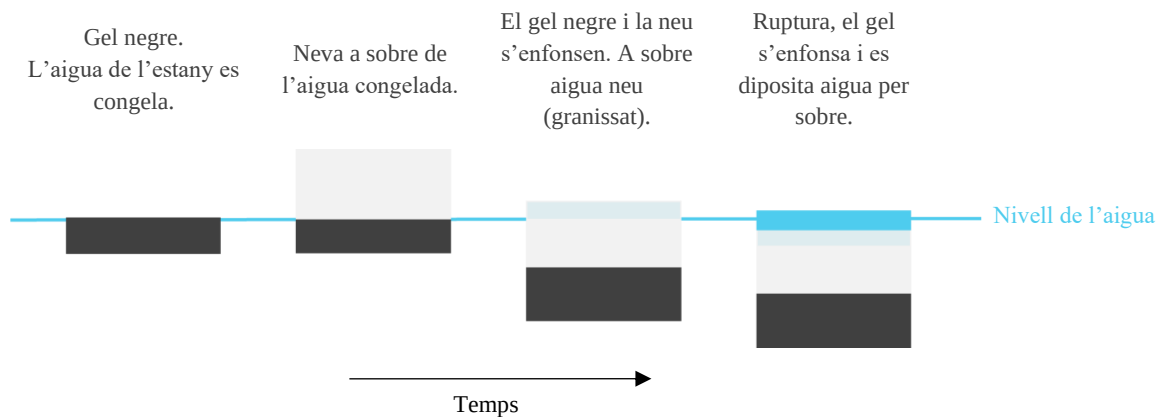


Figura 3 Esquema del procés de formació de la coberta de gel dels estanys. Font: Elaboració pròpia.

Altrament, els factors que intervenen en la congelació poden ser de dos tipus: factors climàtics i factors específics de cada estany. Els principals factors climàtics són: la temperatura de l'aire, la radiació solar relacionada amb la topografia, la precipitació i la velocitat del vent. I els principals factors específics són: la morfometria (profunditat, superfície i volum), l'altitud i la seva ubicació a la Terra (longitud i latitud) (X. Zhang et al., 2021). Així doncs, aquests factors són els que fan que un estany es congeli abans que un altre. Per exemple, un estany més profund, tindrà una termoclina més profunda, i com a tal, una inèrcia tèrmica més alta que farà que li costi més arribar al punt de congelació, i de manera inversa, un estany més petit i menys profund es congelarà abans. Així mateix, segons la forma i l'àrea que ocupa pot tenir una major influència del vent que, per un costat, podria debilitar la capa de gel quan encara és prima i descongelar-lo totalment, i per un altre, el vent es podria emportar la neu que també contribueix a la formació del gel blanc, i per tant, afectar al gruix i a la duració de la coberta. També, és important l'impacte de la connectivitat hidrològica, ja que a temps de residència de l'aigua més curts, els impulsos mecànics poden dificultar la congelació, seria el cas per exemple de l'entrada d'un riu important a un estany (Brown & Duguay, 2010; Jeffries et al., 2013; Sharma et al., 2020).

2.2 Principis de teledetecció de la coberta de gel/aigua dels estanys

La teledetecció ofereix un gran potencial per detectar la fenologia del gel dels estanys (X. Zhang et al., 2021). Tanmateix, la teledetecció aplicada a estanys petits, de menys d'1 km² (100 ha), es veu obstaculitzada per la resolució espacial moderada que tenen els sensors amb major resolució temporal. A més, comparativament, un estany més petit es pot congelar més ràpidament que un altre de grans dimensions, a cops, d'un dia per l'altre, augmentant així, la probabilitat que aquesta fase passi desapercebuda pels sensors. Aquesta dificultat, justifica que la teledetecció per a caracteritzar la fenologia del gel d'estanys de menys de menys de 100 ha esdevé, a dia d'avui, quasi inexplorada (S. Zhang & Pavelsky, 2019).

Sí ens centrem en la teledetecció òptica, podem afirmar que, resolucions com les de la sèrie Landsat (30m cada 16 dies), rarament recolliran les fases de transició aigua-gel-aigua, tenint en compte, a més a més, la més que probable afectació per núvols que provoca llargs períodes sense dades. D'altra banda, les imatges de la constel·lació de Sentinel-2A/B, amb un període de revisita de 5 dies i fins a 10m mida de píxel, milloren les possibilitats, però no permeten anar gaire endarrere en el temps per la seva joventut. En definitiva, ni Landsat ni Sentinel permeten precisar gaire bé la fenologia. Cal una imatge diària.

Així doncs, les imatges diàries de MODIS són les que podrien detectar amb més precisió temporal el fenomen, però, amb la gran limitació de la baixa resolució espacial, que, en els productes de reflectància MOD09GQ es pot arribar als 250 metres, però només a la banda 1 (vermell), i la banda 2 (IRp). Una resolució, encara molt baixa per cobrir les necessitats d'estanys de menys de 10 ha, que en el conjunt del PNAESM són majoria, així com també en el conjunt dels Pirineus, o d'altres serralades alpines. Així que, una primera conclusió seria la necessitat de plantejar nous enfoccs, que passen, com ja s'ha dit, per la integració de dades de diferents sensors per intentar amplificar el senyal. En aquest sentit, S. Zhang & Pavelsky (2019) van fer un pas endavant utilitzant la banda vermella de MODIS per a les dades de reflectància, Landsat Fmask per a calibrar-les, i el producte de temperatura MERRA-2 per a filtrar els valors atípics.

D'altra banda, existeixen altres possibilitats, com metodologies basades en dades de temperatura superficial, més que no pas de reflectància. També, l'ús de radars d'apertura sintètica (SAR), sensors actius pel quals els núvols són invisibles, i que a priori, semblarien una bona opció per a la detecció del gel dels estanys de mida petita. En tot cas, per això, els avenços tecnològics, la integració i harmonització de dades de diferents orígens, i el treball en equips pluridisciplinaris, proporcionen els mitjans necessaris per ampliar els límits de la disciplina de la limnologia hivernal (Sharma et al., 2020). A la *taula 1* es troba un resum de les tècniques o algorismes de teledetecció més susceptibles de poder ser aplicats a estanys petits. Per un altre costat, un altre obstacle per a millorar els procediments de teledetecció, és la manca de dades in situ per validar els resultats obtinguts en algunes zones, com és el cas dels Pirineus. Així mateix, cal tenir en compte el biaix en sí que tenen les observacions terrestres a causa de la posició, perspectiva i subjectivitat de l'observador.

Satèl·lit / Sensor	Tipus de sensor	Any d'inici	Any final	Resolució espacial més alta	Resolució temporal més alta	Algorismes de detecció del gel dels estanys
MODIS	Òptic	2000	En marxa	250 m	Dos cops al dia	(Brown & Duguay, 2012; Chaouch et al., 2014; S. Zhang & Pavelsky, 2019)
VIIRS	Òptic	2013	En marxa	250 m	Diària	(Liu et al., 2016)
Landsat	Òptic	1972	En marxa	30 m	16 dies	(Barbieux et al., 2018; Cook & Bradley, 2010)
RADARSAT ½	Microones actiu	1995	En marxa	100 m	Variable	(Cook & Bradley, 2010; Geldsetzer et al., 2010)
Sentinel- 1A/B	Microones actiu	2014	En marxa	5*20	6 dies	(Duguay & Wang, 2019)
Sentinel- 2A/B	Òptic	2015	En marxa	10 m	5 dies	(Pointner et al., 2019)

Taula 1 Resum d'instruments i algorismes de detecció remota susceptibles de ser útils per estudiar el gel dels estanys petits. Font: Elaboració pròpia adaptat de Sharma et al. (2020).

A mode d'exemple, les següents figures mostren la variabilitat temporal de la coberta de gel del lac Redon a través d'imatges de teledetecció. De les imatges, es pot destacar la situació del 31 de desembre després d'intenses pluges a sobre de la coberta de gel, la qual també s'aprecia a la primera fotografia de la figura 4. Val a dir, que la imatge de color fals la capta perfectament, així mateix, un pic de la gràfica de l'índex d'aigua (NDWI). D'altra banda, a la figura 8 de les signatures espectrals es pot veure la confusió entre l'aigua i el gel negre.



Figura 4 Imatges de la càmera del lac Redon del 31-12-2021 i de 15-12-2021. A la primera s'observa gel viu després de pluges, i a la segona, la coberta després d'una nevada. Ambdues situacions identificables a la figura 5. Font: Elaboració pròpia.

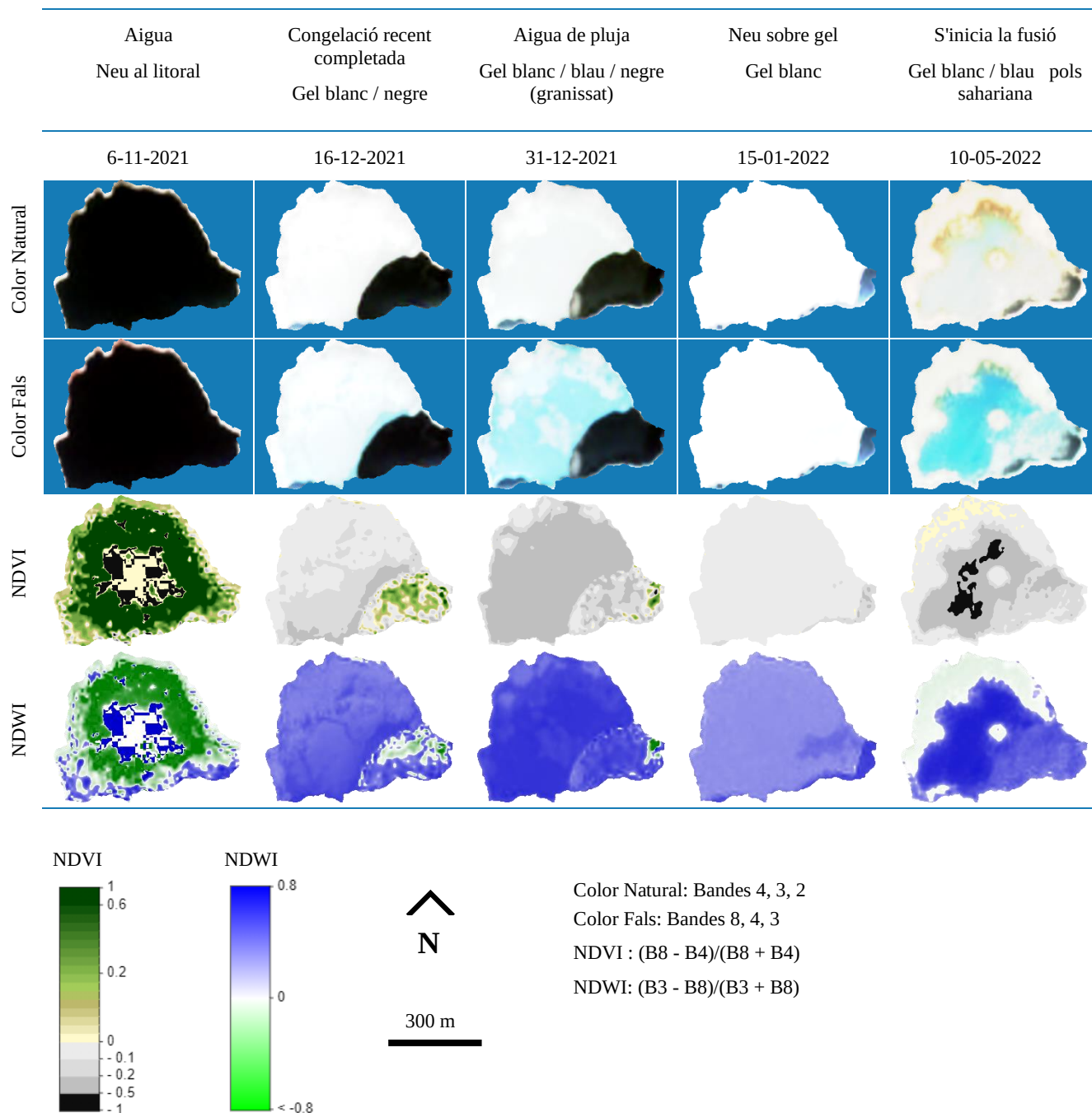


Figura 5 Evolució de la coberta del lac Redon 2021-22. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de Sentinel-2 generades amb EO Browser - Sentinel Hub.

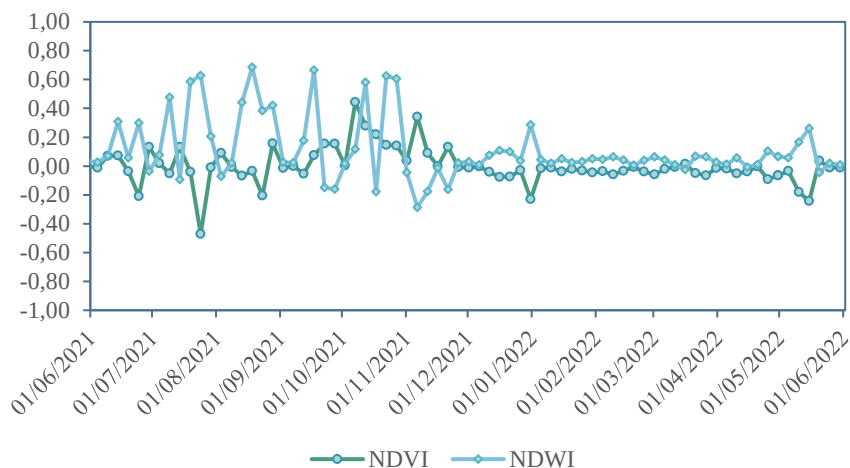


Figura 6 Evolució del NDVI i del NDWI amb dades de Sentinel-2 del Lac Redon 2021-22 a partir d'anàlisi espacial amb EO Browser - Sentinel Hub. Font: Elaboració pròpia.

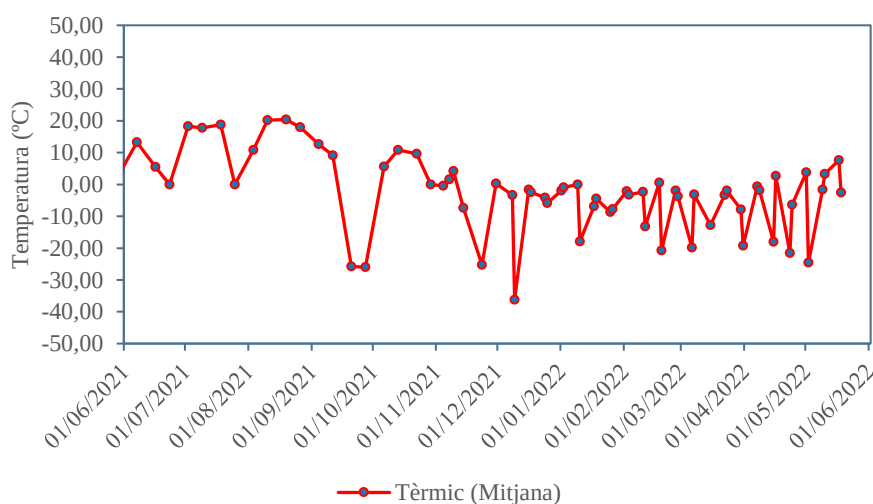


Figura 7 Evolució de la temperatura superficial del lac Redon durant el 2021-22 amb dades del tèrmic de Landsat 8-9 a partir d'anàlisi espacial amb EO Browser - Sentinel Hub. Font: Elaboració pròpia.

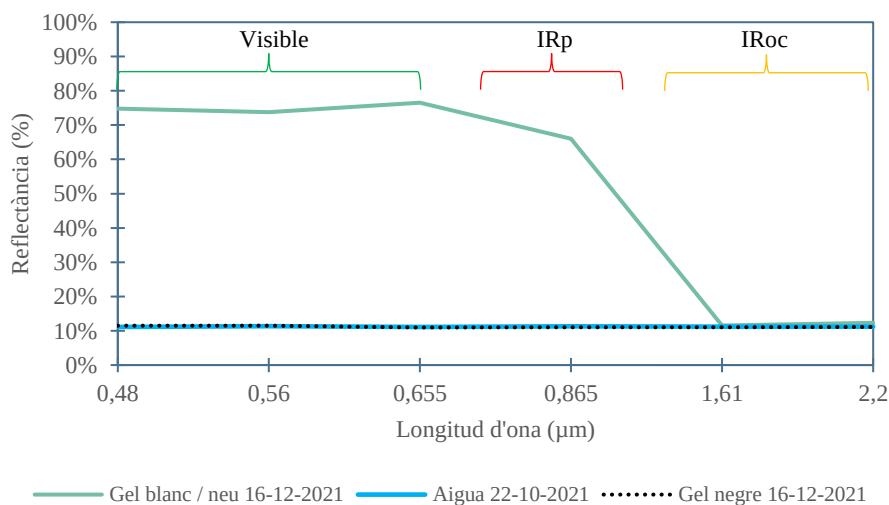


Figura 8 Signatures espectrals del gel blanc i el gel negre del 16-12-2021 i de l'aigua del 22-10-2021 del lac Redon a partir de dades Landsat 8. Font: Elaboració pròpia.

Altrament, la problemàtica principal a la que s'enfronta la teledetecció d'estanys de mida petita és la predominança de píxels mixtes que comporta usualment una sobreestimació de la proporció de gel en la fase de congelació a l'haver-hi neu a l'exterior de l'estany quan aquest és majoritàriament aigua. I, hi hauria el comportament invers en la fase de ruptura, essent aquesta més fàcil de quantificar.

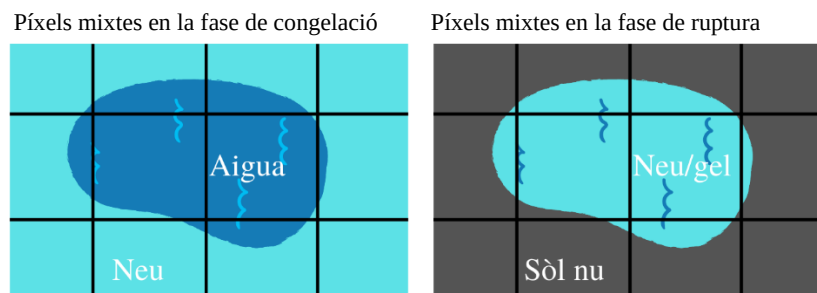


Figura 9 Característiques dels píxels mixtes dels estanys petits segons el moment de la temporada. Font: Elaboració pròpia.

3 DADES I MÈTODES

3.1 Conjunt de dades

3.1.1 Selecció d'estanys

Els estanys es van seleccionar sota dos criteris. El primer és que per força aquests havien de respondre a un règim hidrològic natural, i no estar alterats per l'explotació hidroelèctrica, ja que aquest és un factor antropogènic que pot influir en les tendències de la fenologia del gel (Sharma et al., 2020). Val a dir, que és molt habitual l'existència de preses i canalitzacions dins l'àmbit del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (Catalan et al., 1997; Solernou, 2021). I, el segon criteri, va ser que els estanys havien de fer més de 5 hectàrees de superfície a causa de la limitació imposada per la resolució espacial moderada de les imatges MODIS. El producte MODQG09 emprat ofereix les bandes 1 (vermell), i 2 (IRp) a 250m de mida de píxel, que per a l'escena estudiada és exactament de 231,6 m. Això fa que la superfície d'un píxel correspongui a 5,4 ha aproximadament, fent altament improbable la detecció correcta de la coberta per sota d'aquesta superfície. També, es va tenir en compte que fins al moment, els estanys més petits als quals s'havia detectat la fenologia del gel a través de teledetecció òptica, estava situat a les 13 ha, però que els seus autors estimaven que el seu algorisme seria vàlid fins a les 10 ha (S. Zhang & Pavelsky, 2019).

Tanmateix, es va voler explorar estanys per sota d'aquesta superfície, entenent que són la majoria dins l'àmbit d'estudi, i per tant, que són de gran interès. Tal com es pot veure a la taula 2, només hi ha 5 estanys de règim natural per sobre de les 10 ha. Altrament, a partir d'un estudi previ, es van identificar 26 estanys que s'ajusten als criteris mínims, o sigui, de més de 5 ha i sense tenir el cabal alterat, dels aproximadament 200 estanys de més de

mitja hectàrea que hi ha en l'àmbit del PNAESM. D'altra banda, dels 26 estanys estudiats, 7 es van fer servir per validar els resultats de la temporada 2021-22, ja que són els que han disposat de càmera per monitoritzar la formació de la coberta de gel, i pels quals coneixem la data exacta de congelació completa, així com també, la data d'inici de la congelació, entre d'altres.

Finalment, els criteris per seleccionar un estany per instal·lar-hi una càmera van ser diversos; d'una banda, es va buscar que estiguessin representats la major part de superfícies per cercar patrons relacionats amb la mida, i, per una altra, que hi hagués diversitat en altitud, així com en radiació incident, orientació general de la vall i topografia variada. Al seu torn, es van tenir en compte aspectes de seguretat de l'itinerari d'accés per permetre un treball de camp el més segur possible, i, al mateix temps, una certa facilitat d'accés a l'hivern, tot i que, en algun cas, per la rellevància d'alguns estanys dels quals era millor no prescindir, com el *lac Redon* i l'estany de Contraix, es va assumir un terreny amb certa exposició que va requerir escollir bé el dia de treball de camp.

Sup. (ha)	Règim regulat			Règim natural			Total d'estanys	
	Nº reg	% regulats	% del total	Nº nat	% naturals	% del total	Nº total	%
5-6	0	0,0%	0,0%	4	15,4%	7,8%	4	8%
6-7	2	8,0%	3,9%	5	19,2%	9,8%	7	14%
7-8	3	12,0%	5,9%	5	19,2%	9,8%	8	16%
8-9	1	4,0%	2,0%	4	15,4%	7,8%	5	10%
9-10	2	8,0%	3,9%	3	11,5%	5,9%	5	10%
>10	17	68,0%	33,3%	5	19,2%	9,8%	22	43%
Total	25	100,0%	49,0%	26	100,0%	51,0%	51	100%

Taula 2 Composició dels estanys de més de 5 ha del PNAESM. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de (Catalan et al., 1997; Solernou, 2021), ICGC i recerca pròpia.

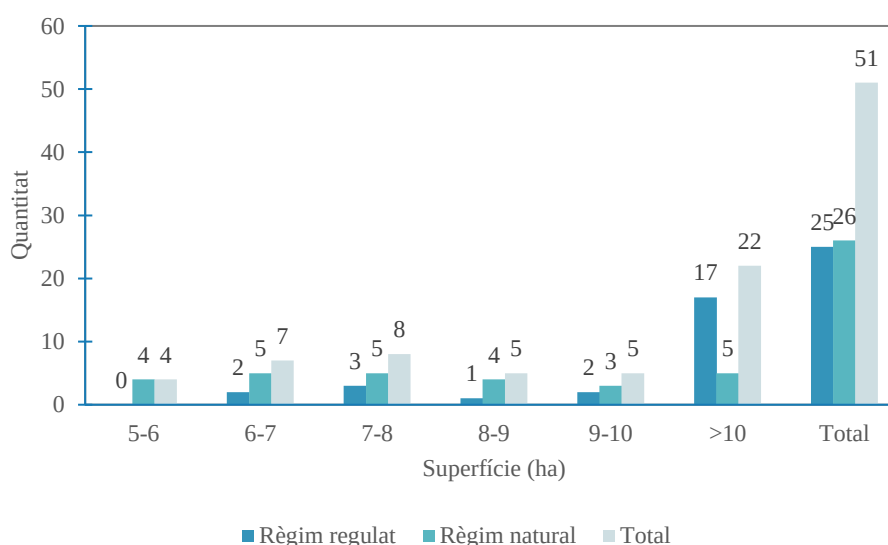


Figura 10 Quantitat d'estanys per superfície i tipologia de més de 5 ha del PNAESM. Font: Elaboració pròpia.

Codi	Nom de l'estany	Superfície (ha)	Càmera
BERG	Estany de Bergús	6,3	No
CABI	Lac des Cabidomats	5,0	No
CAPP	Estany del Cap de Port	7,4	No
CAST	Estany de Castieso	7,2	No
CONT	Estany de Contraix	9,9	Sí
DELL	Estany de Dellui	5,2	No
EGSA	Estany Gelat	6,5	Sí
GEMB	Estany Gémena de Baix	8,1	No
GEMD	Estany Gémena de Dalt	7,7	No
GERB	Estany de Gerber	15,3	Sí
LLEB	Estany de Llebreta	7,0	No
LLON	Estany Llong	7,3	Sí
MAIN	Estany Gran de la Mainera	5,4	No
MANG	Estany des Mangades	8,9	No
MONG	Estany des Monges	14,9	No
MORR	Estany Maior de Morrano	7,8	No
MORT	Estany Morto	5,2	No
NECA	Estany Negre de Cabanes	6,8	No
NEGR	Estany Negre	9,2	No
PESO	Estany del Pessó d'Amont	9,4	No
RATC	Estanh de Ratèra de Colomèrs	8,1	No
RED2	Estany Redó	6,3	No
REDO	Lac Redon	24,5	Sí
SABO	Estany de Dalt de Saboredo	8,1	Sí
TRAV	Estany de Travessani	11,3	Sí
TUME	Estany de Tumeneia de Dalt	13,3	No

Taula 3 Relació d'estanys estudiats. En negreta els estanys que van disposar de càmera. Font: Elaboració pròpia amb superfícies planimètriques calculades a partir de la base cartogràfica de l'ICGC 1:5.000

3.1.2 Dades in situ

Una de les prioritats, des del moment en el qual es va decidir dur a terme aquesta recerca, va ser la de trobar dades in situ per poder validar els resultats. Després d'indagar una mica amb entrevistes i converses amb limnòlegs que treballen en l'àmbit d'Aigüestortes i el *Lac Redon*, principalment un membre del CEAB-CSIC, i un altre del CREAF, es va veure que no hi havia una recollida sistemàtica de la data de congelació in situ d'un sol estany al llarg de varies temporades, o, en el seu defecte, de varis estanys alhora, però en un sol hivern. Sí que és cert que, fent una feina d'arxiu important, es podria arribar a extreure aquesta informació de les múltiples fitxes de camp del *Redon*, però la probabilitat de que la visita hagués pogut copsar el dia exacte de congelació completa era molt baixa, ja que aquest és un fenomen difícil de predir, i que sovint succeeix en condicions meteorològiques o nivològiques perilloses, que no possibiliten el desplaçament fins al punt d'observació.

No obstant, sí que es va descobrir que existeix una sèrie continua dels darrers anys per uns pocs estanys de dades de temperatura de l'aigua capturada amb uns termistors fixes a

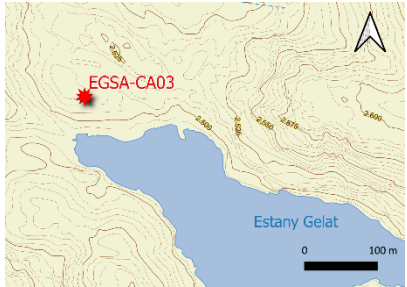
partir de la qual es podria inferir la data de congelació, però tampoc va semblar que es podria tenir disponible un calibratge d'aquestes dades de temperatura de l'aigua en relació al que passa exactament a la coberta de gel, ni tampoc semblaria fàcil a priori, detectar intermitències en la seva formació, ni de conèixer la proporció de gel en extensió, ja que els termistors se situen en un punt concret de l'estany perquè tenen l'objectiu de cercar el gradient vertical de la columna d'aigua, i no tant, el que passa a la seva superfície. Així doncs, es va descartar, tot i que seria una via convenient d'explorar en el futur.

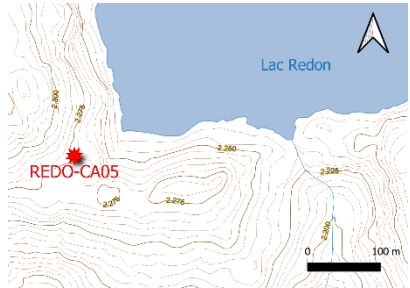
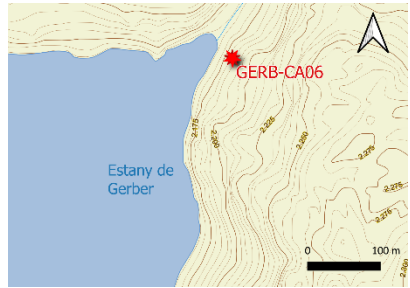
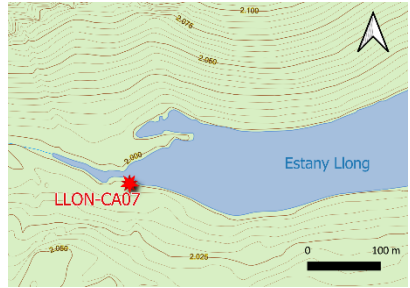
Després de pensar-hi molt, la conclusió final va ser que sense unes dades de camp vàlides per als objectius de l'estudi, creure que en la següent temporada (2021-22) es podrien obtenir les dates de congelació amb feixugues visites als estanys en condicions hivernals, entenent que són llocs de difícil accés, era clarament improbable, i per tant, el més fiable i segur, era instal·lar càmeres automàtiques (*time lapse*) que fessin una sèrie de fotografies diàries. Que val a dir, suposava una metodologia innovadora amb pocs referents en aquesta àrea.

Conseqüentment, es va demanar autorització a la direcció del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (Nº PM-52/21), i es van instal·lar 7 càmeres en 7 estanys diferents del model *Trail Camera HC-806A* per cobrir tota l'evolució de la coberta de novembre a juny (veg. *taula 4*). Val a dir, que malgrat recollir imatges de tot el cicle, per qüestions de calendari i dimensions d'aquest treball, les imatges analitzades corresponen només a la fase congelació, o com a màxim fins el 31 de gener.

Posteriorment, es va fer un petit estudi d'idoneïtat de l'emplaçament de les càmeres i el sistema de suport, i es va considerar que el millor era fixar-les a parets de roca o blocs erràtics sobre una carcassa de fusta prou dissimulada amb l'entorn, i en una ubicació i direcció de l'objectiu de la càmera que no li afectés directament la llum del Sol i el vent predominant. A més, es van instal·lar a més d'un metre i mig d'alçada per disminuir la probabilitat de que quedessin soterrades per la neu. Val a dir, que les excepcionals nevades d'inici de temporada van sepultar dues càmeres durant varis dies, la del *lac Redon*, i la de l'estany de Gerber. Un altre factor important que es va tenir en compte va ser que la imatge resultant avarques la màxima superfície de l'estany, però alhora que no estigués tant lluny com per no permetre la identificació del gel negre. Com a conclusió, i per estudis de futur, podria ser convenient emplaçar dues càmeres per estany, una per tenir la visió general, i l'altra per al detall de la coberta. Addicionalment, una limitació de les imatges terrestres, o de les observacions fetes per observadors in situ a peu d'estany, és que pot haver-hi un cert biaix en la interpretació del percentatge de la superfície gelada, tant més gran, a mesura que augmenten les dimensions del mateix, o per una morfologia molt irregular, com a conseqüència de l'angle de visió i la perspectiva en general (S. Zhang & Pavelsky, 2019; X. Zhang et al., 2021). Així que, de manera inversa, aquesta seria una avantatge de les imatges obtingudes a través de plataformes espacials o aèries.

Finalment, les càmeres es van configurar per fer quatre imatges diàries entre les 8 del matí i les 6 de la tarda per garantir el màxim d'imatges vàlides, i alhora, no consumir massa bateria, un element crític a l'estar exposades a molt baixes temperatures. Es va considerar tenir imatges de diferents moments del dia per aconseguir almenys una imatge vàlida, ja que una mala il·luminació, o una visibilitat reduïda per mal temps, impossibilitaria la detecció correcta de la coberta.

Càmera / Estany	Localització UTM 31T ETRS89 Azimut visió	Foto de l'emplaçament	Mapa de situació
CONT-CA01 Estany de Contraix	x=329325 y=4716990 Alt. 2587 m 296° Bloc erràtic al SE de l'estany a 15 metres per sobre, a prop del camí i l'estació meteo. (Parc Nacional)		
SABO-CA02 Estany de Dalt de Saboredó	x=333332 y=4719855 Alt. 2360 m 150° Bloc erràtic al NO de l'estany a 15 metres de desnivell per sobre del litoral. (Zona Perifèrica)		
EGSA-CA03 Estany Gelat (Saboredó)	x=333949 y=4720282 Alt. 2507 m 121° Bloc erràtic en un lloc situat al NO de l'estany i a uns 30 metres de desnivell per sobre. (Zona Perifèrica)		
TRAV-CA04 Estany de Travessani	x=326156 y=4719497 Alt. 2291 m 325° Llindar rocós d'orientació NO al SE de l'estany per sobre del camí d'estiu. (Parc Nacional)		

REDO-CA05 Lac Redon 48° Bloc erràtic en un collet al SO de l'estany uns 40 metres de desnivell per sobre. (Fora del Parc)	x=317525 y=4723014 Alt. 2278 m	 
GERB-CA06 Estany de Gerber 235° Bloc entre pins al NE de l'estany a uns 20 metres per sobre i prop del camí. (Zona Perifèrica)	x=335753 y=4721790 Alt. 2177 m	 
LLON-CA07 Estany Long 80° Pi negre prop del desaigua a l'oest de l'estany. (Parc Nacional)	x=331426 y=4715400 Alt. 2002 m	 

Taula 4 Identificació de les càmeres automàtiques instal·lades. Font: Elaboració pròpia.

3.1.3 Dades de teledetecció

Per l'algorisme de detecció automàtica de la data de congelació dels estanys es van emprar tres conjunts de dades diferents que es van acabar combinant. Per una banda, es van utilitzar imatges de MODIS dels productes MOD09GQ i MOD09GA de la versió v061. Del primer es van emprar les bandes de reflectància 1 i 2, que corresponen a l'espectre del vermell (620-670nm) i de l'infraroig proper (841-876 nm) respectivament, a 250m de resolució espacial, i del segon, la banda de qualitat State_QA d'un quilòmetre de resolució, i ambdós amb una imatge diària disponible des del 24 de febrer de l'any 2000. Val a dir, que la banda de qualitat del MOD09GA està pensada per treballar conjuntament amb les bandes de reflectància del MOD09GQ (Vermote & Wolfe, 2021). D'altra banda, a la pràctica, per a l'escena utilitzada (h18) les resolucions queden a 231,6m i a 926,6m respectivament. Ambdós productes s'han descarregat del servidor de la NASA Earth Data per a les dates que van del 15 d'octubre fins al 31 de gener de les 22 temporades disponibles, unes 109 imatges per hivern processades des de la imatge original.

Per un altre costat, es va utilitzar la banda de qualitat QA_PIXEL de Landsat 8 i 9 OLI/TIRS de la col·lecció 2 i nivell 2 cortesia de *U.S. Geological Survey* per extreure la màscara de neu i aigua provinent de la darrera versió de Fmask de Qiu et al., (2019) i Zhu

et al. (2015). Aquest algorisme és capaç de separar força bé les superfícies brillants i blanques com la neu dels núvols, i també, la neu de l'aigua si estan il·luminades, però té més problemes entre les ombres de núvols i l'aigua (Tarrio et al., 2020). La resolució espacial de les imatges és de 30m de costat de píxel, i amb un període de revisita de 16 dies, excepte per la temporada 2021-22 que s'afegeix Landsat 9 amb un dia de decalatge. No obstant, malgrat la baixa resolució temporal, l'àmbit d'estudi (Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici) té la gran avantatge de solapar-se en dues dallades (*path* 198 i *path* 199) sense escapar gens l'àmbit, i per tant, a la pràctica, s'obtenen el doble d'imatges. En canvi, també se solapen dues files, la 30 i la 31, però només s'ha fet servir la 30 perquè és l'única que conté tot l'àmbit. I, d'altra banda, la sèrie temporal analitzada va anar, de 2015 a 2022, amb l'objectiu principal d'establir el llinar de reflectància mitjana mínima pel què cada estany està congelat completament.

Tanmateix, també es va fer una prova, amb el mateix interval temporal que Landsat, amb la banda de qualitat SC (*Scene Classification*) de Sentinel-2, però es va descartar per la gran confusió detectada entre la neu i els núvols, no només amb cirrus, sinó també amb núvols opacs. Aquest problema està associat al processador Sen2Cor Sentinel-2 Nivell 2A, i s'accentua conforme augmenta l'altitud, especialment en grans massissos muntanyosos (Tiede et al., 2021). Així doncs, la màscara de neu de Sentinel-2 es va descartar per l'algorisme de detecció automàtica de la congelació, però sí es va fer servir per altres combinacions de bandes per fotointerpretació i altres anàlisis accessòries.

3.2 Metodologia

3.2.1 Treball de camp

El treball de camp va començar el dia 28 d'octubre de 2021 amb la instal·lació de la primera càmera a l'estany de Contraix, un dels més allunyats i a més altitud dels seleccionats, en previsió de que podria ser un dels primers en congelar-se. Malauradament, el sistema de suport i ancoratge de la càmera va resultar massa dèbil per aguantar les condicions hivernals, de fet, la càmera ja es va trencar el primer dia a l'intentar fixar-la a l'estaca metàl·lica. A més, era un sistema poc integrat en el paisatge, així que es va haver de tornar per modificar la instal·lació. Així doncs, el 31 d'octubre, es va instal·lar la càmera de l'estany de Dalt de Saboredo amb la mateixa estaca, però, amb una carcassa de fusta que li donava consistència i protecció. Això, augmentava el pes considerablement, i per tant, l'estaca no es mostrava sòlida, ja que hi havia molt braç de palanca a 150 cm d'alçada, i, per tant, es va haver de modificar de nou. Finalment, el 3 de novembre amb la instal·lació de la càmera de Travessani es va trobar el sistema ideal, utilitzant com a suport parets de roca o blocs erràtics.

Càmera / Estany	Fixació / carcassa	Suport elevat
CONT-CA01 Estany de Contraix Instal·lació provisional 28-10-2021. Nota: El suport entre la càmera i l'estaca es va trencar i per això es va encintar.		
SABO-CA02 Estany de Dalt de Saboredo Instal·lació provisional 31-10-2021. Nota: La nova carcassa es mostra útil, però exerceix massa pes i palanca a l'estaca.		
TRAV-CA04 Estany de Travessani Instal·lació 03-11-2021 amb el sistema definitiu. Nota: La roca esdevé el suport més robust i integrat en el paisatge.		

Taula 5 Evolució del sistema de muntatge de les càmeres durant l'inici del treball de camp. Font: Elaboració pròpia.

Malgrat els problemes inicials, es va aconseguir canviar les dues primeres càmeres amb el sistema definitiu i col·locar la resta abans de l'inici de la congelació, el 13 de novembre. A partir d'aquí, el treball de camp va consistir en pujar a les càmeres un cop al mes per fer-hi el manteniment, canviar la targeta de memòria i les bateries (veg. figura 11). Més endavant, conforme es va anar veient que les càmeres aguantaven i les bateries tenien major durada de la prevista, es va anar allargant el temps de revisió. Paral·lelament, es van fer visites a molts d'altres estanys durant la segona quinzena de novembre per observar in situ la fase de congelació, a més d'agafar algunes dades ambientals, com la temperatura de l'aire, però també la de la superfície de l'aigua, per comprendre millor el fenomen. Al mateix temps, es documentava la visita amb una fitxa de camp com la de la taula 6.

Fitxa de seguiment de la fase de congelació

Estany / Càmera	Lac Redon / REDO-CA05
Dia / hora	5-11-2021 / 16:00 h
Temperatura de l'aire	-6,2°C
Temperatura de l'aigua	6,7°C
Comentari: S'instal·la la càmera en un bloc erràtic en mig d'un collet al sud-oest de l'estany. Se situa a 1,60m del terra i amb un azimuth de la visual de 48°. La tarda es presenta freda, amb vent, i a voltes neva, però l'estany encara està lluny de congelar-se per la seva gran inèrcia tèrmica. El contrast tèrmic (12,9°C) entre l'aigua de l'estany més calenta i l'aire més fred, provoca una boirina espectacular que sembla que l'estany fumegi.	
	



Taula 6 Exemple de transcripció del bloc de camp durant el seguiment de la fase de congelació. Font: Elaboració pròpia.



Figura 11 Feines de manteniment de la càmera del lac Redon. Desenterrament després de la gran nevada del 8 a l'11 de desembre, i canvi de bateries i de la tarja de memòria al final de l'hivern. Font: Elaboració pròpia.

3.2.2 Tecnologies emprades

Les tecnologies emprades en aquest estudi es poden agrupar en tres funcionalitats: preparació de les dades cartogràfiques, geoprocessaments principals, i, anàlisi i visualització de dades. Les utilitzades per adequar les bases cartogràfiques van ser els programaris QGIS i MiraMon en funció dels formats de dades d'origen. Posteriorment, l'automatització dels geoprocessos principals es va dur a terme amb el llenguatge de programació Python, que enviava la instrucció a MiraMon que és qui feia el geoprocés. També, s'ha utilitzat alguna alternativa, com la llibreria GDAL de Python, entre d'altres. Finalment, per l'anàlisi dels resultats i la seva corresponent visualització s'han utilitzat moltes eines diferents identificades a la *figura 12*, com Plotly, Pandas i Sentinel Hub.

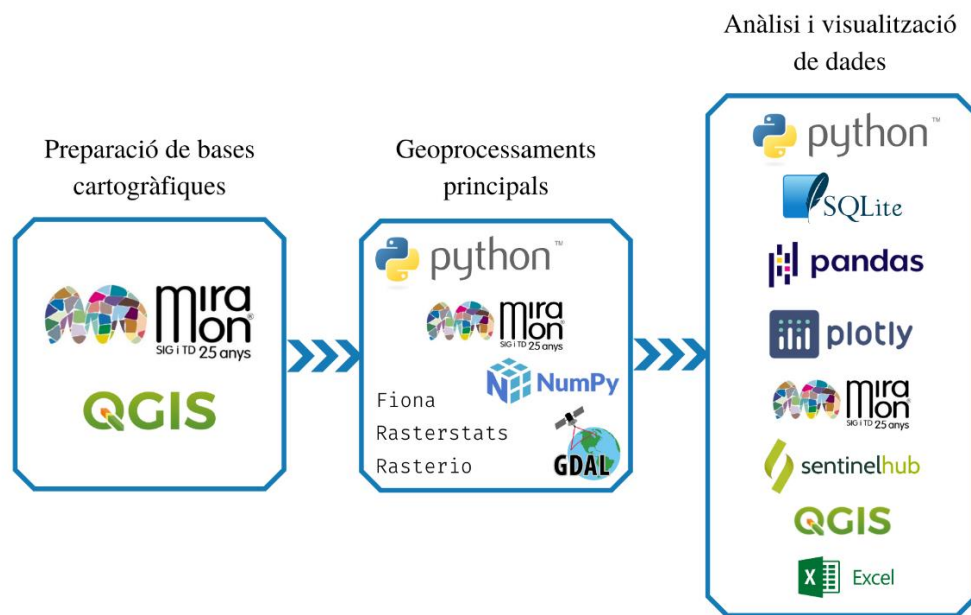


Figura 12 Relació de les tecnologies de la informació utilitzades. Font: Elaboració pròpia.

3.2.3 Algorisme general de teledetecció

L'algorisme per calcular automàticament la data de congelació completa per cada estany es pot resumir en quatre passos principals (veg. figura 13). En primer lloc, es van creuar les dades de reflectància de MODIS del producte MOD09GQ amb la màscara de núvols obtinguda a partir de les dades MODIS del producte MOD09GA, i, d'aquesta manera obtenir els píxels vàlids amb valors de reflectància en una nova capa ràster. En segon lloc, es va creuar la imatge abans generada amb la màscara de neu creada a partir de la banda de qualitat de Landsat QA_PIXEL, que fa servir l'algorisme Fmask, per a la detecció del gel i la neu. L'objectiu d'aquest pas era el d'obtenir els llandars o rangs de reflectància de quan l'estany està completament congelat. En tercer lloc, es va fer un estudi dels valors atípics per ajustar els llandars de reflectància abans identificats, i al seu torn, quins eren estadísticament els valors més vàlids, així com els valors mínims de la mitjana de reflectàncies per cada estany quan estan completament gelats. Per tant, en quart lloc, es va dur a terme un algorisme específic de detecció de la data de congelació que juga amb els mínims de reflectància, el qual va determinar la data de congelació.

Per acabar aquesta visió general, es voldria remarcar uns detalls importants per entendre el procediment que es va seguir. En primer terme, les bandes de reflectància, tant la del vermell com la de l'IRp de MODIS es van densificar per veí més proper canviant la mida de píxel a 30m, i, posteriorment, es van fer totes les anàlisis per cada estany individualment, havent retallat prèviament totes les bandes pel polígon de cada estany, ja sigui físicament amb un fitxer resultant si era necessari, o, virtualment, extraient simplement les estadístiques zonals. Amb aquest mètode, s'aconseguia treure pes estadístic als píxels mixtes pel seu tractament posterior de recerca dels llandars. D'altra

banda, a l'annex IX es descriuen amb detall els processos de l'algorisme de detecció automàtica de la data de congelació completa a través dels *scripts* de Python.

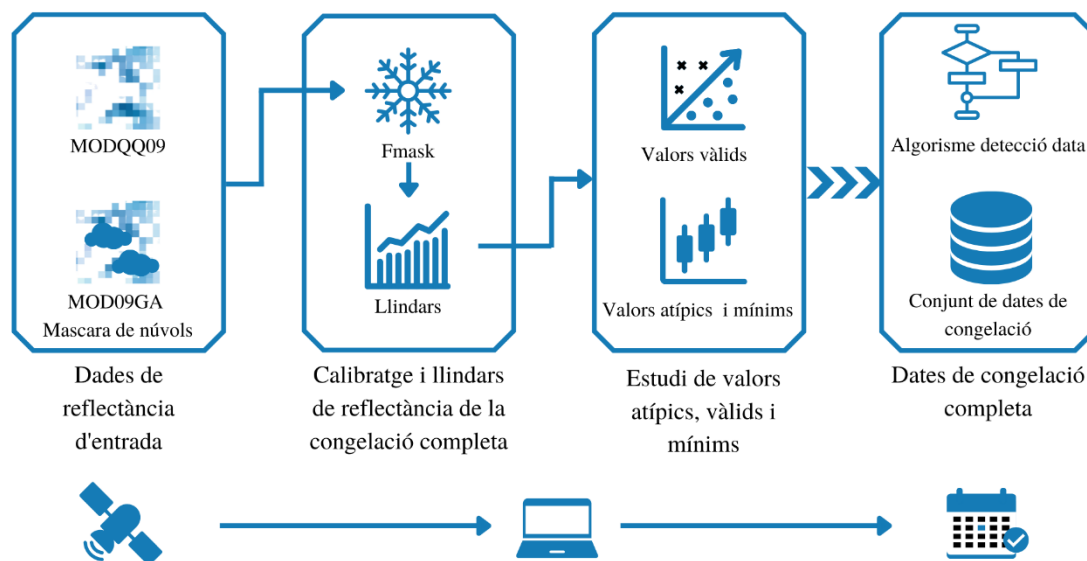


Figura 13 Algorisme general de teledetecció simplificat per arribar a la data de congelació completa de cada estany.
Font: Elaboració pròpia.

3.2.4 Filtratge de núvols

És conegut que, l'ús de sensors òptics per a la detecció de la coberta de gel està molt limitat pels núvols (S. Zhang & Pavelsky, 2019), tant per la confusió entre el núvol i el gel, com per la pèrdua de dades si hi ha molts dies seguits de núvols quan es vol caracteritzar un fenomen que passa en un interval de temps reduït, tal com passa en la fase de congelació dels estanys petits. A voltes, el canvi radical de la coberta pot manifestar-se, fins i tot, d'un dia per l'altre. Per tenir alguna referència més concreta, durant la consecució d'aquesta investigació es van detectar fins a 20 dies consecutius de núvols a l'estany de Monges durant l'hivern 2009-10. D'altra banda, quelcom més habitual, és que hi hagi entre 7 i 9 dies seguits de nuvolositat cada temporada a sobre de cada estany, per exemple, que es donessin 9 dies seguits va succeir en 18 temporades de les 22 estudiades.

Així doncs, la necessitat d'eliminar els píxels amb valors de reflectància afectats pels núvols és clar, i per això, es va aplicar una màscara de núvols construïda a partir de la banda de qualitat *State_QA_1km* del producte de MODIS MOD09GA. Aquesta banda es distribueix amb 1km de mida de píxel (926,6m exactament), i amb una codificació decimal que s'ha de passar a binari de 16 bits per crear només la màscara de núvols. Aquesta informació està continguda als bits 0 i 1 (els dos bits de més a la dreta), i per excloure només els píxels completament ennuvolats el valor que ha de donar és 01.

Aquesta conversió es va fer a partir del tractament de cada ràster com una matriu amb Python i NumPy.

Per un altre costat, cal dir, que no es van excloure altres afectacions, com cirrus, ombres de núvols, etc., per mantenir el màxim d'informació possible, seguint la metodologia de S. Zhang & Pavelsky (2019). Val a dir també, que per poder aplicar la màscara a les bandes de reflectància MOD09GQ de 250m, es va haver de fer un remostreig de la màscara per veí més proper a la mateixa mida píxel que les reflectàncies, així com un nou pas de malla, a través de l'eina AdapRas de MiraMon, cridada i automatitzada des de Python. D'aquesta manera, la resolució espacial de la màscara amb dades MOD09GA es va fer consistent amb les imatges de reflectància MOD09GQ per aplicar el geoprocés.

3.2.5 Calibratge i lindars

El calibratge va consistir en la determinació dels lindars de reflectància amb els que cada estany individualment està completament congelat, en contraposició al rang de reflectàncies quan tota la superfície de l'estany és aigua. Per això, es va utilitzar la màscara de neu/gel extreta de QA_PIXEL de Landsat, que utilitza l'algorisme Fmask per determinar aquest tipus de coberta. Aleshores, es van generar màscares de neu durant sis temporades, de 2015 a 2021, excloent expressament la temporada 2021-22, ja que aquesta es volia fer servir per validar els resultats, i conseqüentment, no es va voler que contribuís amb un biaix positiu als valors resultants.

La màscara de neu es va crear de manera similar a la de núvols de MODIS, és a dir, a partir d'una reclassificació de la banda de qualitat amb un tractament matricial amb Python i NumPy. Val a dir que, donat que la neu i l'aigua en un estany es comporten de forma binària, es va aprofitar per identificar ambdues situacions: la neu i l'aigua, però també la resta de possibilitats que van quedar agrupades com a *altres*.

Finalment, es va extreure la proporció de gel que Fmask va detectar per cada data disponible a través d'estadístiques zonals generades per cada estany utilitzant Python i la llibreria Rasterstats, per tot seguit, fer una anàlisi que va determinar la primera data en la que Fmask considerava l'estany congelat almenys en un 80%. Això es va fer per les 6 temporades ja especificades, donant com a resultat sengles taules amb la data de congelació de cada estany, en la que l'algorisme va ser capaç de detectar-la (veg. Annex VI). Òbviament, tenint en compte el període de revisita massa llarg de Landsat (16 dies), i l'alta probabilitat de no tenir dades per culpa dels núvols, aquesta no disposa de la precisió buscada, i és aquí on entra MODIS, del qual tenim una imatge diària. Així doncs, tot seguit es van determinar els valors de reflectància que hi ha en cada una de les 6 temporades a partir de la data extreta de Landsat, que en resum, va donar el rang de reflectàncies corresponents a quan cada estany estava congelat. Això va permetre creuar els valors de les diferents temporades de cada estany i obtenir un mínim de les

reflectàncies mitjanes que identifica que, a partir de la data obtinguda, un estany en concret està totalment gelat, per bé que cada estany dona valors significativament diferents, i no és possible aconseguir un mínim únic comú. Aquest enfoc, el tractarem amb més detall a l'apartat següent.

En un altre ordre de coses, es va seguir aquest procediment tant per la banda del vermell com per la banda de l'infraroig proper, tot i estar advertits per Zhang & Pavelsky (2019), que en estanys petits la predominança dels píxels mixtes dificulta la detecció del tipus de coberta, però demostren que, la separabilitat és major amb la banda del vermell, ja que la vegetació té una reflectància més baixa en la banda del vermell que en la de l'IRp, i, a més a més, el canvi, o el salt de reflectància, entre l'aigua i el gel és també molt més marcat. Val a dir, que fetes les comprovacions pertinents, es confirmaria aquesta idea.

3.2.6 *Estudi de valors atípics, vàlids i mínims*

La base del procés de calibratge que es va dur a terme es pot resumir en tres passos: identificació de la data en la que Fmask detecta que cada estany està congelat (veg. Annex VI), recerca del mínim de les reflectàncies mitjanes de la data anterior fins al 31 de gener, i, finalment, càlcul del mínim, la mitjana, i el màxim de la sèrie anterior (veg. taula 7 de resultats), que seran necessaris per enviar posteriorment a l'algorisme de detecció de la data congelació completa.

No obstant, en el segon pas d'identificació dels mínims de cada temporada (veg. un exemple de l'evolució de la reflectància a la figura 17 o a l'annex IV) es va fer prèviament un tractament estadístic, amb una anàlisi i eliminació de valors atípics febles seguint el test de Tukey. Així que es van calcular els quartils 1 i 3 (Q_1 i Q_3), i el rang interquartílic (IQR), per aplicar posteriorment la següent fórmula per cercar els límits superior i inferior:

$$\text{Límit superior} = Q_3 + 1,5 * \text{IQR}$$

$$\text{Límit inferior} = Q_1 - 1,5 * \text{IQR}$$

Val a dir, que tot això també es va aplicar per les temporades que van entre la 2015-16 a la 2020-21, deixant fora la 2021-22 que es va utilitzar per a la validació. Podeu veure la distribució dels valors vàlids i dels atípics als diagrames de caixa de l'annex III, així com un exemple d'informe de la sortida automàtica a l'annex VIII.

3.2.7 *Algorisme de detecció de la data de congelació completa*

L'algorisme que es va decidir fent comprovacions aleatòries en diferents estanys per aconseguir la data de congelació completa més precisa possible, juga amb els tres valors mínims de tota la sèrie abans calculats (mínim, mitjana i màxim), però, només es va

aplicar als estanys que complien la condició de que almenys el 50% de les temporades, Fmask fos capaç de detectar l'estany congelat en més d'un 80%.

A partir d'aquí, l'algorisme de detecció automàtica recorre les reflectàncies MODIS (veg. *taula de l'Annex V*) de cada temporada a la cerca del primer valor que supera la mitjana dels mínims, sempre i quan no hi hagi més d'un 10% de nuvolositat aquell dia. Tot seguit, avalua els 10 dies consecutius esperant que la congelació sigui constant, i per això busca que sempre s'estigui per sobre del mínim dels mínims, deixant passar només un dia per sota d'aquest. Així mateix, l'algorisme espera trobar almenys un dia per sobre del màxim dels mínims, ja que es vol que almenys algun dia hi hagi una senyal el més clara possible de la congelació completa.

Finalment, si els 10 dies no compleixen les condicions, es descarta la data provisional de congelació, i es passa a la següent (veg. *la figura 14 i l'Annex VII*).

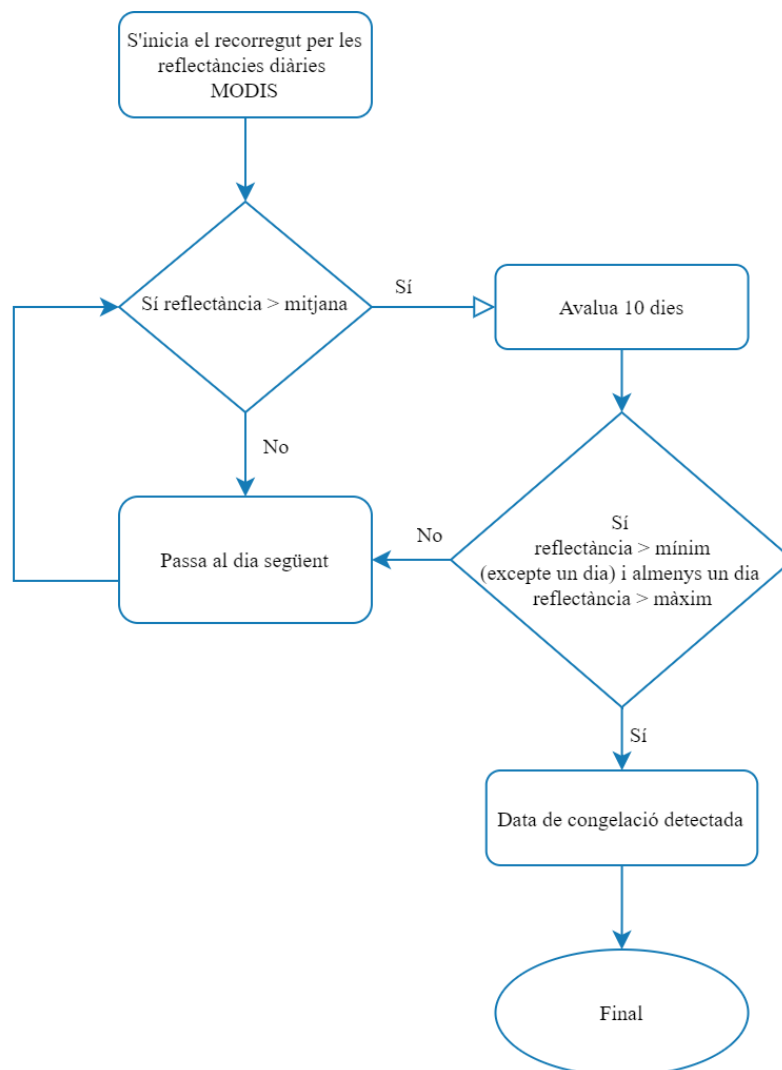


Figura 14 Diagrama de flux de l'algorisme de detecció automàtica de la data de congelació seguint les reflectàncies MODIS. Font: Elaboració pròpia.

4 RESULTATS I DISCUSSIÓ

4.1 Reflectàncies, resultats del calibratge i de l'estudi de mínims

Dels 26 estanys inicials, només 22 es van poder estudiar a l'algorisme de recerca de la data de congelació completa, donat que els altres 4 no van superar el pas perquè no es van poder establir uns llindars de reflectància prou definits. Si s'observa la *figura 19* de l'estany de Dalt de Saboredo, es veu com els mínims de la mitjana quan està congelat poden ser més baixos que quan és aigua, i per tant, no es poden definir uns llindars, en contraposició al que es pot veure a les gràfiques de les *figures 17 i 18*, de Travessani i el Llong, que el salt de reflectàncies és molt marcat.

El primer filtre, que va consistir en identificar la data en la qual Fmask detecta l'estany congelat almenys en un mínim del 80% de la seva superfície dins les temporades 2015-21 el van superar tots els estanys, però, després, el segon filtre, que requeria que almenys 3 de les 6 temporades es complís la condició anterior, no el van passar ni l'estany de Llebreta, ni l'estany Negre, perquè només van ser detectats en una ocasió, i, d'altra banda, l'estany de Ratèra de Colomers i l'estany de Dalt de Saboredo tan sols van ser identificats dues vegades. Això es deu a que Fmask detecta com a aigua píxels que estan sotmesos a ombres topogràfiques quan realment haurien de ser classificats com a gel/neu (S. Zhang & Pavelsky, 2019) (veg. *figura 15*). Val a dir, que en aquest estudi no s'ha aplicat posteriorment cap altre procediment per millorar la classificació. Aquesta casuística s'ha pogut observar a través de les imatges de la càmera de l'estany de Dalt de Saboredo i de l'estany de Gerber comparant-les amb el mapa de classificació de cobertes generat a partir de QA_PIXEL/Fmask. (veg. *figura 15*)

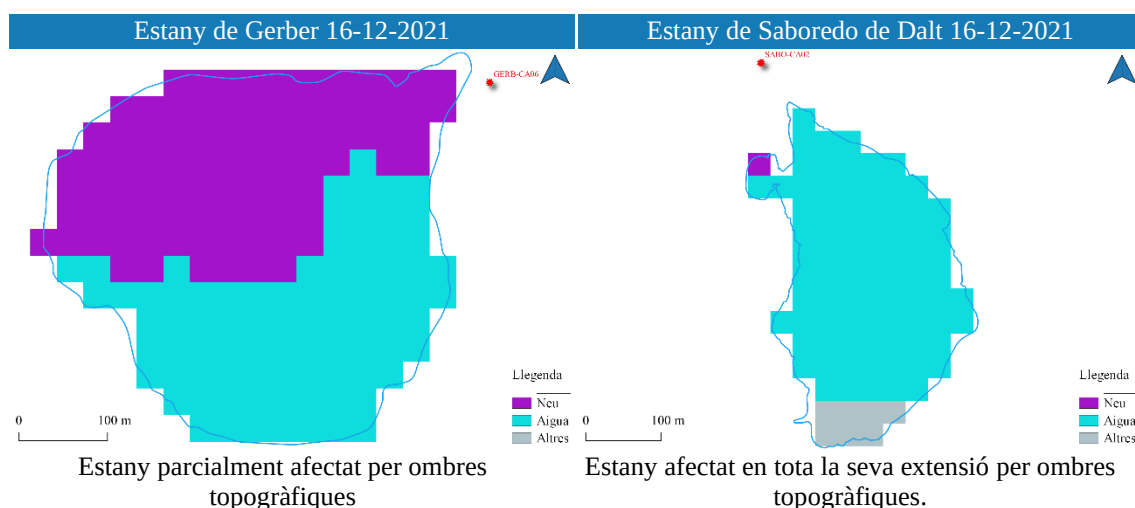


Figura 15 Classificació segons Landsat 8-9 QA_Pixel/Fmask pel 16-12-2021 per estanys afectats per ombres topogràfiques en una data en la qual estan totalment congelats. Es classifiquen píxels com a aigua quan haurien de ser neu/gel. Font: Elaboració pròpia.

Posteriorment, un cop obtinguda la data donada per Fmask, per tot seguit recopilar totes les dades de reflectància d'allà en endavant, s'ha de dir que, si aquesta és molt tardana, la poca

quantitat de dades disponibles fins al 31 de gener pot influir negativament en el tractament estadístic posterior, d'eliminació de valors atípics i obtenció dels llindars. En aquest sentit, la data posada com a topall probablement hauria d'haver-se allargat per ser consistent amb la resolució temporal de Landsat, i/o haver analitzat més temporades per trobar uns mínims de reflectància més acurats, i amb marge temporal suficient per descartar les temporades menys representatives. A la *taula 7* s'identifiquen valors en vermell corresponents a una detecció massa tardana de Fmask (28 de gener de 2020) que passen a ser màxims de la sèrie molt dubtosos que comportaran problemes a l'algorisme de detecció de la data, especialment als estanys de Tumeneia i Cabidornats.

Codi estany	2015-16	2016-17	2017-18	2018-19	2019-20	2020-21	2021-22	Nuls 15-21	Mín 15-21	Màx 15-21	Mit 15-21
BERG	46,10	33,36	46,33	30,84	46,33	46,61	49,14	0	30,84	46,61	41,59
CABI	23,31	36,86	31,17	32,89	45,76	26,29	30,99	0	23,31	45,76	32,71
CAPP	17,46	26,66	15,10	23,23	24,19	30,30	24,72	0	15,10	30,30	22,82
CAST	24,73	31,65	16,18		39,76	38,93	25,06	1	16,18	39,76	30,25
CONT	23,84	31,88	38,36		43,17	39,69	38,99	1	23,84	43,17	35,39
DELL	16,96	20,51	32,28	19,23	24,32	26,58	35,12	0	16,96	32,28	23,31
EGSA	11,41	35,42	38,17		45,70	23,94	29,91	1	11,41	45,70	30,93
GEMB	40,73	18,37	43,53	11,37	32,64	34,07	35,47	0	11,37	43,53	30,12
GEMD	43,35	20,25	53,93		33,57	26,96	47,37	1	20,25	53,93	35,61
GERB			28,12		38,92	25,37		3	25,37	38,92	30,81
LLEB		6,43						5			
LLON	17,28	10,66	14,04		10,49	34,04	21,55	1	10,49	34,04	17,30
MAIN	32,07	41,85	41,52	20,44	38,60		31,75	1	20,44	41,85	34,90
MANG	14,41	32,75	43,27		48,50	41,89	46,10	1	14,41	48,50	36,16
MONG	27,86	25,34	39,21		49,58	43,50	39,97	1	25,34	49,58	37,10
MORR	40,32	35,18	37,94		32,55	43,00		1	32,55	43,00	37,80
MORT	23,88	29,17	40,63	24,99	38,25			1	23,88	40,63	31,38
NECA		26,88	18,83			15,50	15,64	3	15,50	26,88	20,40
NEGR			8,64					5			
PESO	36,71	29,20	35,14		42,68	32,56		1	29,20	42,68	35,26
RATC		19,14				20,37		4			
RED2	33,49	19,63	40,64		36,16	25,37	42,41	1	19,63	40,64	31,06
REDO			46,86		37,35	55,73	46,05	3	37,35	55,73	46,65
SABO			12,34			13,41		4			
TRAV	14,29	32,96	37,46	12,13	44,03	48,83	40,27	0	12,13	48,83	31,62
TUME	43,56	17,59	42,91		62,80	35,77	33,84	1	17,59	62,80	40,52

Taula 7 Valors mínims de la mitjana de reflectàncies (%) de cada temporada a partir de la data de congelació Fmask. En vermell valors poc representatius per poques dades Font: Elaboració pròpia

D'altra banda, observant les gràfiques de reflectància de l'annex IV, però sobretot els diagrames de caixa de l'annex III, es pot veure que els rangs de reflectància per estany són molt variables entre un i uns altres, el qual reforça la idea de que cal establir uns llindars

adaptats a cada estany. També, es pot veure que hi ha estanys que tenen una alta dispersió de valors i altres en canvi es veu una major concentració, però això pot estar motivat pel comentat a l'apartat anterior. Així mateix, creuant totes les temporades, s'observa que en general els estanys tenen un comportament similar cada temporada, exceptuant-ne alguna, com la 2018-19, que suggeririen que s'haurien d'analitzar més profundament en futures revisions per valorar el pes estadístics d'aquestes temporades i la necessitat, o no, d'aïllar-les per a l'obtenció de llinars extrapolables a una sèrie temporal llarga.

No obstant, el plantejament inicial va ser el de detectar el mínim de reflectància que dona un estany en el seu conjunt estant gelat, entenent que d'aquest valor en amunt el més probable és que estigui congelat, tot i així, donada la influència dels píxels mixtes això podria no ser definitiu, i per això s'han extret del conjunt de temporades el mínim dels mínims de la mitjana, la mitjana dels mínims de la mitjana, i el màxim dels mínims de la mitjana (*veg. taula 7*) per combinar-los en una avaluació de 10 dies buscant continuïtat en la coberta congelada.

4.2 Fase de congelació dels estanys monitoritzats amb càmeres 2021-22

La monitorització de la fase de congelació dels 7 estanys amb càmeres durant la temporada 2021-22 no només va servir per validar els resultats de teledetecció, sinó que també es va obtenir una informació molt valuosa per caracteritzar i comprendre millor aquest fenomen. Així mateix, el fet d'haver seleccionat els estanys segons els criteris explicats a l'apartat 3.1.1, es va aconseguir una bona diversitat en el comportament de la coberta, així com de les reflectàncies i de la classificació de Fmask. Amb tot, es va poder observar que els estanys lliures d'ombres topogràfiques, sovint situats en valls orientades al sud, com és el cas de l'estany de Travessani o l'estany de Contraix, permeten una millor detecció de la congelació per teledetecció, ja que es defineixen de manera més clara i separable els llinars de reflectància que es donen quan l'estany està descongelat, o no (*veg. figura 17*).

Per un altre costat, l'estany Llong, tot i ser un estany de vall amb una orientació est-oest i afectat parcialment per ombres topogràfiques, té, a la pràctica, una fàcil separació dels dos estats de la coberta. D'una banda, semblaria que es veu afavorit per l'angle de radiació incident en el moment de la passada dels satèl·lits a mig matí, i, d'altra banda, a diferència dels altres 6 estanys, aquest té en gran part del seu perímetre un bosc bastant dens de pi negre (*pinus uncinata*), que amorteix els pics de reflectància dels píxels mixtes per neu a les vores durant les primeres nevades, veient-se així, un salt més alt de reflectàncies entre l'abans i el després, tal com s'observa de comparar les dues gràfiques següents (*veg. figura 17 i 18*).

En canvi, la gràfica de reflectàncies de l'estany de Saboredo de Dalt (*veg. figura 19*) evidencia clarament la dificultat per definir uns llinars entre la neu i l'aigua, a causa de l'afectació en tota la seva superfície d'ombres topogràfiques, tal com ja s'ha comentat.

Així mateix, els estanys parcialment afectats per les ombres com són l'estany de Gerber i l'estany Gelat estan al límit de confusió per poder extreure la data de congelació amb el mètode plantejat (veg. l'annex I), cal dir per això, que en el cas de l'estany Gelat afecta considerablement la seva superfície perquè, amb 6,5ha, és el més petit dels que han estat monitoritzats. D'altra banda, el lac Redon té un comportament diferent, ja que tot i tenir la part sud-oest afectada per ombres, al ser el més gran de tots, és l'únic que conté un píxel pur que ajuda a establir el llindar de manera bastant clara.



Figura 16 Intermitències a l'estany Llong amb trencament del gel prim i negre a causa del vent en un mateix dia. Font: Elaboració pròpia.

Finalment, es van observar fases de congelació de durades diverses (veg. taula 8). La del lac Redon, tot i ser la més tardana, va ser la més ràpida, val a dir, que es va congelar completament en un sol dia. Així mateix, les més llargues van ser la de l'estany Llong i la de l'estany de Dalt de Saboredo, durant 13 dies i produint-se moltes intermitències i gel negre. També, amb les imatges de les càmeres es va poder constatar el comentat a l'apartat 2.1, de com el vent podia trencar la fina capa de gel superficial, essent un dels principals causants de les intermitències (veg. figura 16). També, de com afecta l'aportació d'aigua d'un riu, dificultant la congelació d'una part de la coberta, tal com passa a l'estany Llong. Amb tot, amb fases de congelació tan curtes, estanys petits, i intermitències, no s'han pogut establir els inicis de la congelació, ni la proporció de gel en aquesta fase de transició, per mitjà de teledetecció, però sí, la data d'arribada a la congelació completa.

Estany	Inici congelació	Final congelació	Nº dies	Observacions
Estany de Contraix	16-nov	21-nov	5	Intermitències i gel negre.
Estany Gelat (Saboredo)	25-nov	01-dic	6	Molta intermitència i gel negre.
Estany de Gerber	01-dic	09-dic	8	Intermitències i gel negre.
Estany Llong	16-nov	29-nov	13	Intermitències i gel negre. Es veu com el vent trenca la capa prima superficial.
Lac Redon	09-dic	10-dic	1	No es detecta gel negre previ, però sí després
Estany de Dalt de Saboredo	18-nov	01-dic	13	Intermitències i gel negre.
Estany de Travessani	19-nov	24-nov	5	Congelació bastant contínua.

Taula 8 Dates de la fase congelació i característiques de la temporada 2021-22. Font: Elaboració pròpia.



Figura 17 En l'evolució de les reflectàncies de l'estany de Travessani destaca clarament el llinar que separa la congelació completa amb valors molt més alts, respecte de quan està desgelat. Es veuen dos pics al novembre per l'afectació de les primeres nevades als píxels mixtes, ja que no hi ha bosc al litoral. Font: Elaboració pròpia..

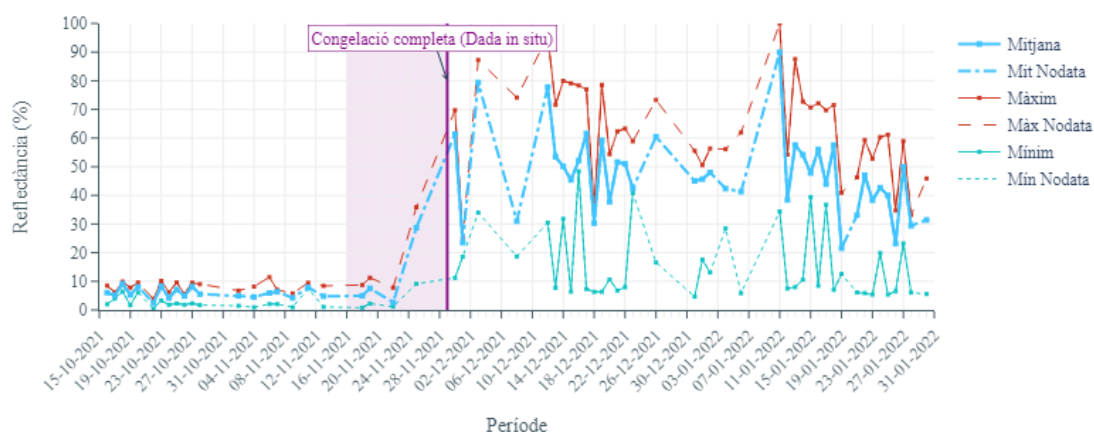


Figura 18 En l'evolució de les reflectàncies de l'estany Llong no destaca especialment la influència de les dues primeres nevades de novembre abans de la congelació, al mateix temps que es marca un salt important que permet separar molt bé quan es aigua de quan està totalment congelat. Font: Elaboració pròpia.

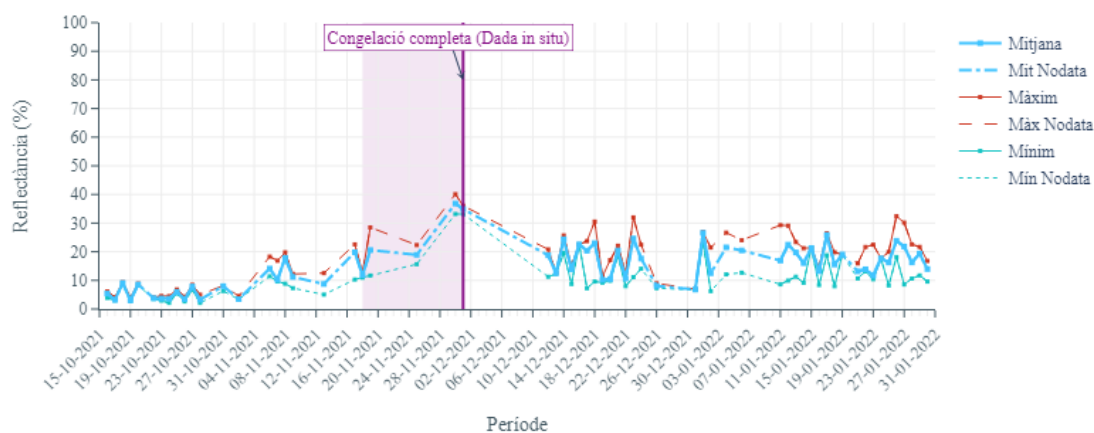


Figura 19 Salt de reflectàncies gens definit entre els dos estats de l'estany, fent inviable la teledetecció amb l'algorisme plantejat en aquest treball. Font: elaboració pròpia.

4.3 Dates de congelació i validació

Les dates d'arribada a la congelació completa es poden trobar a l'*annex II*, tant per la banda del vermell com per la banda de l'infraroig proper. No obstant, pel ja comentat, es donen per més precises les extrems a partir de la banda 1 (vermell), i que ara, estudiant amb detall les gràfiques de conjunt, disponibles al mateix annex, encara es reforça més la idea de que és sensiblement millor la banda 1, ja que els estanys es comporten en blocs o grups associats a esdeveniments meteorològics que afavoreixen la congelació en estanys d'unes determinades característiques, i en canvi, a la banda 2, s'observa que hi ha molts estanys que van per lliure, congelant-se sense seguir cap tendència de grup, el qual difereix de l'observat durant el treball de camp. Tanmateix, en la validació dels resultats de la temporada 2021-22 no s'han apreciat diferències entre les dues bandes.

Estany	Teledetecció	In situ	Dif. en dies	Error abs. (Ea)	Error ²
Contraix	25-11-2021	21-11-2021	4	4	16
Gelat	2021-11-30	2021-12-01	-1	1	1
Gerber	2021-11-30	2021-12-09	-9	9	81
Llong	2021-11-25	2021-11-29	-4	4	16
Redon	12/12/2021	2021-12-10	2	2	4
Travessani	2021-11-25	2021-11-24	1	1	1
Error mig				3,50	19,83
				EQM o MSE	19,83
				RMSE	4,45

Taula 9 Validació dels resultats de la temporada 2021-22. Font: Elaboració pròpia.

Així doncs, es van validar els resultats amb 6 dels 7 estanys amb càmeres, dels quals es coneixia la data exacte de congelació, obtenint un error mig absolut de 3,5 dies i un RMSE (*Root-Mean-Square Error*) de 4,45 dies (veg. *taula 9*). Resultats que a priori són molt satisfactoris, però sense oblidar que la mostra és possiblement massa petita, tan sols el 27,2% dels estanys estudiats, i a més, per una sola temporada de les 22 analitzades. Per tant, seria convenient seguir adquirint dades in situ per aconseguir uns resultats més representatius i fiables.

Finalment, les dates de congelació obtingudes s'haurien d'entendre com uns resultats preliminars d'una primera aproximació a aquest cas d'estudi, però, val a dir, que si de la llista d'estanys no es té en compte els quatre identificats a l'apartat 4.1 amb problemes detectats durant l'estudi de mínims, que al seu torn, tenen valors marcats en vermell a la *taula 7*, la confiança en els resultats augmentaria molt considerablement. Un element que reforçaria el comentat, és que l'estany de Gerber és un d'aquests estanys dubtosos, i és el que té major error absolut amb 9 dies.

4.4 La variabilitat temporal de la coberta de gel dels estanys d'Aigüestortes

Amb una anàlisi visual de les dates de congelació a través de la primera gràfica de l'*annex II*, es pot veure com al llarg d'aquestes 22 temporades hi ha hagut anys en els quals la congelació ha estat abans, i, en d'altres en canvi, aquesta s'ha produït més enllà en el calendari en el conjunt dels estanys, quelcom que podria anar associat a la pròpia variabilitat climàtica d'una regió influenciada pel clima mediterrani. Amb una petita exploració, es va comprovar que el comportament observat es corresponia a les condicions meteorològiques esdevingudes cada temporada, ja fos més càlida i seca a l'inici de la mateixa com la 2006-07, o més freda com la 2003-04. Aquest fet, també ajuda a tenir més confiança amb els resultats obtinguts. Així mateix, també s'evidencia la variabilitat en una mateixa temporada, veient que l'alternança de períodes més severos amb d'altres més suaus, provoca la congelació en blocs d'estanys, quelcom que en un futur, es podria estudiar la possible correlació amb els factors climàtics i específics comentats a l'apartat 2.1.

D'altra banda, i simplement per cercar indicis de quina podria ser la tendència 2020-2022, però sense confirmar-la, a l'espera de tenir uns resultats més robustos en el futur, surt que si es divideixen les 22 temporades en dues d'11, la segona sèrie temporal tindria 1.000 dies menys els estanys gelats completament fins al 31 de gener, el que suposa un 3,2% menys, i això que la primera sèrie conté la temporada amb menys gel (*veg. figura 20*). Tot i així, tal com s'observa a les gràfiques individuals dels estanys que mostren més confiança, hi ha estanys amb una mínima tendència negativa (menys dies gelats / congelació més tardana), però d'altres també lleugerament positiva (*veg. figures 21, 22 i 23*).

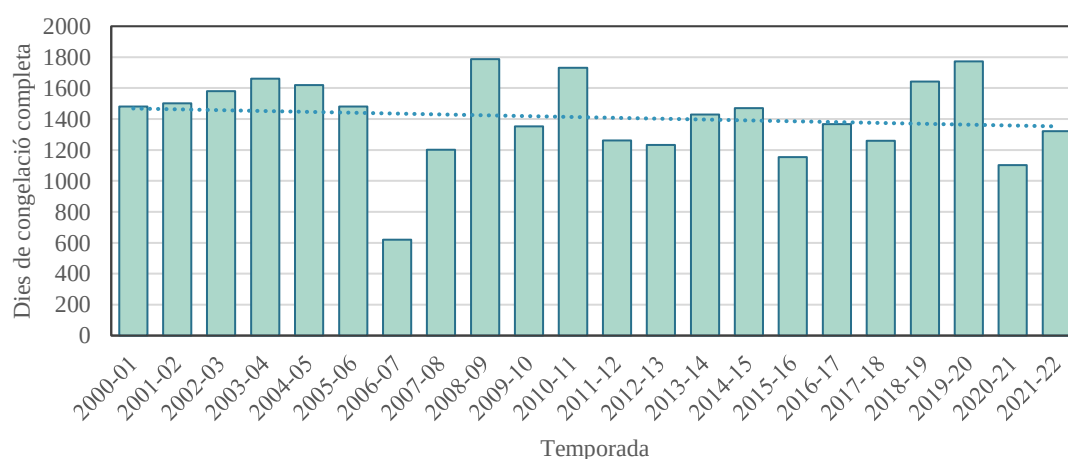


Figura 20 Número de dies totals amb els estanys gelats completament fins el 31 de gener. Font: Elaboració pròpia.

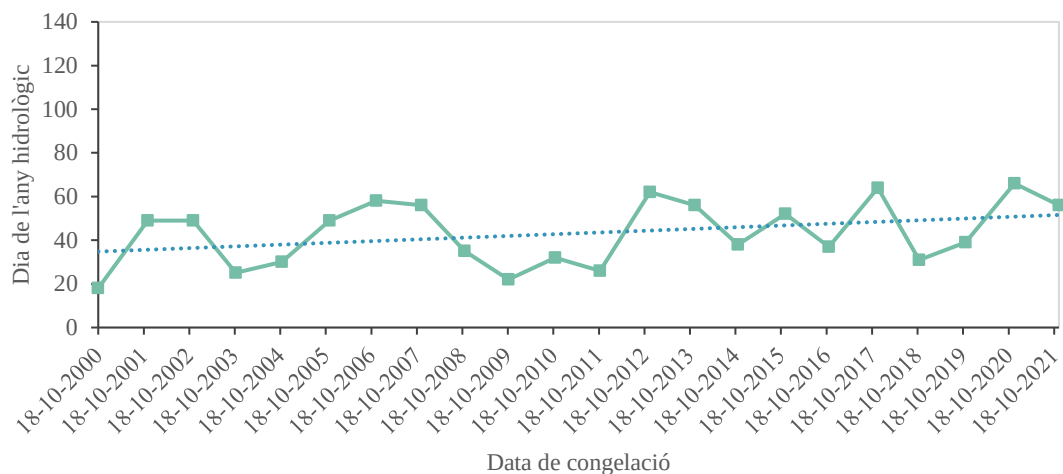


Figura 21 Evolució de la data de congelació i tendència de l'estany de Contraix 2000-22. Font: Elaboració pròpia.

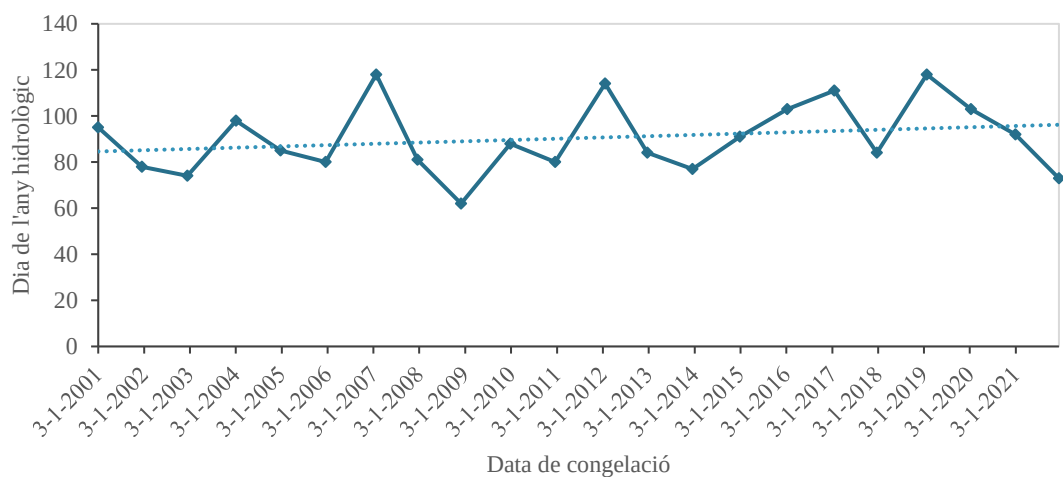


Figura 22 Evolució de la data de congelació completa i tendència del lac Redon 2000-22. Font: Elaboració pròpia.

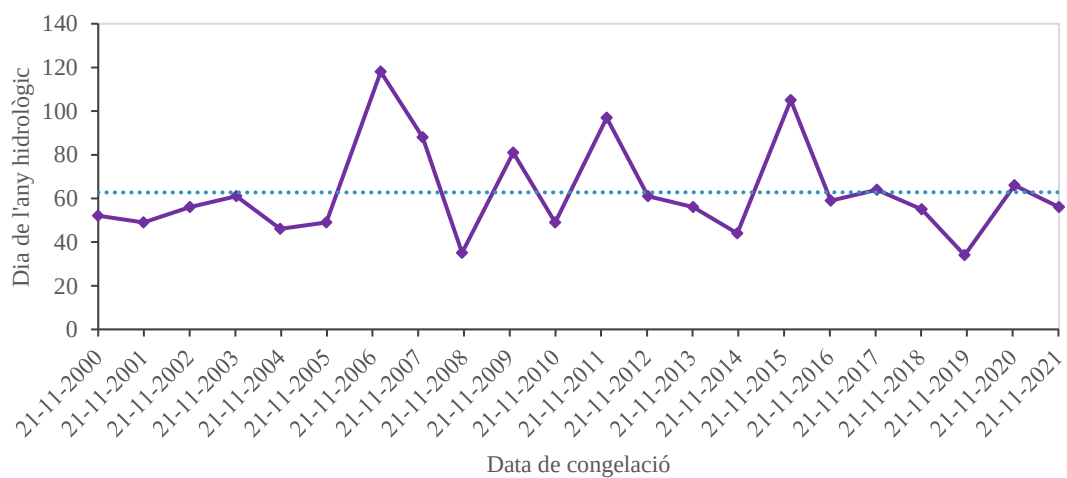


Figura 23 Evolució de la data de congelació i tendència de l'estany de Travessani 2000-22. Font: Elaboració pròpia.

5 CONCLUSIONS

Aquesta recerca aproximativa a la fenologia del gel dels estanys del Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, que, per defecte són considerats de mida petita, revela que hi ha possibilitat d'extreure la data de congelació completa en estanys inferiors a les 13ha mitjançant un algorisme de detecció automàtica a partir d'imatges de teledetecció MODIS, a priori amb una resolució espacial massa grollera (250m), però que combinades amb les dades de classificació de la coberta de la banda de qualitat de Landsat QA_PIXEL, de major resolució (30m), que emprava Fmask per la identificació de la neu, i, afegint un tractament estadístic, es pot establir un llindar clar de reflectàncies entre l'estany gelat del tot, o no, tot i que només de manera binària, i per tant sense possibilitat d'extreure'n la proporció de gel en les curtes fases de congelació d'aquests estanys. Val a dir per això, que la confiança disminueix considerablement quan més petits són els estanys, que pel què s'ha observat, el límit inferior podria situar-se en les 6ha, o, altrament, quan aquests estan afectats en gran part de la seva superfície per ombres topogràfiques sota un percentatge encara per determinar, però que sorgeix indirectament en l'estudi de mínims aplicat. Ambdues situacions, solapades o no, agreugen la problemàtica de base del tractament de píxels mixtes típica de tots els estanys de l'àmbit, ja que només el *lac Redon*, dels 26 estudiats, disposa d'un píxel MODIS pur.

Val a dir, que s'ha obtingut un bon error absolut, de 3,5 dies en la validació a partir de les dades in situ de 6 estanys de la temporada 2021-22, però malauradament són poques dades perquè sigui un resultat representatiu del conjunt. En aquest sentit, s'ha de dir que l'ús de càmeres automàtiques es mostra com un bon instrument per a la captura de dades in situ, i convida a seguir utilitzant-les en el futur. A més a més, s'aprecien possibilitats de millora de l'algorisme, començant per augmentar la densitat de dades Landsat, ja sigui amb una sèrie més llarga, o ampliant el topall del 31 de gener per a la congelació, o aplicant l'algorisme Fmask a imatges de Sentinel-2. D'altra banda també, es podrien combinar dades de radar o del tèrmic per millorar el calibratge i la classificació de la coberta.

Finalment, s'observa una lleugera tendència de congelació més tardana dels estanys, però ni els resultats de les dates de congelació són massa robustos per afirmar-ho, ni probablement tampoc, siguin suficients 22 temporades, podent ser fruit de la pròpia variabilitat climàtica regional. No obstant, encara faltaria per analitzar les dates de ruptura, que, presumiblement, podrien donar una tendència molt més clara, a la llum dels canvis en la temperatura mitjana estacional reportats als Pirineus.

6 REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- Ballesteros, E., Camarero, L., Catalán, J., & García, E. (1990). Aspectos generales de la limnología invernal de dos lagos pirenaicos morfológicamente muy distintos (Estany Redó y Estany Baciver). *Scientia Gerundensis*, 0(16). <https://raco.cat/index.php/Scientia/article/view/49560>
- Barbieux, K., Charitsi, A., & Merminod, B. (2018). Icy lakes extraction and water-ice classification using Landsat 8 OLI multispectral data. *International Journal of Remote Sensing*, 39(11), 3646–3678. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1447165>
- Benson, B. J., Magnuson, J. J., Jensen, O. P., Card, V. M., Hodgkins, G., Korhonen, J., Livingstone, D. M., Stewart, K. M., Weyhenmeyer, G. A., & Granin, N. G. (2012). Extreme events, trends, and variability in Northern Hemisphere lake-ice phenology (1855–2005). *Climatic Change*, 112(2), 299–323. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0212-8>
- Brown, L. C., & Duguay, C. R. (2010). The response and role of ice cover in lake-climate interactions. *Progress in Physical Geography*, 34(5), 671–704. <https://doi.org/10.1177/0309133310375653>
- Brown, L. C., & Duguay, C. R. (2012). Modelling Lake Ice Phenology with an Examination of Satellite-Detected Subgrid Cell Variability. *Advances in Meteorology*. <https://doi.org/10.1155/2012/529064>
- Catalan, J. (1989). The winter cover of a high-mountain Mediterranean Lake (Estany Redo, Pyrenees). *Water Resources Research*, 25, 519–527. <https://doi.org/10.1029/WR025i003p00519>
- Catalan, J., Ballesteros, E., Camarero, L., Felip, M., & Gacia, E. (1992). Limnology in the Pyrenean Lakes. *Limnetica*, 8. <https://doi.org/10.23818/limn.08.03>
- Catalan, J., Vilalta, R., Weitzmann, B., Ventura, M., Comas, E., Pigem, C., & Aranda, R. (coord.). (1997). *L'obra hidràulica en els Pirineus: avaluació, correcció i prevenció de l'impacte mediambiental, el Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici*. (ENHER, FECSA, & Fundació La Caixa, Eds.).
- Chaouch, N., Temimi, M., Romanov, P., Cabrera, R., McKillop, G., & Khanbilvardi, R. (2014). An automated algorithm for river ice monitoring over the Susquehanna River using the MODIS data. *Hydrological Processes*, 28(1), 62–73. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/hyp.9548>
- Cook, T. L., & Bradley, R. S. (2010). An analysis of past and future changes in the ice cover of two high-arctic lakes based on synthetic aperture radar (SAR) and landsat imagery. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 42(1), 9–18. <https://doi.org/10.1657/1938-4246-42.1.9>
- Duguay, C., Bernier, M., Gauthier, Y., & Kouraev, A. (2015). *Remote sensing of lake and river ice Use of the morphological transfer function for the simulation of water transfers in Debo catchment (SOUBRE area, southwest of Ivory Coast View project*. www.wiley.com/go/tesesco/cryosphere
- Duguay, C., & Wang, J. (2019). Advancement in Bedfast Lake ICE Mapping From Sentinel-1 Sar Data. *IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 6922–6925. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2019.8900650>

- Geldsetzer, T., Sanden, J. J., & Brisco, B. (2010). Monitoring lake ice during spring melt using RADARSAT-2 SAR. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 36, 391. <https://doi.org/10.5589/m11-001>
- Jeffries, M. O., Overland, J. E., & Perovich, D. K. (2013). The Arctic shifts to a new normal. *Citation: Physics Today*, 66, 35. <https://doi.org/10.1063/PT.3.2147>
- Liu, Y., Key, J., & Mahoney, R. (2016). Sea and freshwater ice concentration from VIIRS on Suomi NPP and the future JPSS satellites. *Remote Sensing*, 8(6). <https://doi.org/10.3390/rs8060523>
- OPCC-CTP. (2018). *El canvi climàtic als Pirineus: impactes, vulnerabilitat i adaptació. Bases de coneixement per a la futura Estratègia d'Adaptació al Canvi Climàtic als Pirineus*. Observatori Pirinenc del Canvi Climàtic. <https://opcc-ctp.org/>
- Pointner, G., Bartsch, A., Forbes, B. C., & Kumpula, T. (2019). The role of lake size and local phenomena for monitoring ground-fast lake ice. *International Journal of Remote Sensing*, 40. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1519281>
- Qiu, S., Zhu, Z., & He, B. (2019). Fmask 4.0: Improved cloud and cloud shadow detection in Landsats 4–8 and Sentinel-2 imagery. *Remote Sensing of Environment*, 231, 111205. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2019.05.024>
- Sabás, I., Miró, A., Piera, J., Catalan, J., Camarero, L., Buchaca, T., & Ventura, M. (2021). Factors of surface thermal variation in high-mountain lakes of the Pyrenees. *PLoS ONE*, 16(8 August). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254702>
- Sharma, S., Blagrove, K., Magnuson, J. J., O'Reilly, C. M., Oliver, S., Batt, R. D., Magee, M. R., Straile, D., Weyhenmeyer, G. A., Winslow, L., & Woolway, R. I. (2019). Widespread loss of lake ice around the Northern Hemisphere in a warming world. In *Nature Climate Change* (Vol. 9, Issue 3, pp. 227–231). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0393-5>
- Sharma, S., Meyer, M. F., Culpepper, J., Yang, X., Hampton, S., Berger, S. A., Brouil, M. R., Fradkin, S. C., Higgins, S. N., Jankowski, K. J., Kirillin, G., Smits, A. P., Whitaker, E. C., Yousef, F., & Zhang, S. (2020). Integrating Perspectives to Understand Lake Ice Dynamics in a Changing World. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 125(8). <https://doi.org/10.1029/2020JG005799>
- Solernou, M. (2021). *El futur de les infraestructures hidroelèctriques al Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici* [TFG]. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Tarrio, K., Tang, X., Masek, J. G., Claverie, M., Ju, J., Qiu, S., Zhu, Z., & Woodcock, C. E. (2020). Comparison of cloud detection algorithms for Sentinel-2 imagery. *Science of Remote Sensing*, 2, 100010. <https://doi.org/10.1016/J.SRS.2020.100010>
- Tiede, D., Sudmanns, M., Augustin, H., & Baraldi, A. (2021). Investigating ESA Sentinel-2 products' systematic cloud cover overestimation in very high altitude areas. *Remote Sensing of Environment*, 252, 112163. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2020.112163>
- Ventura, M., Camarero, L., Buchaca, T., Bartumeus, F., Livingstone, D. M., & Catalan, J. (2000). Eds) Paleolimnology and ecosystem dynamics at remote European Alpine lakes. In *J. Limnol* (Vol. 59).

- Vermote, E., & Wolfe, R. (2021). MODIS/Terra Surface Reflectance Daily L2G Global 250m SIN Grid V061 [Data set]. *NASA EOSDIS Land Processes DAAC*, 1–36. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD09GQ.061>
- Yang, Q., Song, K., Wen, Z., Hao, X., & Fang, C. (2019). Recent trends of ice phenology for eight large lakes using MODIS products in Northeast China. *International Journal of Remote Sensing*, 40(14), 5388–5410. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1579939>
- Zhang, S., & Pavelsky, T. M. (2019). Remote sensing of lake ice phenology across a range of lakes sizes, ME, USA. *Remote Sensing*, 11(14). <https://doi.org/10.3390/rs11141718>
- Zhang, X., Wang, K., & Kirillin, G. (2021). An automatic method to detect lake ice phenology using MODIS daily temperature imagery. *Remote Sensing*, 13(14). <https://doi.org/10.3390/rs13142711>
- Zhu, Z., Wang, S., & Woodcock, C. E. (2015). Improvement and expansion of the Fmask algorithm: cloud, cloud shadow, and snow detection for Landsats 4–7, 8, and Sentinel 2 images. *Remote Sensing of Environment*, 159, 269–277. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2014.12.014>

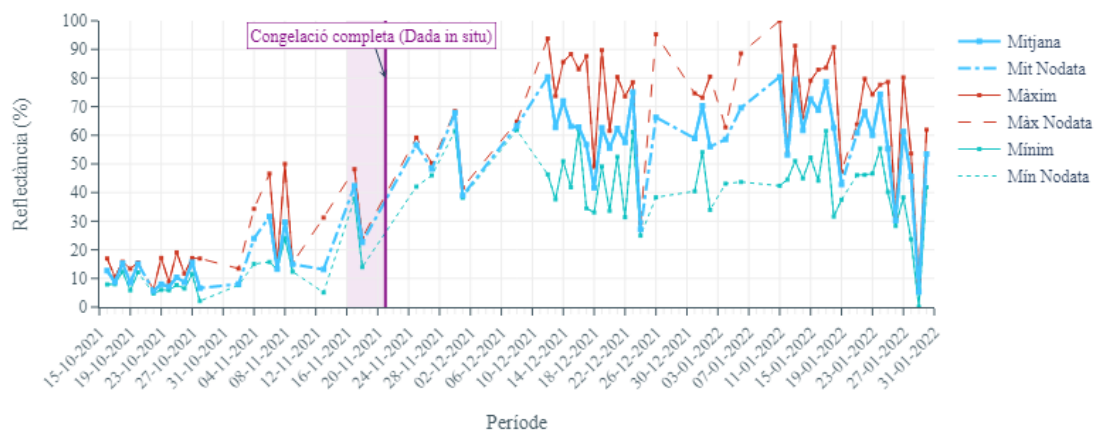
ANNEXOS

I. Evolució dels estanys amb càmeres 2021-22

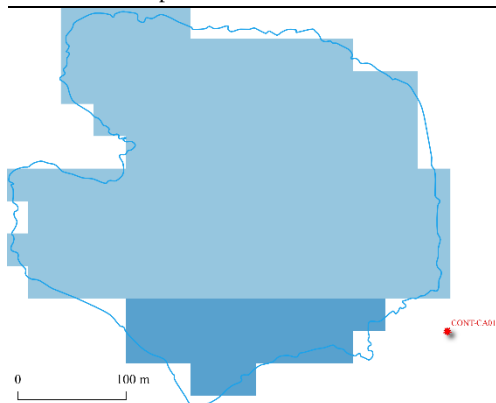
Estany de Contraix

Dates de congelació: In situ 21-11-2021 | Teledetecció 25-11-2021

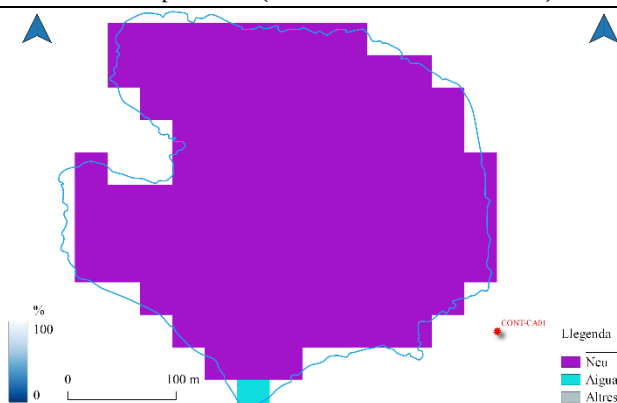
Estany de Contraix: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



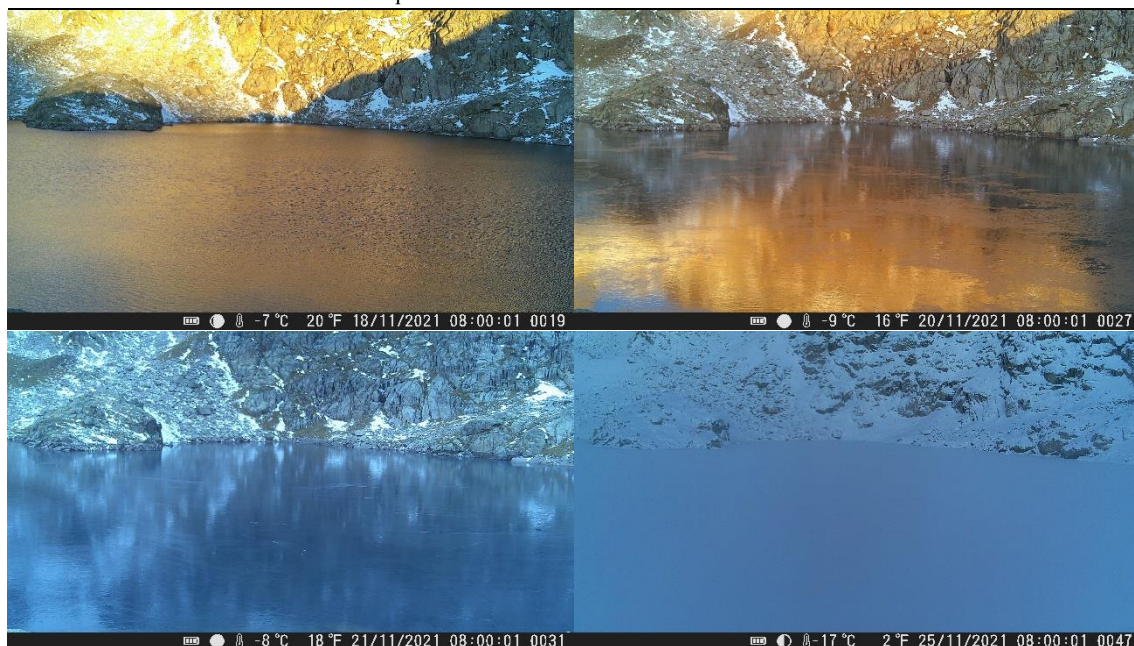
Mapa de reflectàncies 25-11-2021



Mapa Fmask (Classificació del 16-12-2021)



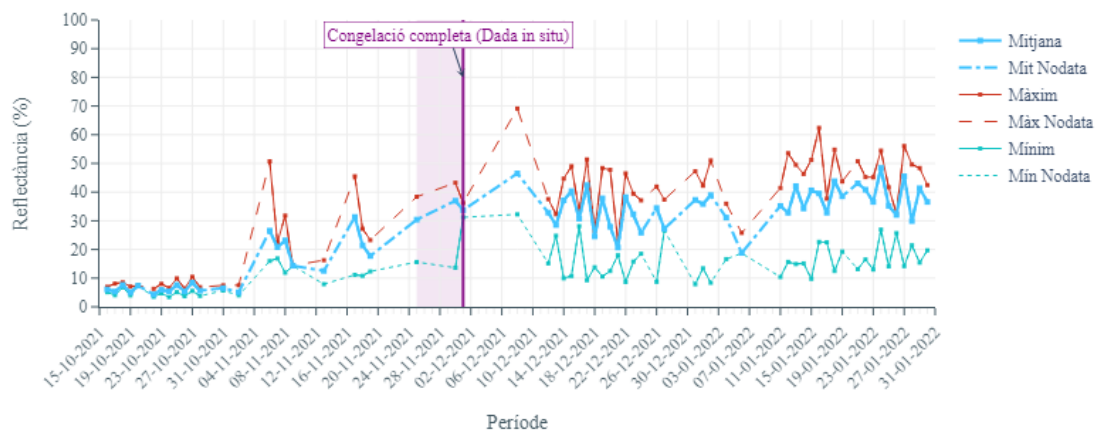
Seqüència de fotos de la càmera automàtica



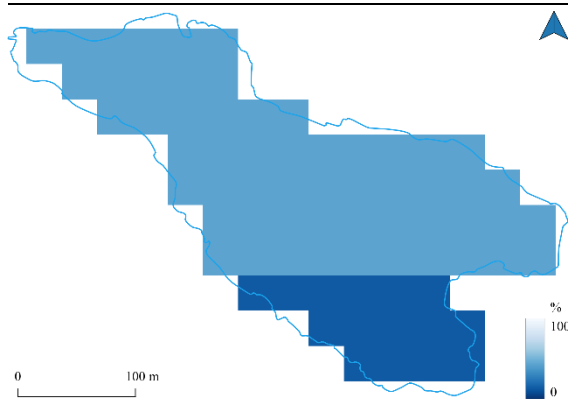
Estany Gelat (Saboredó)

Dates de congelació: In situ 01-12-2021 | Teledetecció 30-11-2021

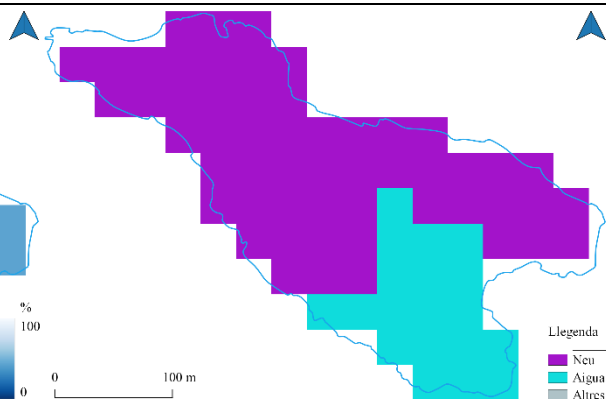
Estany Gelat: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



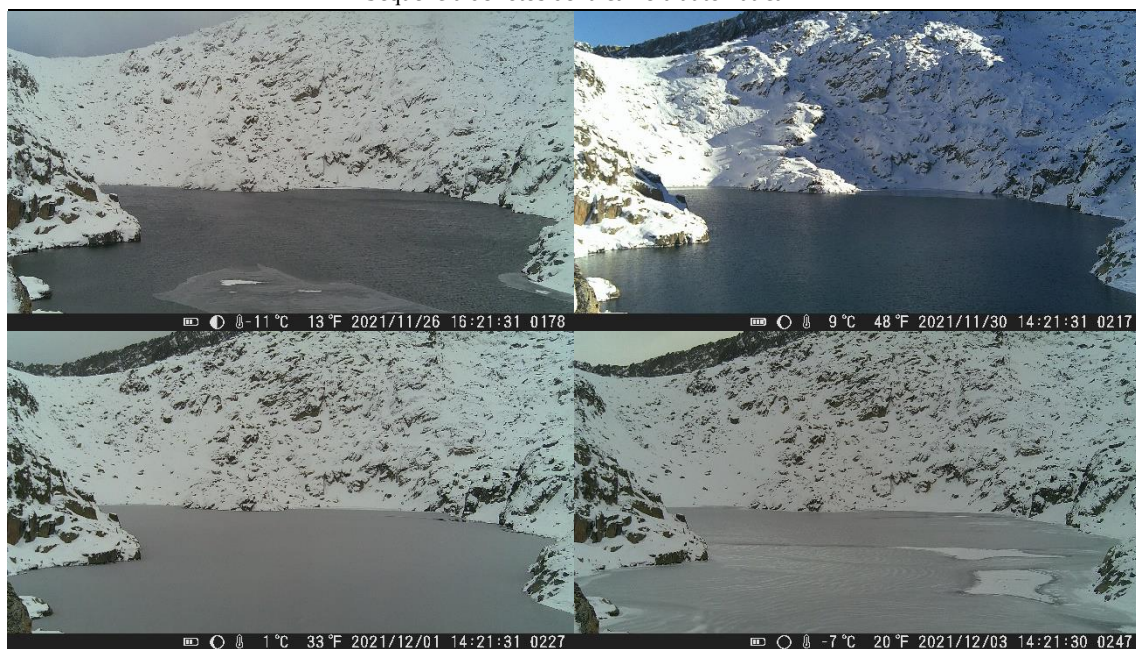
Mapa de reflectàncies 30-11-2021



Mapa Fmask (Classificació del 16-12-2021)



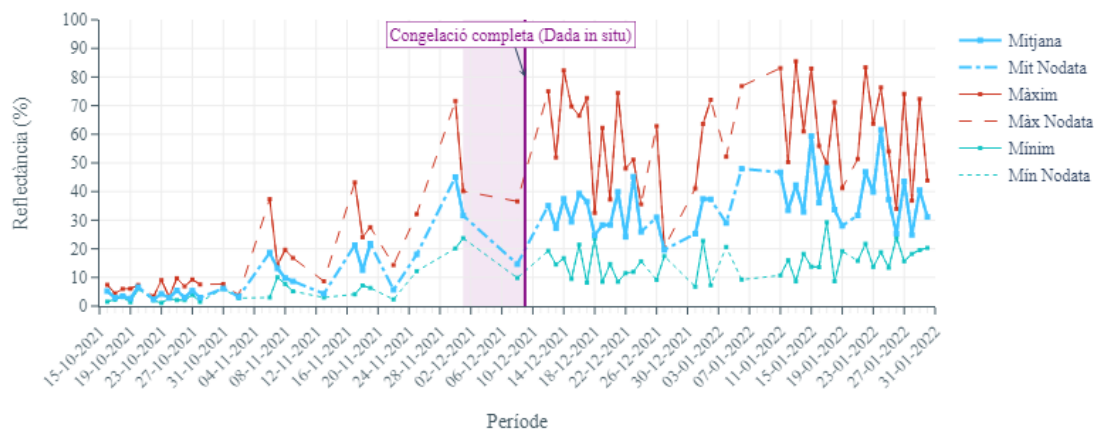
Seqüència de fotos de la càmera automàtica



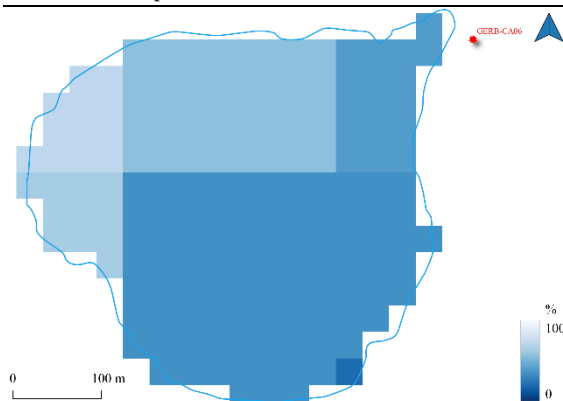
Estany de Gerber

Dates de congelació: In situ 09-12-2021 | Teledetecció 30-11-2021

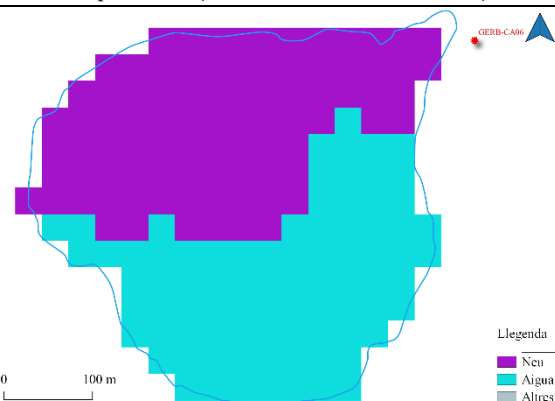
Estany de Gerber: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



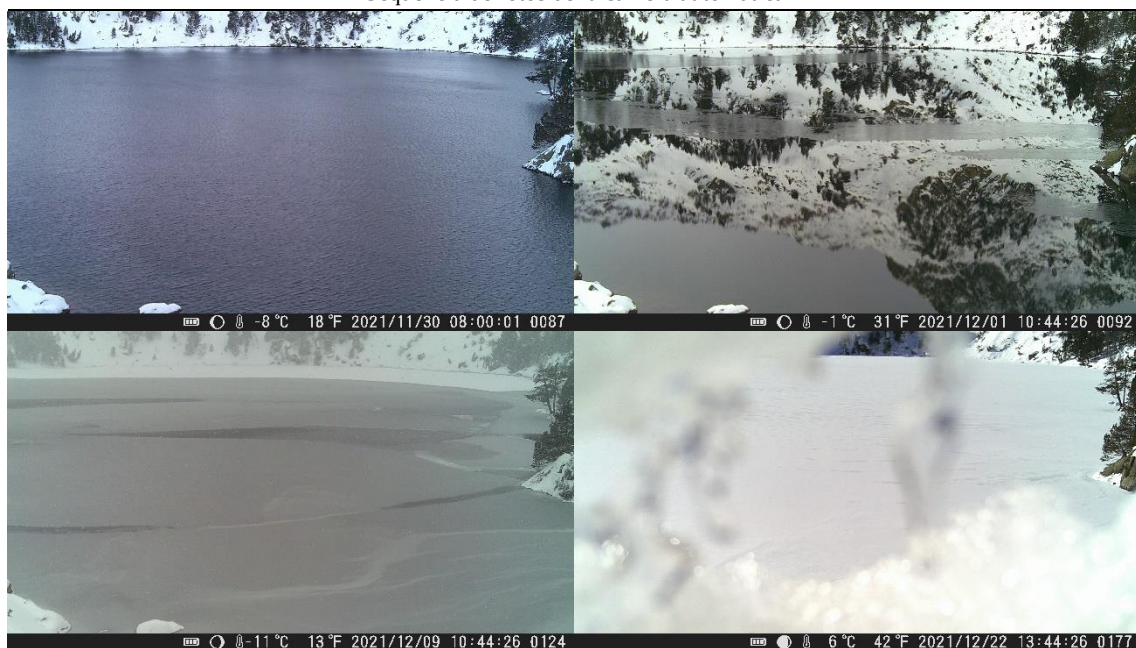
Mapa de reflectàncies 30-11-2021



Mapa Fmask (Classificació del 16-12-2021)



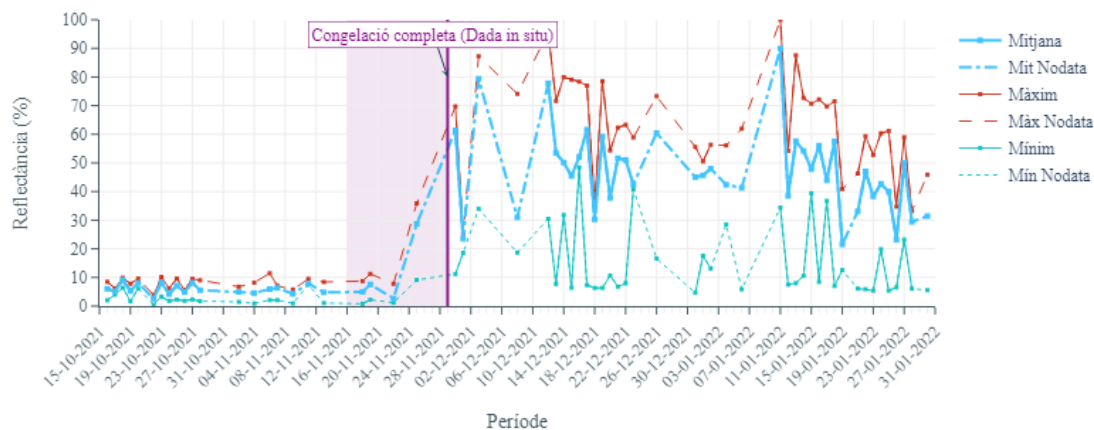
Seqüència de fotos de la càmera automàtica



Estany Llong

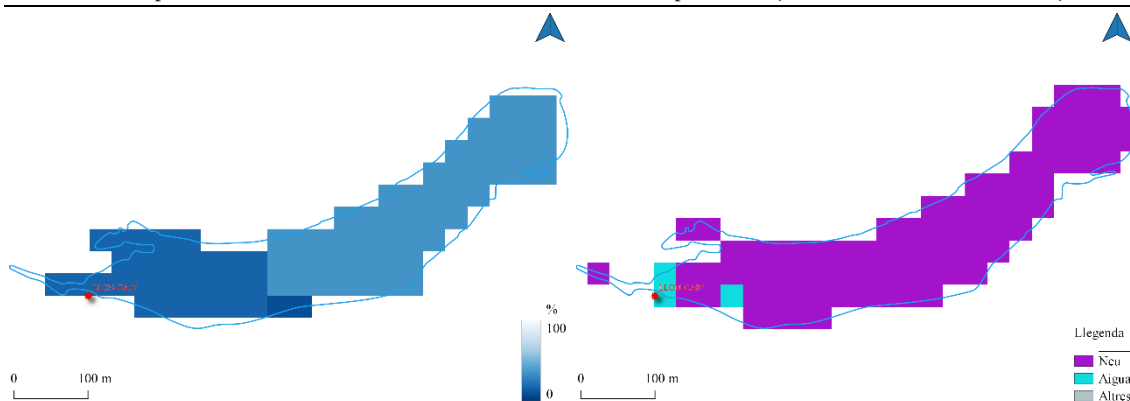
Dates de congelació: In situ 29-11-2021 | Teledetecció 25-11-2021

Estany Llong: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)

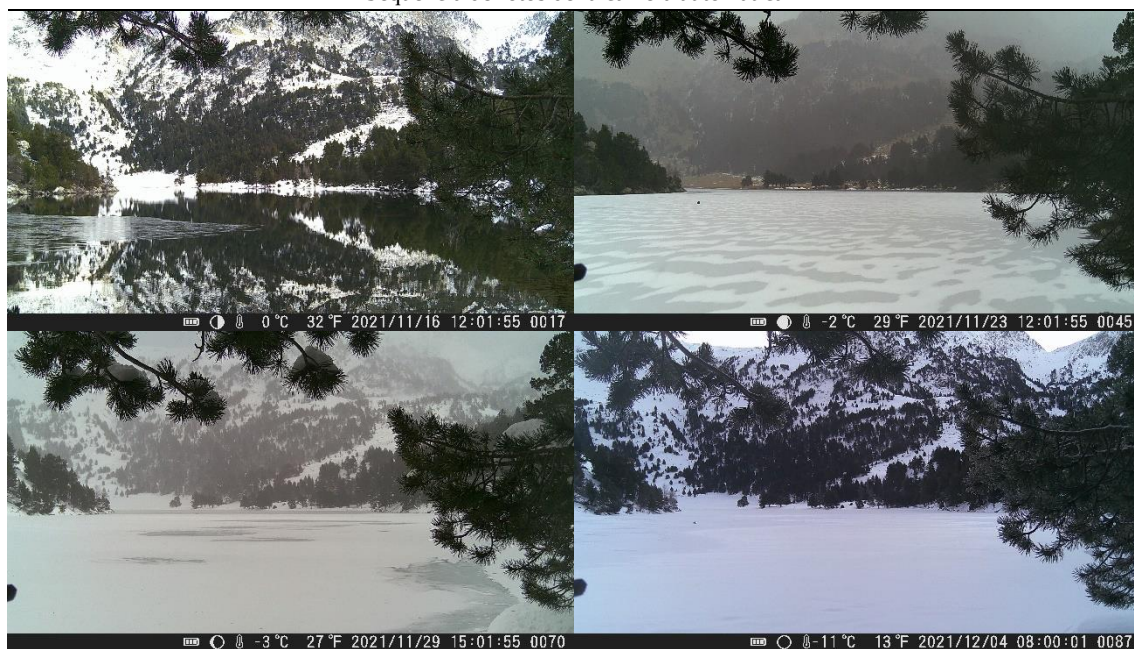


Mapa de reflectàncies 25-11-2021

Mapa Fmask (Classificació del 16-12-2021)



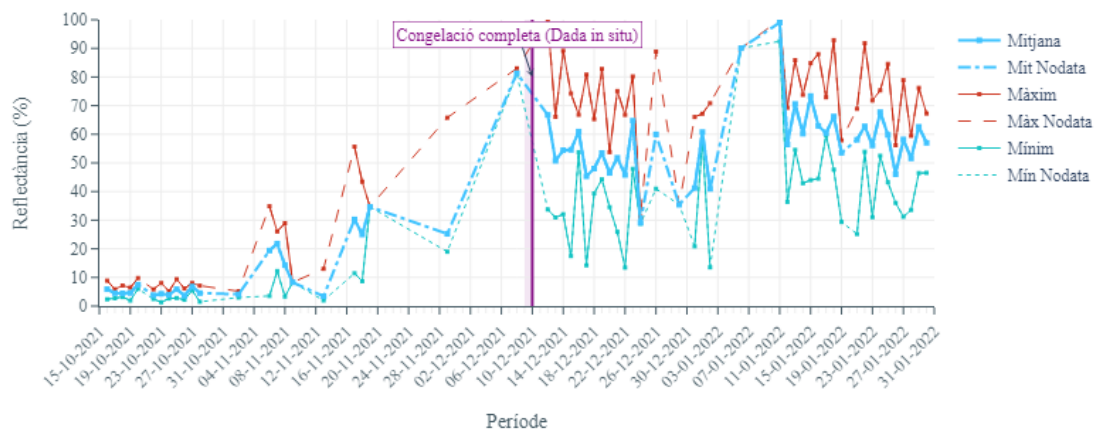
Seqüència de fotos de la càmera automàtica



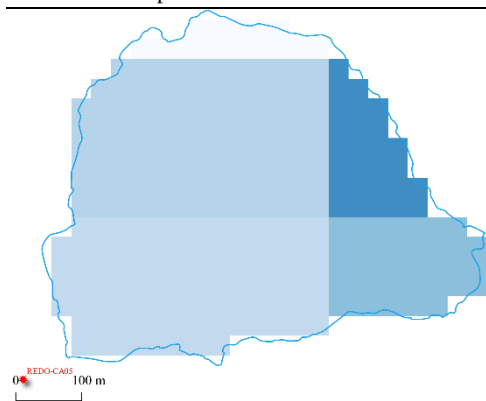
Lac Redon

Dates de congelació: In situ 10-12-2021 | Teledetecció 12-12-2021

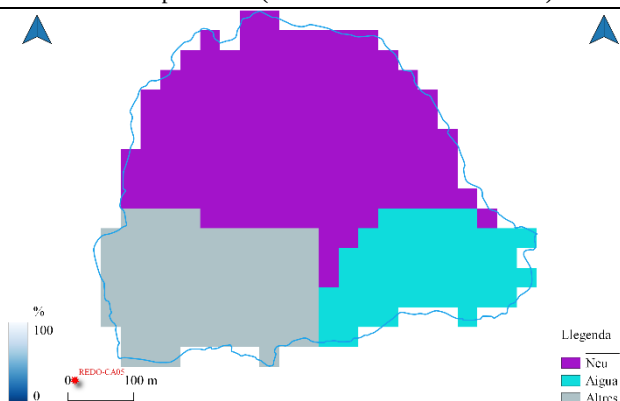
Lac Redon: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



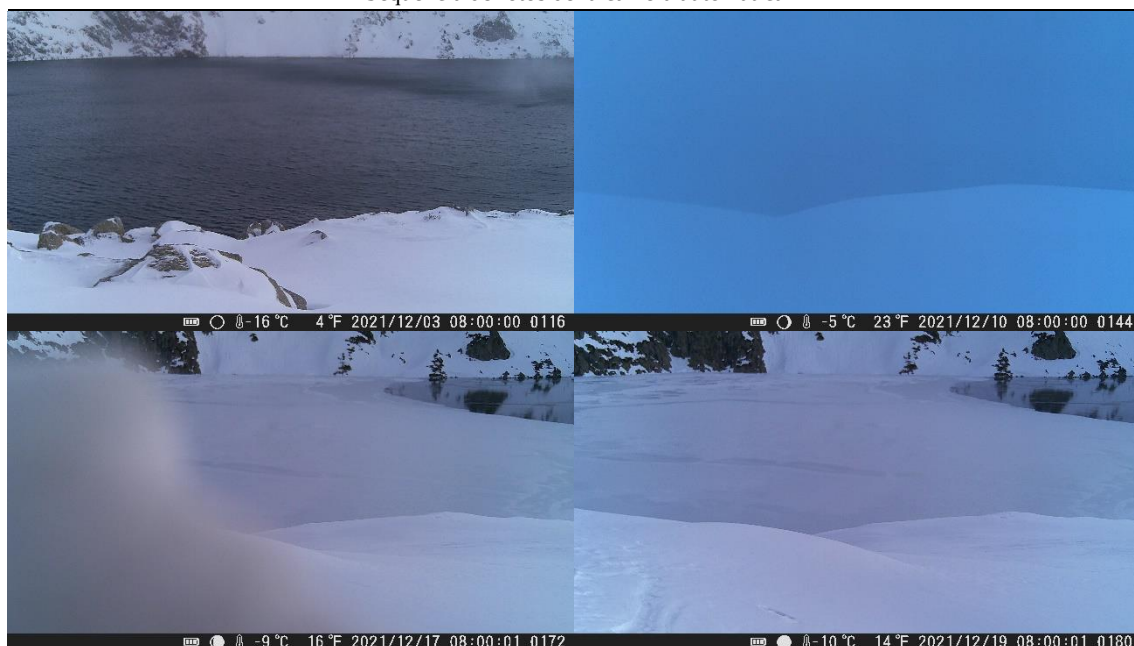
Mapa de reflectàncies 12-12-2021



Mapa Fmask (Classificació del 16-12-2021)



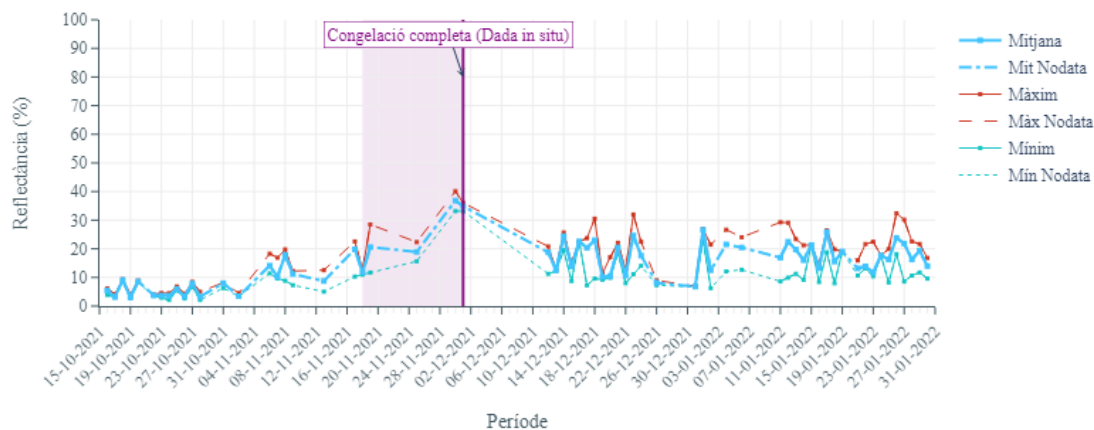
Seqüència de fotos de la càmera automàtica



Estany de Saboredó de Dalt

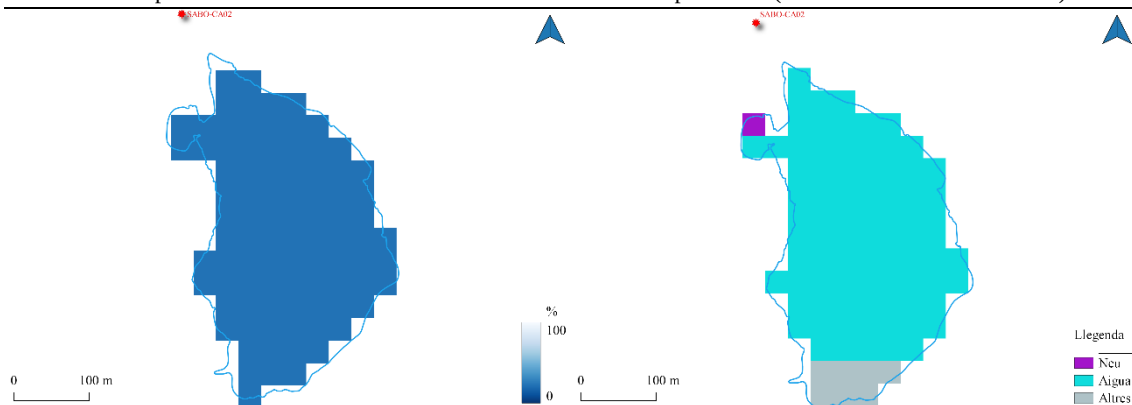
Dates de congelació: In situ 01-12-2021 | Teledetecció No es pot establir

Estany de Dalt de Saboredó: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



Mapa de reflectàncies 16-12-2021

Mapa Fmask (Classificació del 16-12-2021)



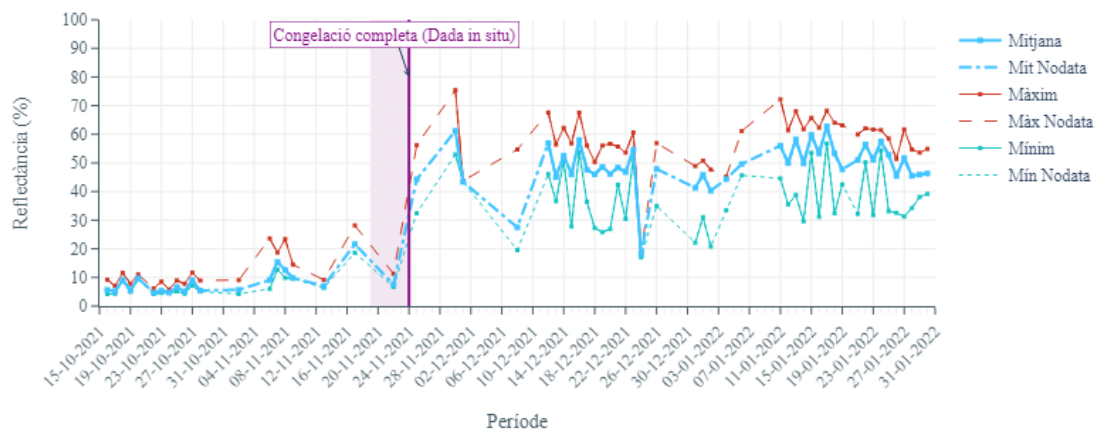
Seqüència de fotos de la càmera automàtica



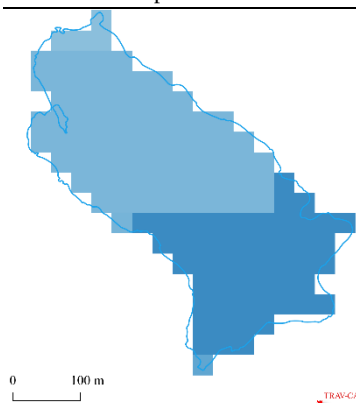
Estany de Travessani

Dates de congelació: In situ 24-11-2021 | Teledetecció 25-11-2021

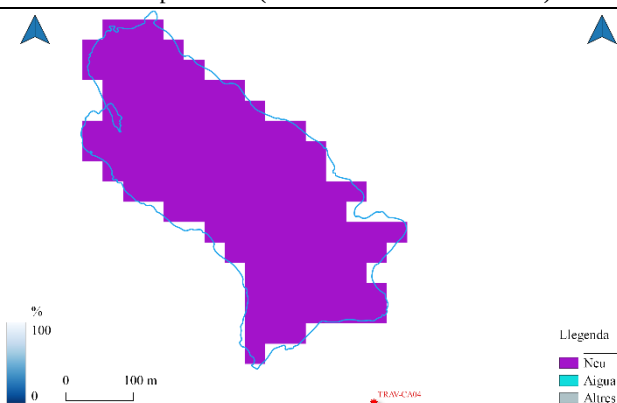
Estany de Travessani: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



Mapa de reflectàncies 25-11-2021



Mapa Fmask (Classificació del 16-12-2021)

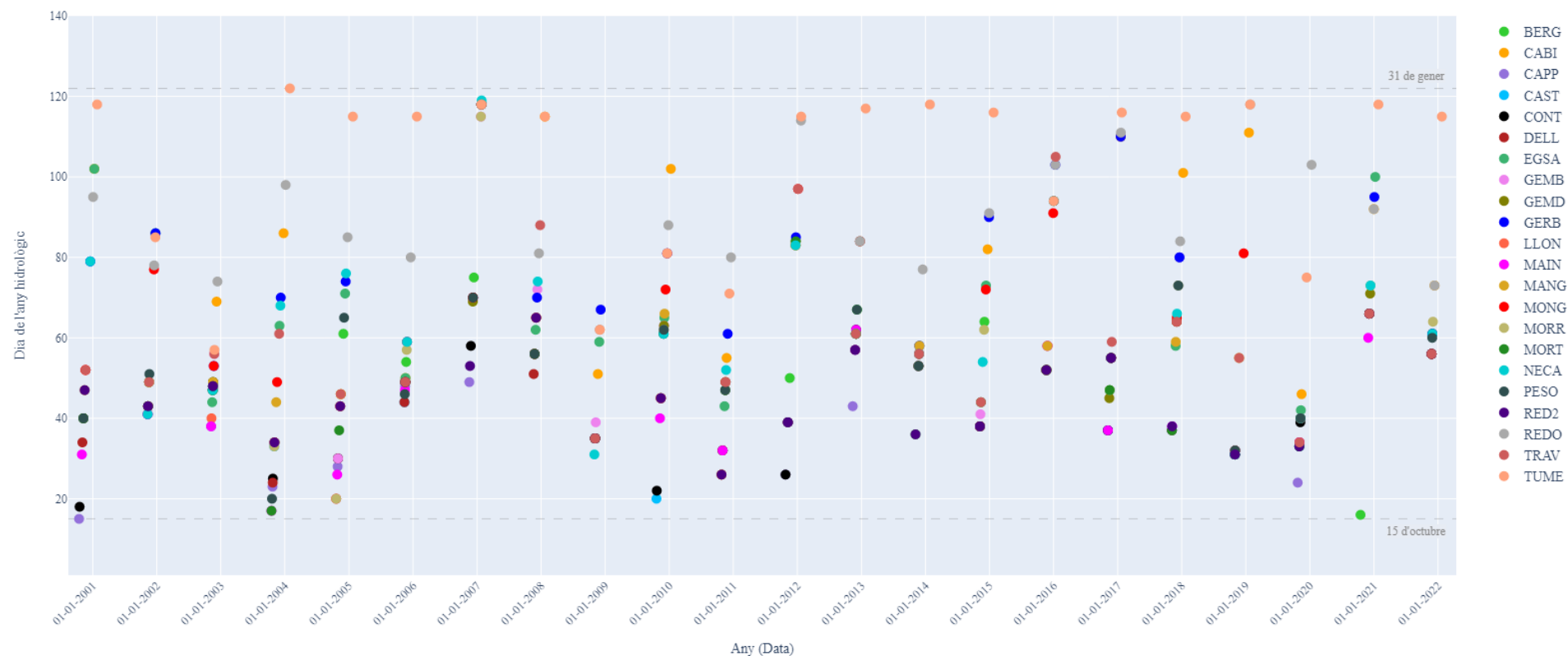


Seqüència de fotos de la càmera automàtica

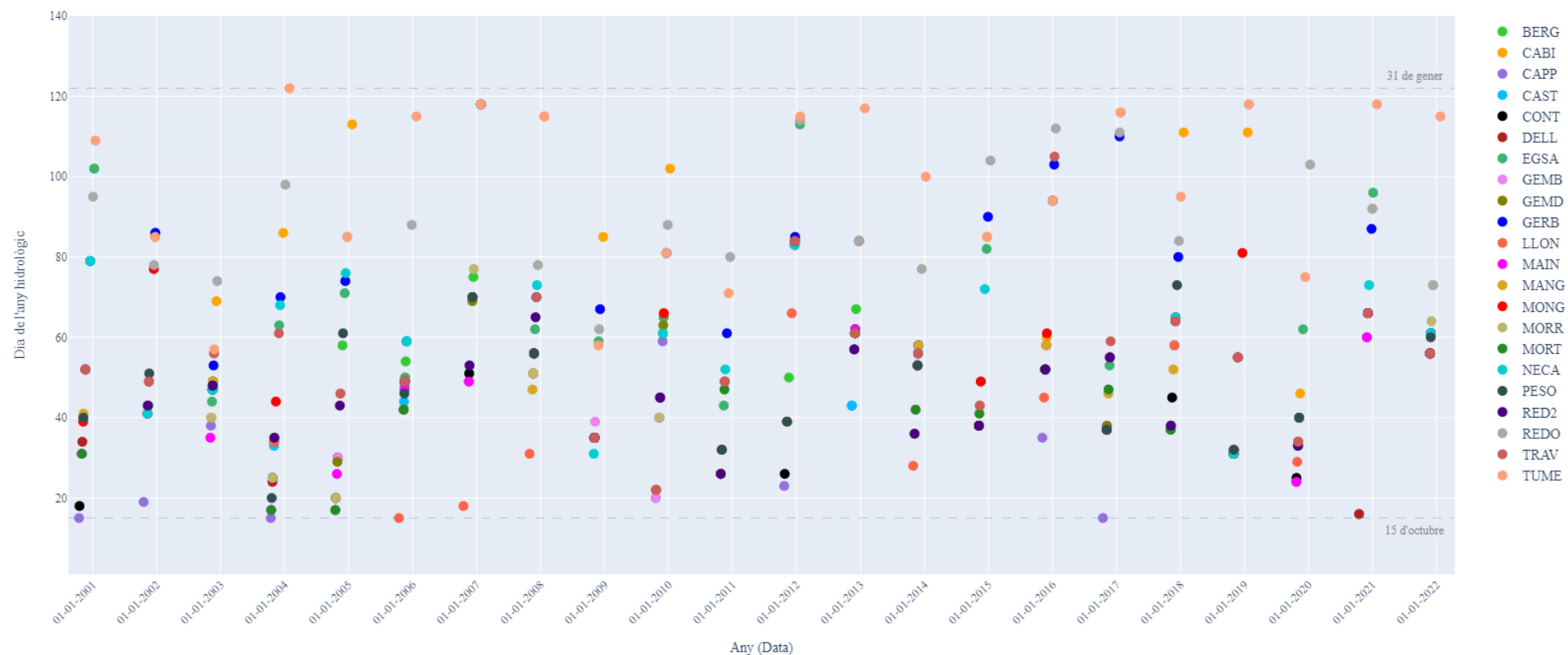


II. Gràfiques i taules amb les dates de congelació 2000-22

Dates de congelació segons l'algorisme de detecció automàtic a partir de reflectàncies mínimes mitjanes de MODIS b1



Dates de congelació segons l'algorisme de detecció automàtic a partir de reflectàncies mínimes mitjanes de MODIS b2

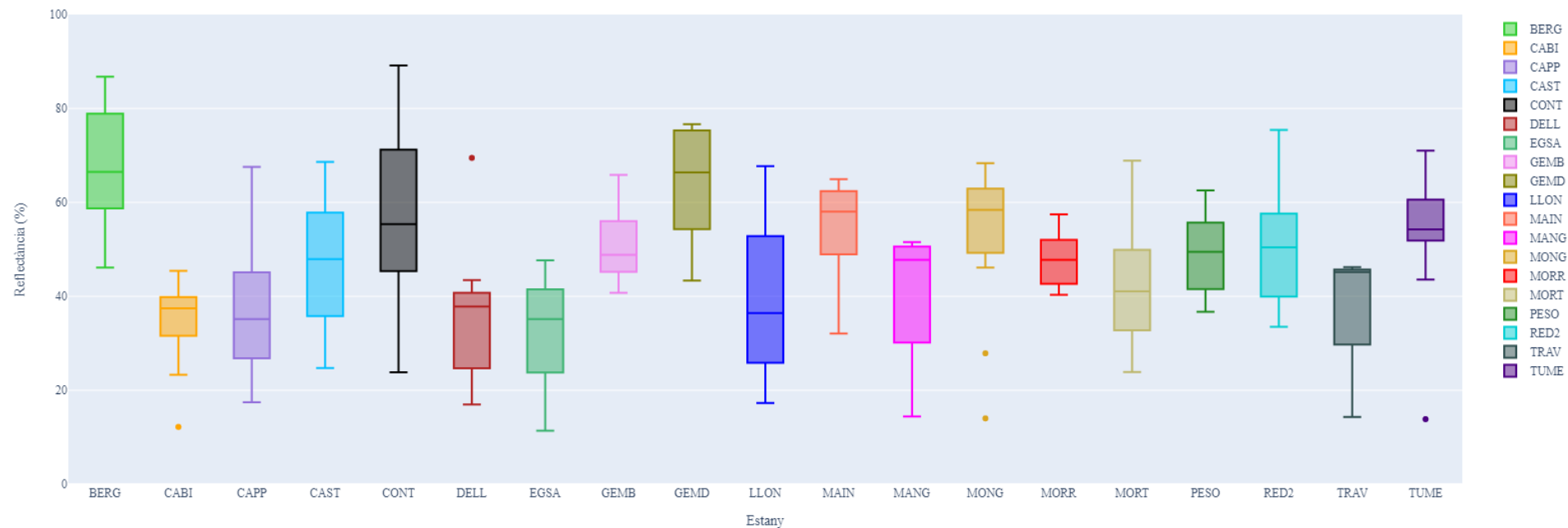


DATES DE CONGELACIÓ COMPLETA DELS ESTANYS DEL PARC NACIONAL D'AIGÜESTORTES A PARTIR DE LA DETECCIÓ AUTOMÀTICA EMPRANT DADES DE REFLECTÀNCIA MODIS B1 CALIBRADES AMB QA_PIXEL/Fmask																						
Codi_estany	2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09	2009-10	2010-11	2011-12	2012-13	2013-14	2014-15	2015-16	2016-17	2017-18	2018-19	2019-20	2020-21	2021-22
BERG	2000-11-09	2001-11-18	2002-11-17	2003-11-03	2004-11-30	2005-11-23	2006-12-14	2007-11-25	2008-11-04	2009-11-14	2010-11-18	2011-11-19	2012-12-06	2013-11-05	2014-12-03	2015-11-21	2016-11-06	2017-12-03	2018-11-01	2019-11-09	2020-10-16	2021-11-25
CABI	2001-01-10	2001-11-12	2002-12-08	2003-12-25	2004-11-15	2005-11-19	2006-01-26	2007-01-23	2008-11-20	2009-01-10	2010-11-24	2011-12-22	2012-11-30	2013-11-25	2014-12-21	2015-11-27	2016-01-18	2017-01-09	2018-01-19	2019-11-15	2020-12-31	2021-12-12
CAPP	2000-10-15	2001-11-10	2002-11-07	2003-10-23	2004-10-28	2005-11-17	2006-11-18	2007-11-25	2008-11-04	2009-11-30	2010-11-01	2011-10-26	2012-11-12	2013-11-22	2014-11-07	2015-11-27	2016-11-06	2017-12-19	2018-11-01	2019-10-24	2020-12-05	2021-11-25
CAST	2000-11-09	2001-11-10	2002-11-16	2003-11-02	2004-10-30	2005-11-13	2006-12-09	2007-11-25	2008-11-04	2009-10-20	2010-11-01	2011-11-08	2012-11-30	2013-11-22	2014-11-07	2015-11-21	2016-11-06	2017-11-06	2018-10-31	2019-11-02	2020-12-05	2021-11-25
CONT	2000-10-18	2001-11-18	2002-11-18	2003-10-25	2004-10-30	2005-11-18	2006-11-27	2007-11-25	2008-11-04	2009-10-22	2010-11-01	2011-10-26	2012-12-01	2013-11-25	2014-11-07	2015-11-21	2016-11-06	2017-12-03	2018-10-31	2019-11-08	2020-12-05	2021-11-25
DELL	2000-11-03	2001-11-12	2002-11-16	2003-10-24	2004-10-30	2005-11-13	2006-01-26	2007-11-20	2008-11-04	2009-11-14	2010-11-01	2011-11-08	2012-11-30	2013-11-22	2014-11-07	2015-11-21	2016-11-24	2017-11-06	2018-10-31	2019-11-03	2020-12-05	2021-11-25
EGSA	2001-01-10	2001-12-25	2002-11-13	2003-12-02	2004-12-10	2005-11-19	2006-01-26	2007-12-01	2008-11-28	2009-12-04	2010-11-12	2011-11-08	2012-12-23	2013-11-27	2014-12-12	2015-11-21	2016-11-16	2017-11-27	2018-10-31	2019-11-11	2020-01-08	2021-11-30
GEMB	2000-11-09	2001-11-18	2002-11-25	2003-11-03	2004-10-30	2005-11-18	2006-01-23	2007-12-11	2008-11-08	2009-12-02	2010-11-01	2011-11-08	2012-11-30	2013-11-22	2014-11-10	2015-11-21	2016-11-24	2017-12-03	2018-11-01	2019-11-03	2020-12-05	2021-11-30
GEMD	2000-11-09	2001-11-18	2002-11-18	2003-11-03	2004-11-12	2005-11-18	2006-12-08	2007-12-04	2008-11-04	2009-12-02	2010-11-01	2011-12-23	2012-11-30	2013-11-22	2014-11-07	2015-11-21	2016-11-14	2017-12-03	2018-11-01	2019-11-03	2020-12-10	2021-11-30
GERB	2000-12-18	2001-12-25	2002-11-22	2003-12-09	2004-12-13	2005-11-28	2006-01-26	2007-12-09	2008-12-06	2009-12-20	2010-11-30	2011-12-24	2012-11-26	2013-11-27	2014-12-29	2015-01-11	2016-01-18	2017-12-19	2018-10-31	2019-11-09	2020-01-03	2021-11-30
LLON	2000-11-21	2001-11-10	2002-11-09	2003-11-03	2004-11-12	2005-11-28	2006-01-26	2007-12-04	2008-11-04	2009-11-14	2010-10-26	2011-12-22	2012-11-26	2013-11-25	2014-11-07	2015-11-21	2016-11-24	2017-12-03	2018-10-31	2019-11-03	2020-12-05	2021-11-25
MAIN	2000-10-31	2001-11-10	2002-11-07	2003-10-17	2004-10-26	2005-11-16	2006-12-09	2007-11-25	2008-11-04	2009-11-09	2010-11-01	2011-11-08	2012-12-01	2013-11-22	2014-11-07	2015-11-27	2016-11-06	2017-11-07	2018-11-01	2019-11-03	2020-11-29	2021-11-25
MANG	2000-11-16	2001-11-18	2002-11-18	2003-11-13	2004-11-15	2005-11-18	2006-12-09	2007-11-25	2008-11-04	2009-12-05	2010-10-26	2011-12-22	2012-11-30	2013-11-27	2014-11-07	2015-11-27	2016-11-24	2017-11-28	2018-11-24	2019-11-09	2020-12-05	2021-11-25
MONG	2000-11-21	2001-12-16	2002-11-22	2003-11-18	2004-10-20	2005-11-18	2006-12-09	2007-11-25	2008-11-04	2009-12-11	2010-11-18	2011-01-05	2012-12-23	2013-11-25	2014-12-11	2015-12-30	2016-11-24	2017-12-04	2018-12-20	2019-11-09	2020-12-05	2021-11-25
MORR	2000-11-09	2001-11-18	2002-11-16	2003-11-02	2004-10-20	2005-11-26	2006-01-23	2007-11-25	2008-11-04	2009-12-01	2010-11-16	2011-11-08	2012-11-30	2013-11-22	2014-12-01	2015-01-02	2016-11-16	2017-12-12	2018-11-01	2019-11-09	2020-12-12	2021-12-03
MORT	2000-11-09	2001-11-12	2002-11-16	2003-10-17	2004-11-06	2005-11-18	2006-01-26	2007-11-25	2008-11-04	2009-11-30	2010-11-16	2011-12-23	2012-11-30	2013-11-22	2014-11-13	2015-11-21	2016-11-16	2017-11-06	2018-10-31	2019-11-02	2020-12-05	2021-11-25
NECA	2000-12-18	2001-11-10	2002-11-16	2003-12-07	2004-12-15	2005-11-28	2006-01-27	2007-12-13	2008-10-31	2009-11-30	2010-11-21	2011-12-22	2012-11-30	2013-11-25	2014-11-23	2015-01-02	2016-11-24	2017-12-05	2018-10-31	2019-11-09	2020-12-12	2021-11-30
PESO	2000-11-09	2001-11-20	2002-11-17	2003-10-20	2004-12-04	2005-11-15	2006-12-09	2007-11-25	2008-11-04	2009-12-01	2010-11-16	2011-11-08	2012-12-06	2013-11-22	2014-11-07	2015-01-02	2016-11-24	2017-12-12	2018-11-01	2019-11-09	2020-12-05	2021-11-29
RED2	2000-11-16	2001-11-12	2002-11-17	2003-11-03	2004-11-12	2005-11-18	2006-11-22	2007-12-04	2008-11-04	2009-11-14	2010-10-26	2011-11-08	2012-11-26	2013-11-05	2014-11-07	2015-11-21	2016-11-24	2017-11-07	2018-10-31	2019-11-02	2020-12-05	2021-11-25
REDO	2001-01-03	2001-12-17	2002-12-13	2003-01-06	2004-12-24	2005-12-19	2006-01-26	2007-12-20	2008-12-01	2009-12-27	2010-12-19	2011-01-22	2012-12-23	2013-12-16	2014-12-30	2015-01-11	2016-01-19	2017-12-23	2018-01-26	2019-01-11	2020-12-31	2021-12-12
TRAV	2000-11-21	2001-11-18	2002-11-25	2003-11-30	2004-11-15	2005-11-18	2006-01-26	2007-12-27	2008-11-04	2009-12-20	2010-11-18	2011-01-05	2012-11-30	2013-11-25	2014-11-13	2015-01-13	2016-11-28	2017-12-03	2018-11-24	2019-11-03	2020-12-05	2021-11-25
TUME	2001-01-26	2001-12-24	2002-11-26	2003-01-30	2004-01-23	2005-01-23	2006-01-26	2007-01-23	2008-12-01	2009-12-20	2010-12-10	2011-01-23	2012-01-25	2013-01-26	2014-01-24	2015-01-02	2016-01-24	2017-01-23	2018-01-26	2019-12-14	2020-01-26	2021-01-23

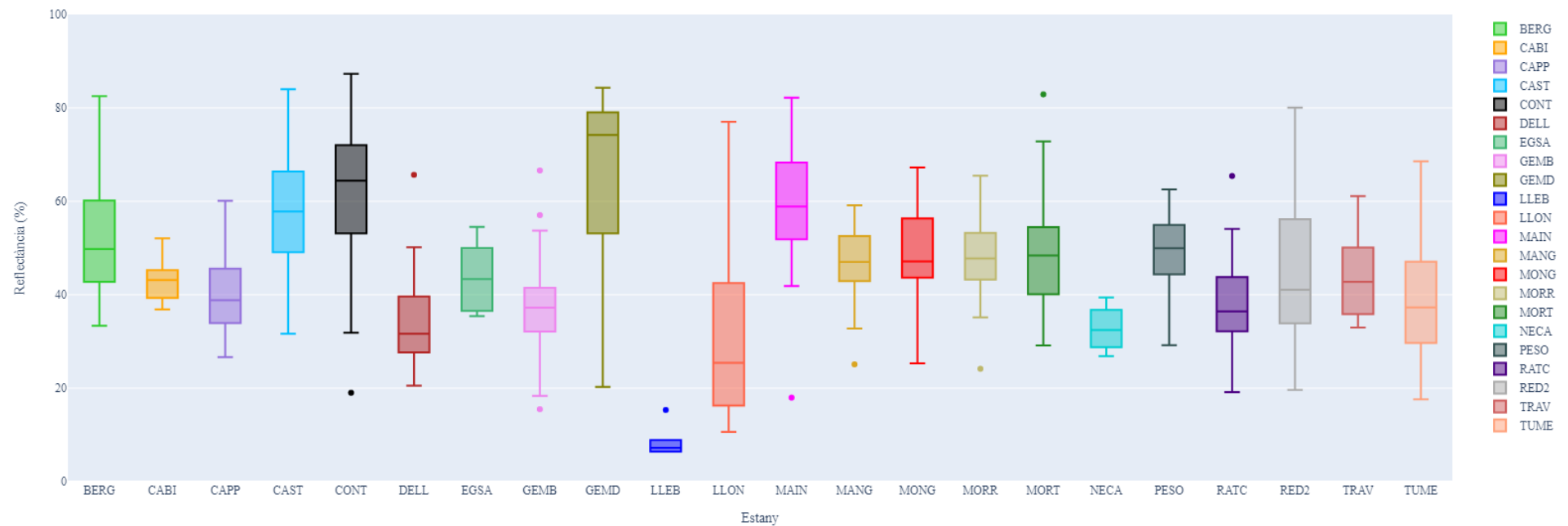
DATES DE CONGELACIÓ COMPLETA DELS ESTANYS DEL PARC NACIONAL D'AIGÜESTORTES A PARTIR DE LA DETECCIÓ AUTOMÀTICA EMPRANT DADES DE REFLECTÀNCIA MODIS B2 CALIBRADES AMB QA_PIXEL/Fmask																						
Codi_es tany	2000- 01	2001- 02	2002- 03	2003- 04	2004- 05	2005- 06	2006- 07	2007- 08	2008- 09	2009- 10	2010- 11	2011- 12	2012- 13	2013- 14	2014- 15	2015- 16	2016- 17	2017- 18	2018- 19	2019- 20	2020- 21	2021- 22
BERG	2000- 11-09	2001- 11-12	2002- 11-17	2003- 11-04	2004- 11-27	2005- 11-23	2006- 12-14	2007- 11-25	2008- 11-04	2009- 12-04	2010- 11-18	2011- 11-19	2012- 12-06	2013- 11-05	2014- 11-18	2015- 11-21	2016- 11-06	2017- 12-03	2018- 11-01	2019- 11-09	2020- 10-16	2021- 11-25
CABI	2001- 01-10	2001- 12-24	2002- 12-08	2003- 12-25	2005- 01-21	2005- 11-19	2007- 01-26	2008- 01-23	2008- 12-24	2010- 01-10	2010- 11-01	2011- 12-22	2012- 11-30	2013- 11-25	2014- 12-24	2015- 11-29	2017- 01-24	2018- 01-19	2019- 01-19	2019- 11-15	2020- 12-31	2021- 12-12
CAPP	2000- 10-15	2001- 10-19	2002- 11-07	2003- 10-15	2004- 10-17	2005- 11-17	2006- 11-18	2007- 11-25	2008- 11-04	2009- 11-28	2010- 10-26	2011- 10-23	2012- 11-12	2013- 11-22	2014- 11-07	2015- 11-04	2016- 10-15	2017- 12-03	2018- 11-01	2019- 10-24	2020- 11-29	2021- 11-25
CAST	2000- 11-09	2001- 11-10	2002- 11-16	2003- 11-02	2004- 10-20	2005- 11-13	2006- 12-09	2007- 11-25	2008- 11-04	2009- 10-20	2010- 10-26	2011- 11-08	2012- 11-12	2013- 11-22	2014- 11-07	2015- 11-21	2016- 11-06	2017- 11-06	2018- 10-31	2019- 11-02	2020- 12-05	2021- 11-25
CONT	2000- 10-18	2001- 11-18	2002- 11-18	2003- 10-25	2004- 10-30	2005- 11-18	2006- 11-20	2007- 11-25	2008- 11-04	2009- 10-22	2010- 11-01	2011- 10-26	2012- 12-01	2013- 11-25	2014- 11-07	2015- 11-21	2016- 11-06	2017- 11-14	2018- 10-31	2019- 10-25	2020- 12-05	2021- 11-25
DELL	2000- 11-03	2001- 11-12	2002- 11-16	2003- 10-24	2004- 10-30	2005- 11-11	2006- 12-09	2007- 11-20	2008- 11-04	2009- 11-14	2010- 10-26	2011- 11-08	2012- 11-30	2013- 11-22	2014- 11-07	2015- 11-21	2016- 11-06	2017- 11-06	2018- 10-31	2019- 11-03	2020- 10-16	2021- 11-25
EGSA	2001- 01-10	2001- 12-25	2002- 11-13	2003- 12-02	2004- 12-10	2005- 11-19	2007- 01-26	2007- 12-01	2008- 11-28	2009- 12-04	2010- 11-12	2012- 01-21	2012- 12-23	2013- 11-27	2014- 12-21	2015- 11-21	2016- 11-22	2017- 11-27	2018- 10-31	2019- 12-01	2021- 01-04	2021- 11-30
GEMB	2000- 11-09	2001- 11-18	2002- 11-25	2003- 11-03	2004- 10-30	2005- 11-18	2006- 12-09	2007- 11-20	2008- 11-08	2009- 10-20	2010- 11-01	2011- 11-08	2012- 11-30	2013- 11-11	2014- 11-07	2015- 11-21	2016- 11-07	2017- 11-07	2018- 11-01	2019- 11-03	2020- 12-05	2021- 11-30
GEMD	2000- 11-09	2001- 11-18	2002- 11-18	2003- 11-03	2004- 10-29	2005- 11-18	2006- 12-08	2007- 11-20	2008- 11-04	2009- 12-02	2010- 10-26	2011- 11-08	2012- 11-30	2013- 11-22	2014- 11-07	2015- 11-21	2016- 11-07	2017- 12-03	2018- 11-01	2019- 11-03	2020- 12-05	2021- 11-30
GERB	2000- 12-18	2001- 12-25	2002- 11-22	2003- 12-09	2004- 12-13	2005- 11-28	2007- 01-26	2007- 12-09	2008- 12-06	2009- 12-20	2010- 11-30	2011- 12-24	2012- 11-26	2013- 11-27	2014- 12-29	2016- 01-11	2017- 01-18	2017- 12-19	2018- 10-31	2019- 11-09	2020- 12-26	2021- 11-30
LLON	2000- 11-21	2001- 11-10	2002- 11-09	2003- 11-03	2004- 10-20	2005- 10-15	2006- 10-18	2007- 10-31	2008- 11-04	2009- 10-22	2010- 10-26	2011- 12-05	2012- 11-26	2013- 10-28	2014- 11-07	2015- 11-14	2016- 11-24	2017- 11-27	2018- 10-31	2019- 10-29	2020- 12-05	2021- 11-25
MAIN	2000- 10-31	2001- 11-10	2002- 11-04	2003- 10-17	2004- 10-26	2005- 11-16	2006- 11-18	2007- 11-25	2008- 11-04	2009- 11-09	2010- 11-01	2011- 11-08	2012- 12-01	2013- 11-22	2014- 11-07	2015- 11-27	2016- 11-06	2017- 11-07	2018- 11-01	2019- 10-24	2020- 11-29	2021- 11-25
MANG	2000- 11-10	2001- 11-18	2002- 11-18	2003- 11-04	2004- 11-15	2005- 11-18	2006- 12-09	2007- 11-16	2008- 11-04	2009- 12-05	2010- 10-26	2011- 11-08	2012- 11-30	2013- 11-27	2014- 11-07	2015- 11-27	2016- 11-15	2017- 11-21	2018- 11-24	2019- 11-09	2020- 12-05	2021- 11-25
MONG	2000- 11-08	2001- 12-16	2002- 11-16	2003- 11-13	2004- 10-20	2005- 11-18	2006- 12-09	2007- 11-25	2008- 11-04	2009- 12-05	2010- 11-18	2011- 12-22	2012- 12-23	2013- 11-25	2014- 11-18	2015- 11-30	2016- 11-24	2017- 12-04	2018- 12-20	2019- 11-09	2020- 12-05	2021- 11-25
MORR	2000- 11-09	2001- 11-18	2002- 11-09	2003- 10-25	2004- 10-20	2005- 11-18	2006- 12-16	2007- 11-20	2008- 11-04	2009- 11-09	2010- 10-26	2011- 11-08	2012- 11-30	2013- 11-22	2014- 11-12	2016- 01-02	2016- 11-16	2017- 11-06	2018- 11-01	2019- 11-09	2020- 12-05	2021- 12-03
MORT	2000- 10-31	2001- 11-12	2002- 11-16	2003- 10-17	2004- 10-17	2005- 11-11	2006- 12-09	2007- 11-25	2008- 11-04	2009- 11-30	2010- 11-16	2011- 12-23	2012- 11-30	2013- 11-11	2014- 11-10	2015- 11-21	2016- 11-16	2017- 11-06	2018- 10-31	2019- 11-02	2020- 12-05	2021- 11-25
NECA	2000- 12-18	2001- 11-10	2002- 11-16	2003- 12-07	2004- 12-15	2005- 11-28	2007- 01-26	2007- 12-12	2008- 10-31	2009- 11-30	2010- 11-21	2011- 12-22	2012- 11-30	2013- 11-25	2014- 12-11	2016- 01-02	2016- 11-24	2017- 12-04	2018- 10-31	2019- 11-09	2020- 12-12	2021- 11-30
PESO	2000- 11-09	2001- 11-20	2002- 11-17	2003- 10-20	2004- 11-30	2005- 11-15	2006- 12-09	2007- 11-25	2008- 11-04	2009- 11-14	2010- 11-01	2011- 11-08	2012- 11-30	2013- 11-22	2014- 11-07	2016- 01-02	2016- 11-06	2017- 12-12	2018- 11-01	2019- 11-09	2020- 12-05	2021- 11-29
RED2	2000- 11-21	2001- 11-12	2002- 11-17	2003- 11-04	2004- 11-12	2005- 11-18	2006- 11-22	2007- 12-04	2008- 11-04	2009- 11-14	2010- 10-26	2011- 12-23	2012- 11-26	2013- 11-05	2014- 11-07	2015- 11-21	2016- 11-24	2017- 11-07	2018- 11-24	2019- 11-02	2020- 12-05	2021- 11-25
REDO	2001- 01-03	2001- 12-17	2002- 12-13	2004- 01-06	2004- 12-24	2005- 12-27	2007- 01-26	2007- 12-17	2008- 12-01	2009- 12-27	2010- 12-19	2012- 01-22	2012- 12-23	2013- 12-16	2015- 01-12	2016- 01-20	2017- 01-19	2017- 12-23	2019- 01-26	2020- 01-11	2020- 12-31	2021- 12-12
TRAV	2000- 11-21	2001- 11-18	2002- 11-25	2003- 11-30	2004- 11-15	2005- 11-18	2007- 01-26	2007- 12-09	2008- 11-04	2009- 10-22	2010- 11-18	2011- 12-23	2012- 11-30	2013- 11-25	2014- 11-12	2016- 01-13	2016- 11-28	2017- 12-03	2018- 11-24	2019- 11-03	2020- 12-05	2021- 11-25
TUME	2001- 01-17	2001- 12-24	2002- 11-26	2004- 01-30	2004- 12-24	2006- 01-23	2007- 01-26	2008- 01-23	2008- 11-27	2009- 12-20	2010- 12-10	2012- 01-23	2013- 01-25	2014- 01-08	2014- 12-24	2016- 01-02	2017- 01-24	2018- 01-03	2019- 01-26	2019- 12-14	2021- 01-26	2022- 01-23

III. Diagrames de caixa del calibratge 2015-21

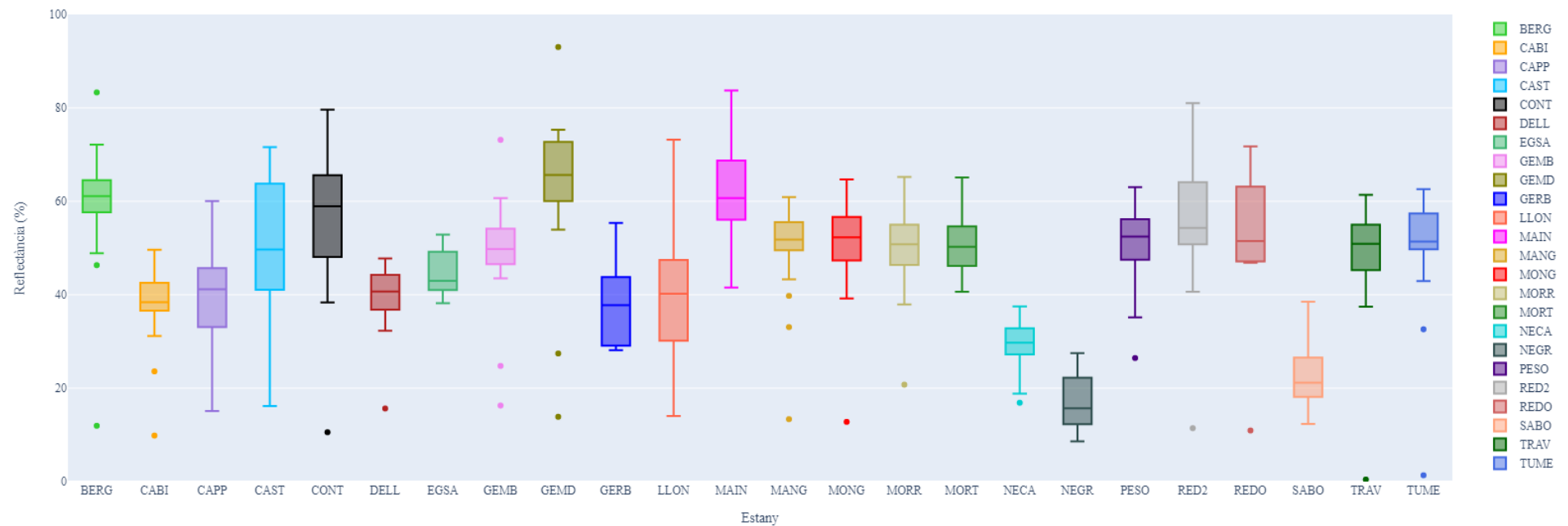
Distribució dels valors de reflectàncies mitjanes (MODIS b1) a partir de la congelació completa detectada per QA_PIXEL/Fmask 2015-16



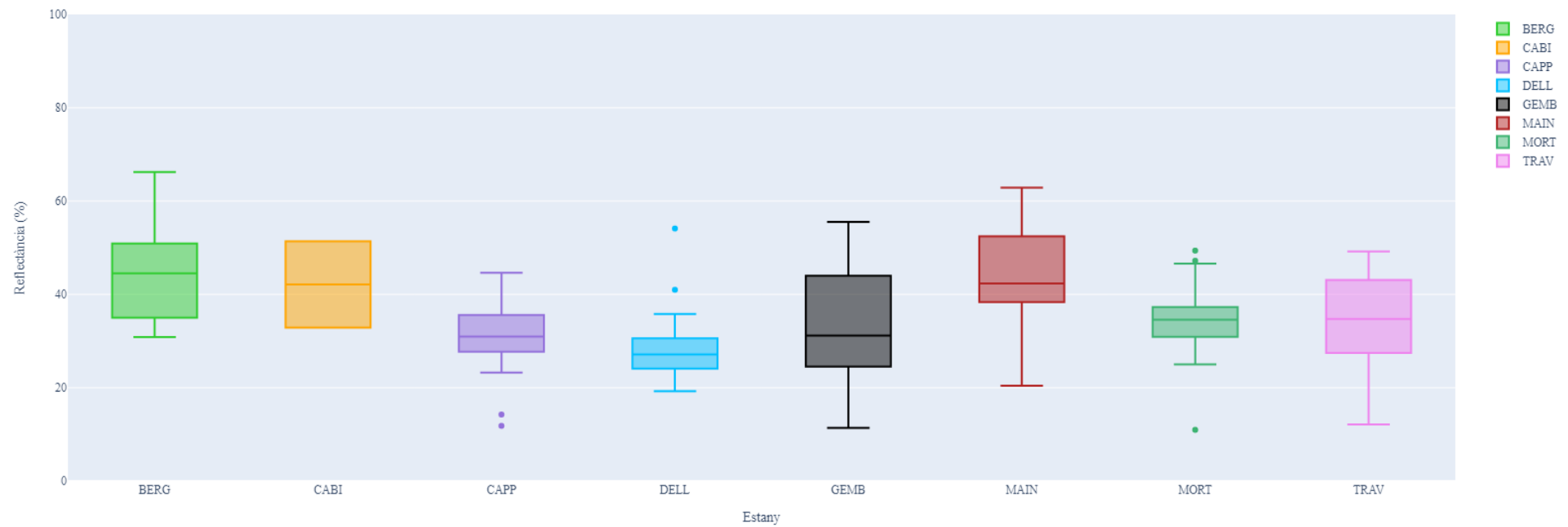
Distribució dels valors de reflectàncies mitjanes (MODIS b1) a partir de la congelació completa detectada per QA_PIXEL/Fmask 2016-17



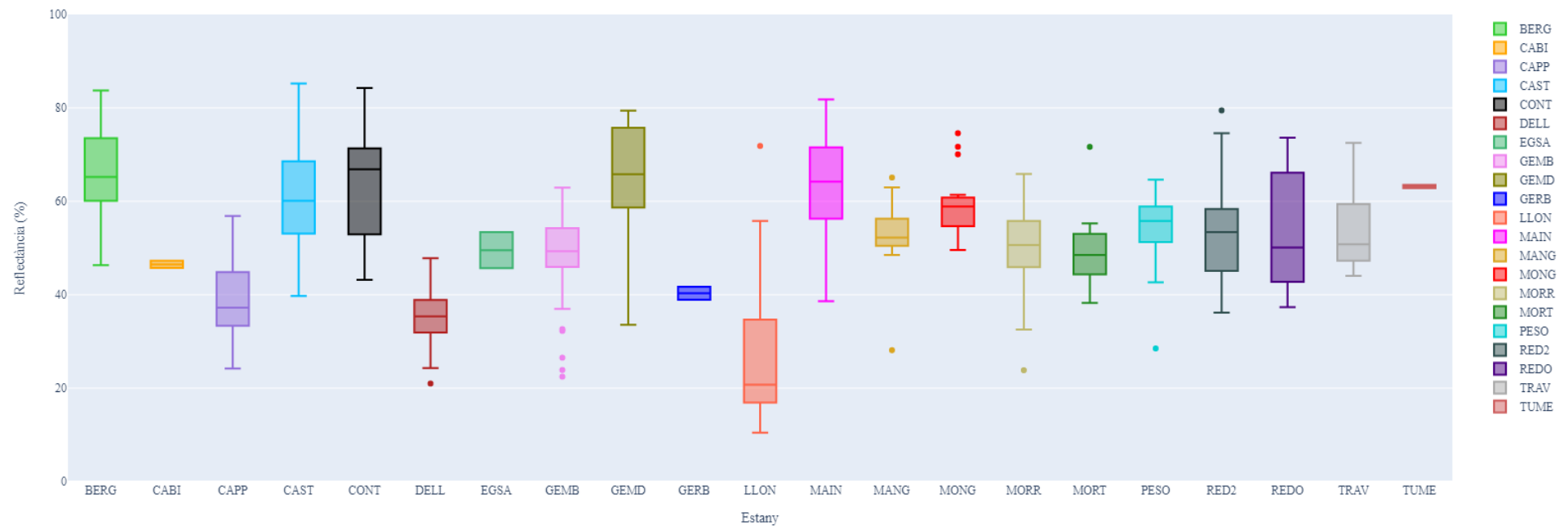
Distribució dels valors de reflectàncies mitjanes (MODIS b1) a partir de la congelació completa detectada per QA_PIXEL/Fmask 2017-18



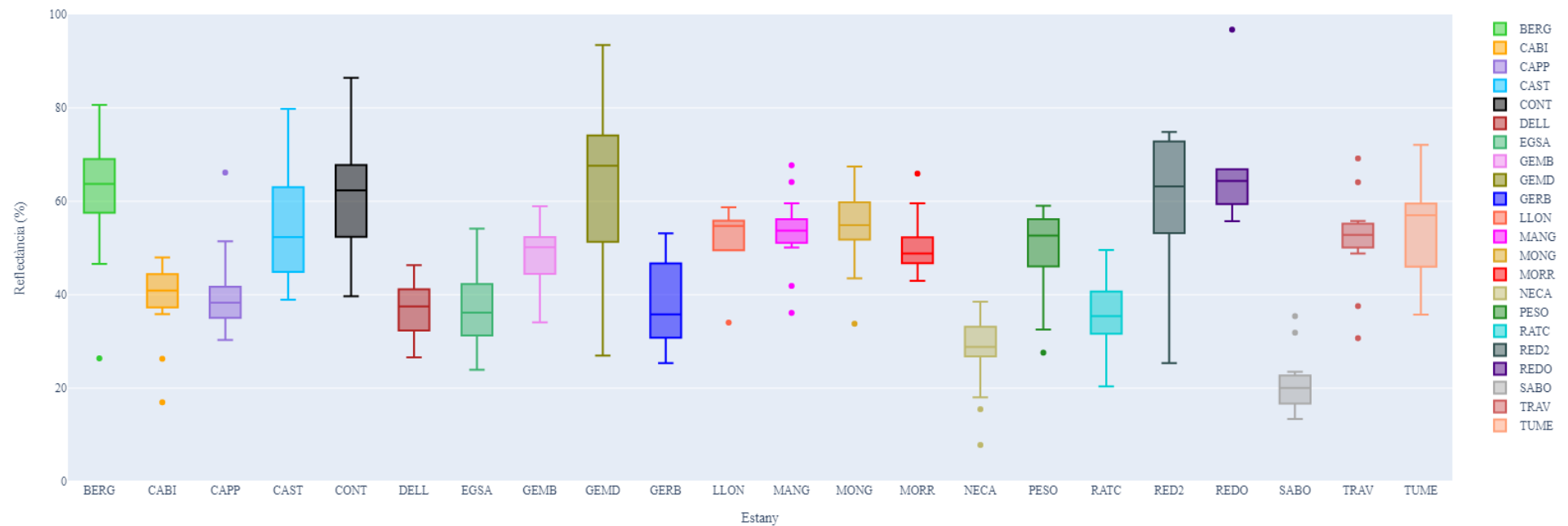
Distribució dels valors de reflectàncies mitjanes (MODIS b1) a partir de la congelació completa detectada per QA_PIXEL/Fmask 2018-19



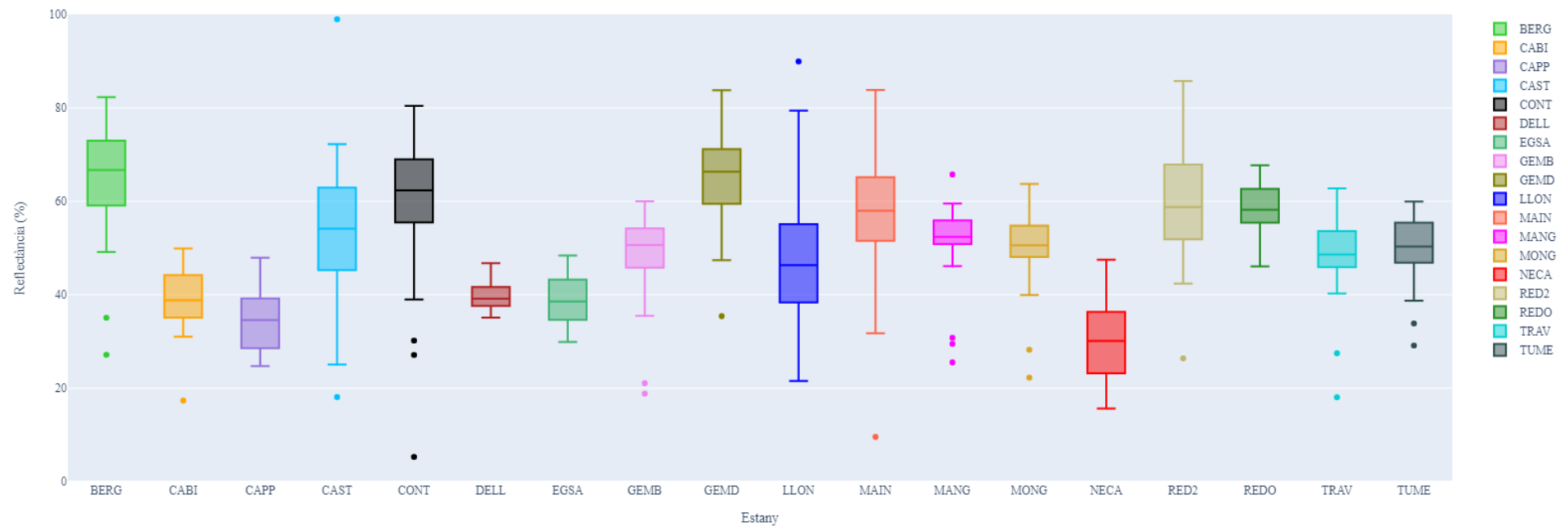
Distribució dels valors de reflectàncies mitjanes (MODIS b1) a partir de la congelació completa detectada per QA_PIXEL/Fmask 2019-20



Distribució dels valors de reflectàncies mitjanes (MODIS b1) a partir de la congelació completa detectada per QA_PIXEL/Fmask 2020-21



Distribució dels valors de reflectàncies mitjanes (MODIS b1) a partir de la congelació completa detectada per QA_PIXEL/Fmask 2021-22



IV. Gràfiques de reflectància 2021-22

A mode d'exemple, es presenten les gràfiques de tots els estanys d'una sola temporada i per les dues bandes.

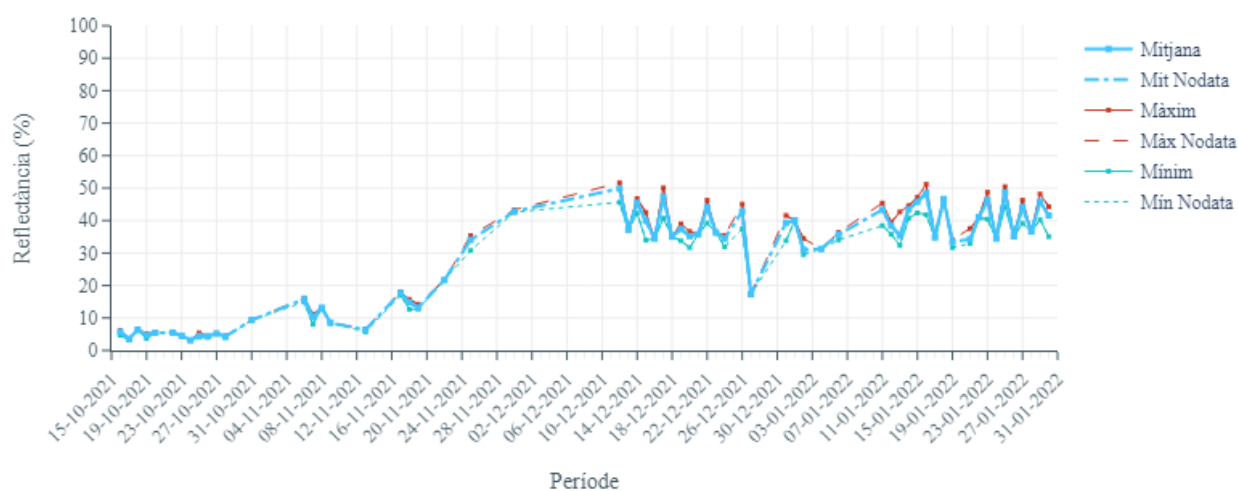
Estany de Bergús: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



Estany de Bergús: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



Lac de Cabidornats: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



Lac de Cabidornats: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



Estany del Cap de Port: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



Estany del Cap de Port: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



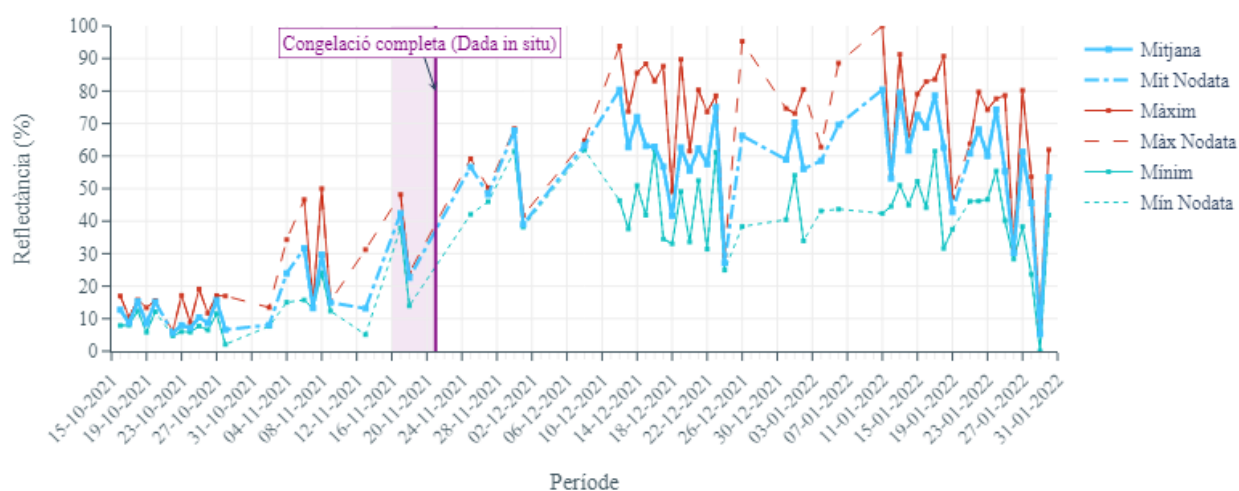
Estany de Castieso: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



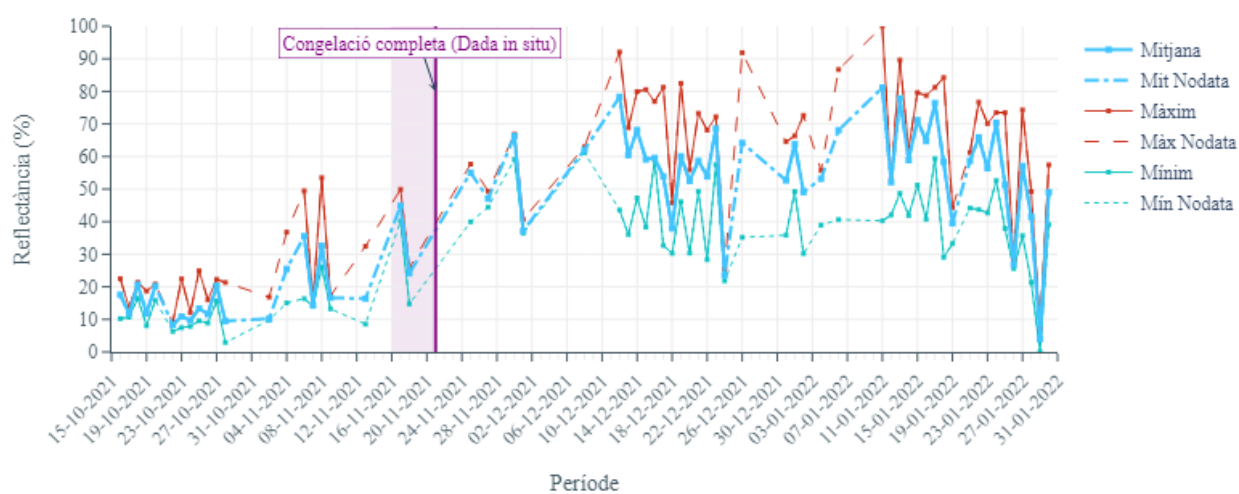
Estany de Castieso: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



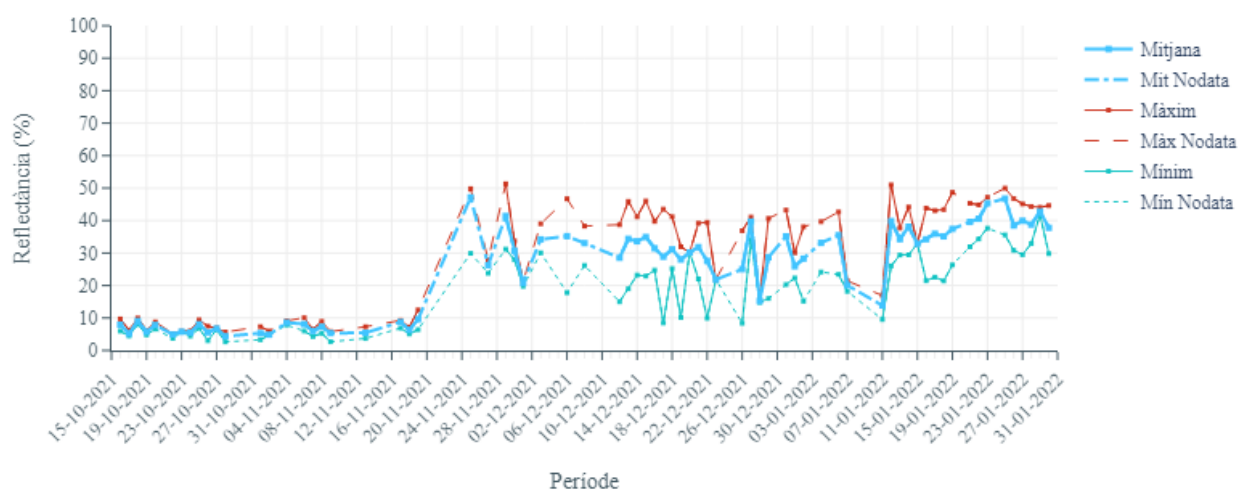
Estany de Contraix: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



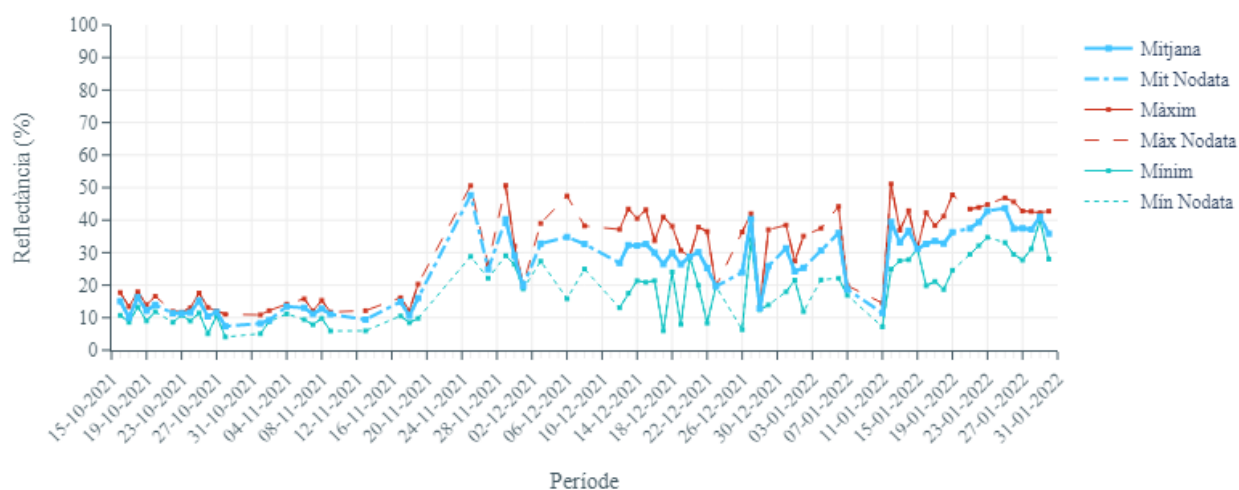
Estany de Contraix: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



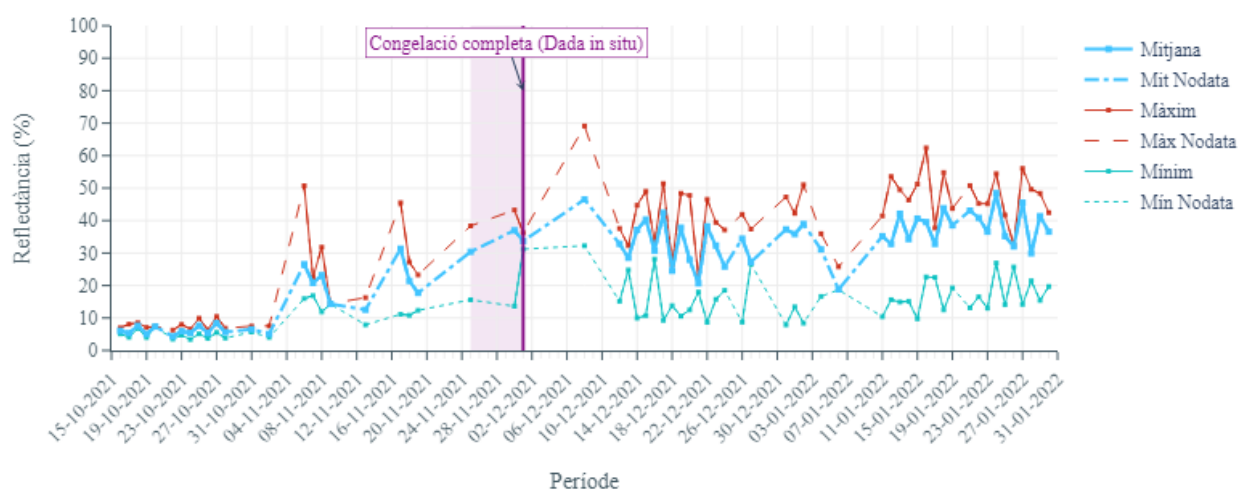
Estany de Dellui: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



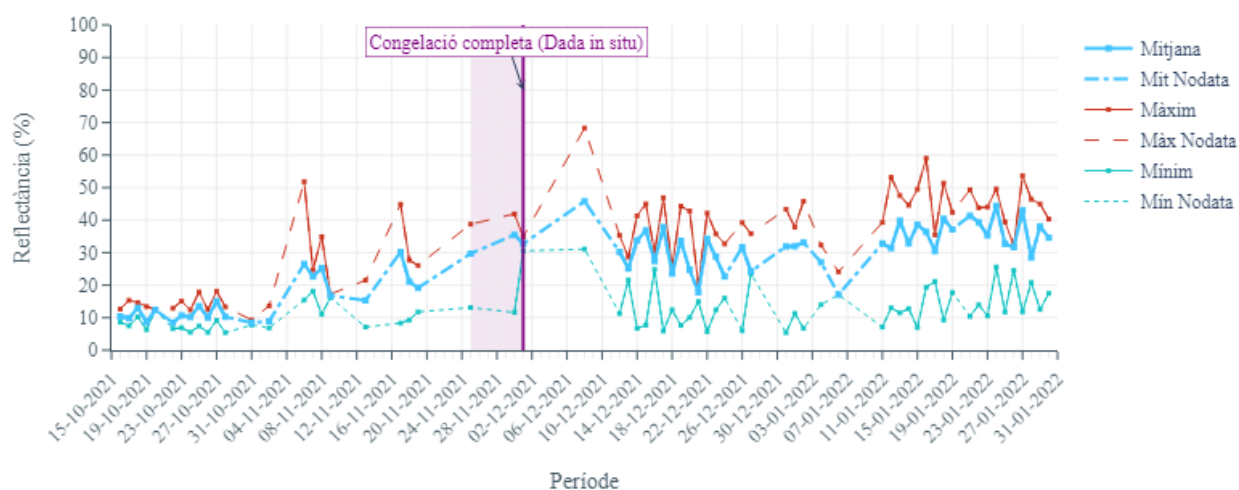
Estany de Dellui: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



Estany Gelat: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



Estany Gelat: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



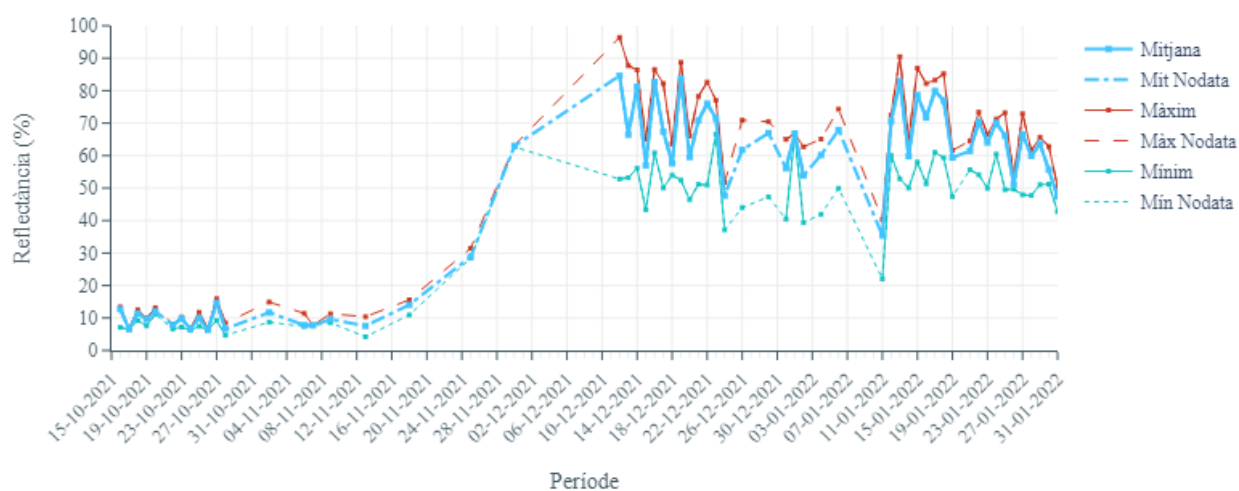
Estany de Gémena de Baix: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



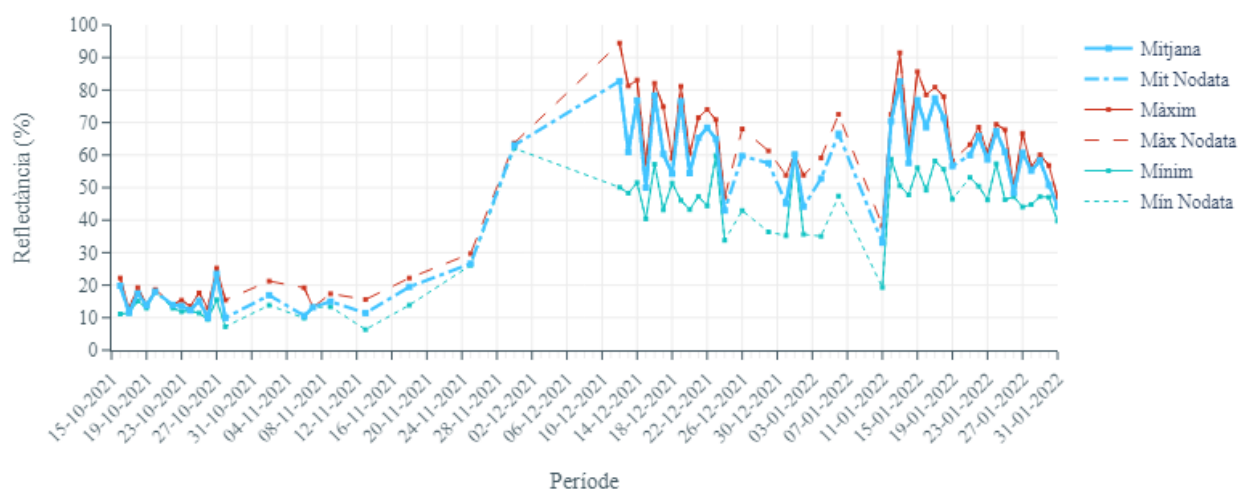
Estany de Gémena de Baix: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



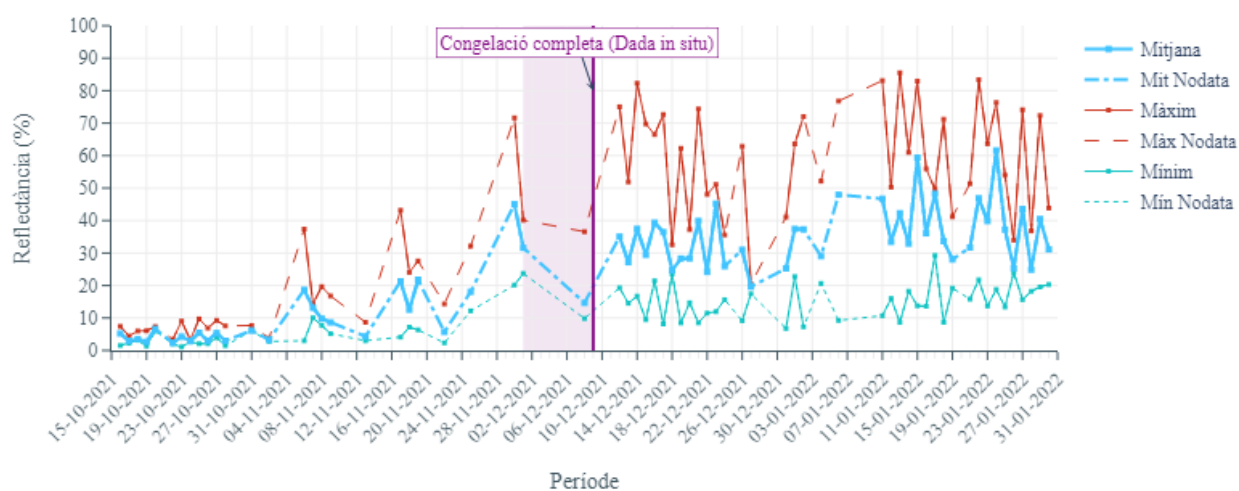
Estany de Gémena de Dalt: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



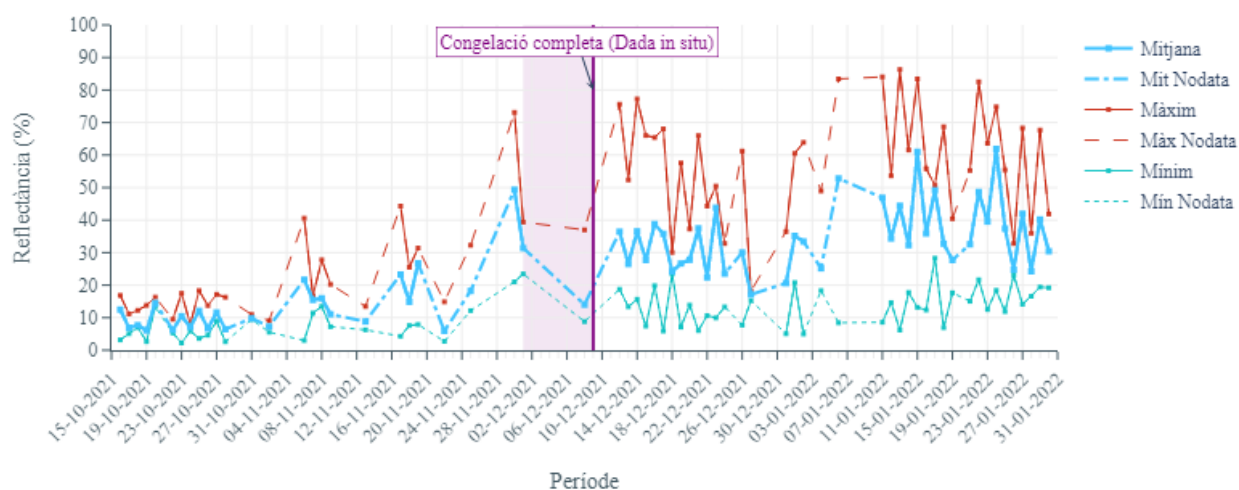
Estany de Gémena de Dalt: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



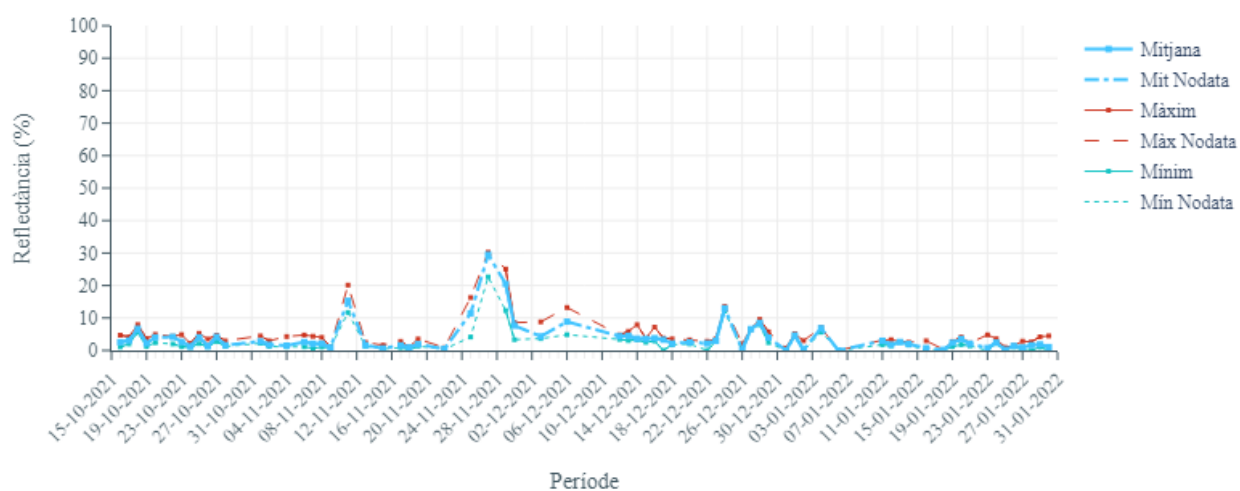
Estany de Gerber: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



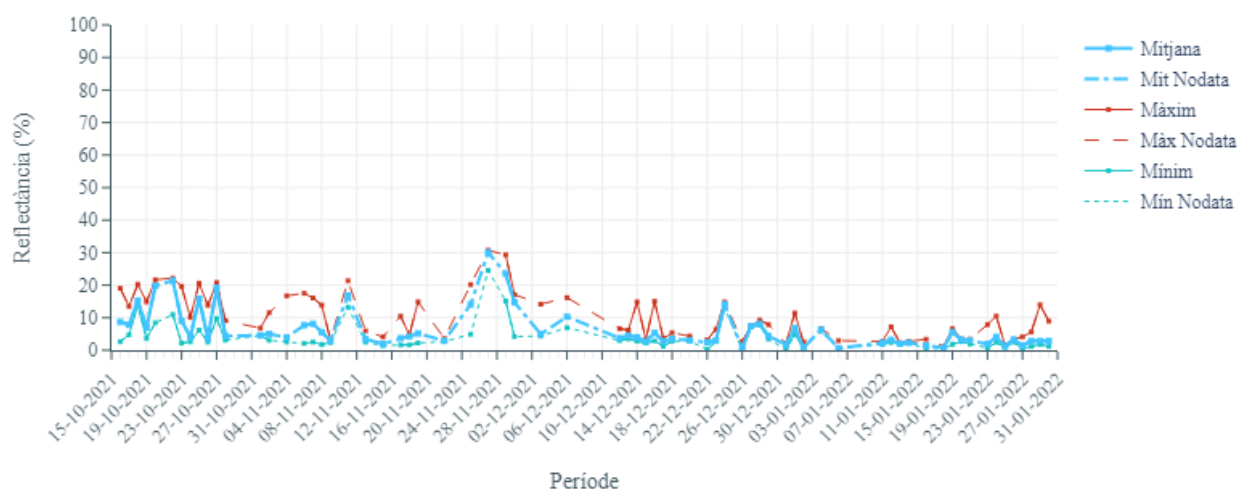
Estany de Gerber: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



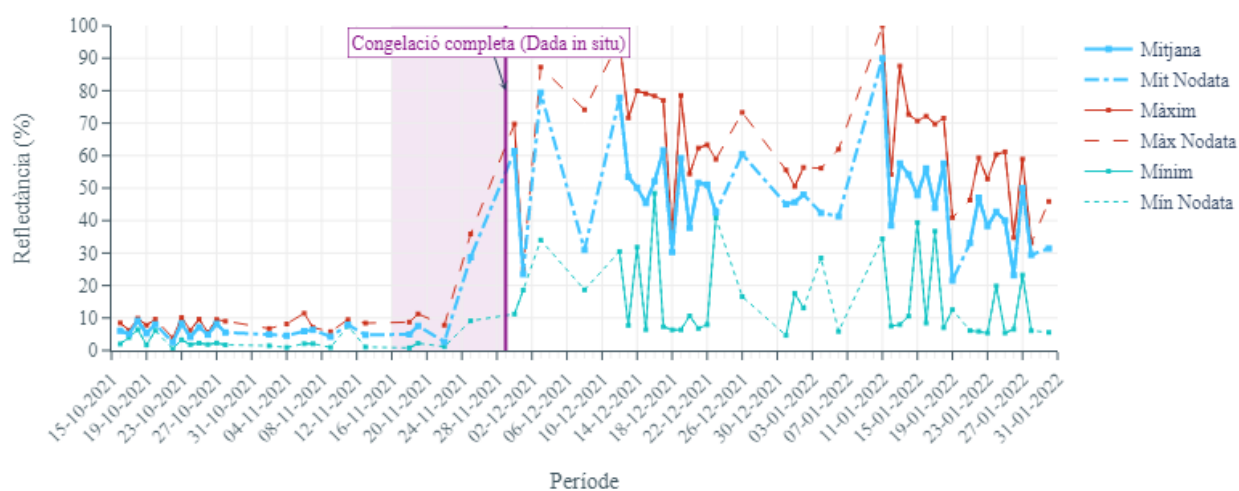
Estany de Llebre: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



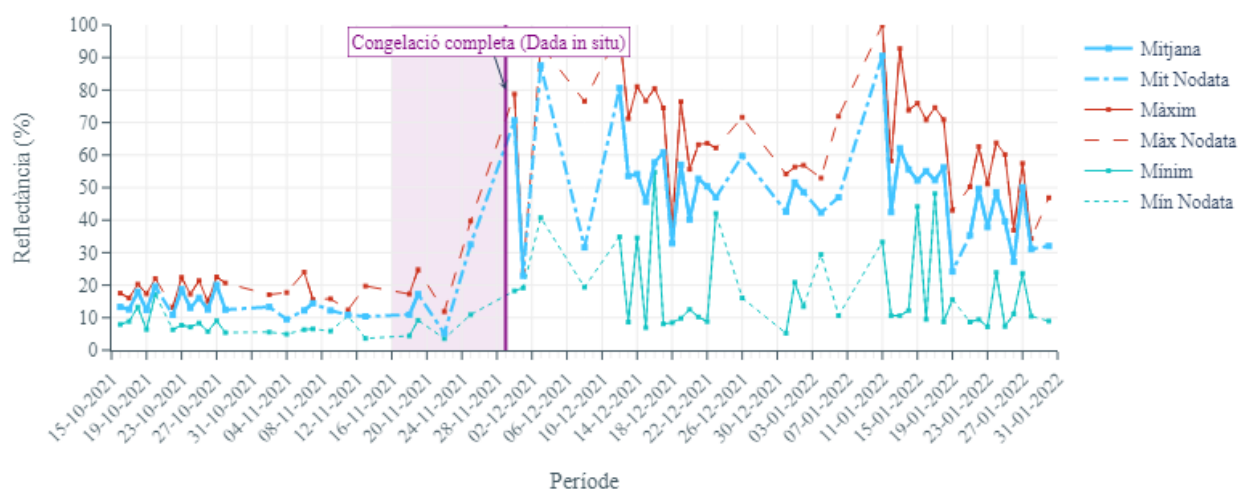
Estany de Llebre: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



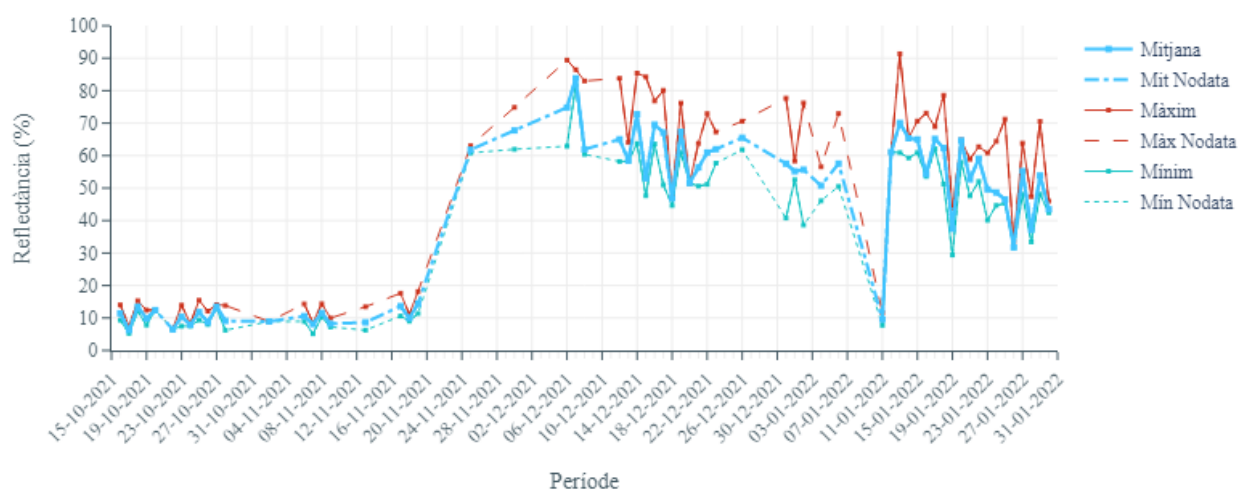
Estany Llong: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



Estany Llong: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



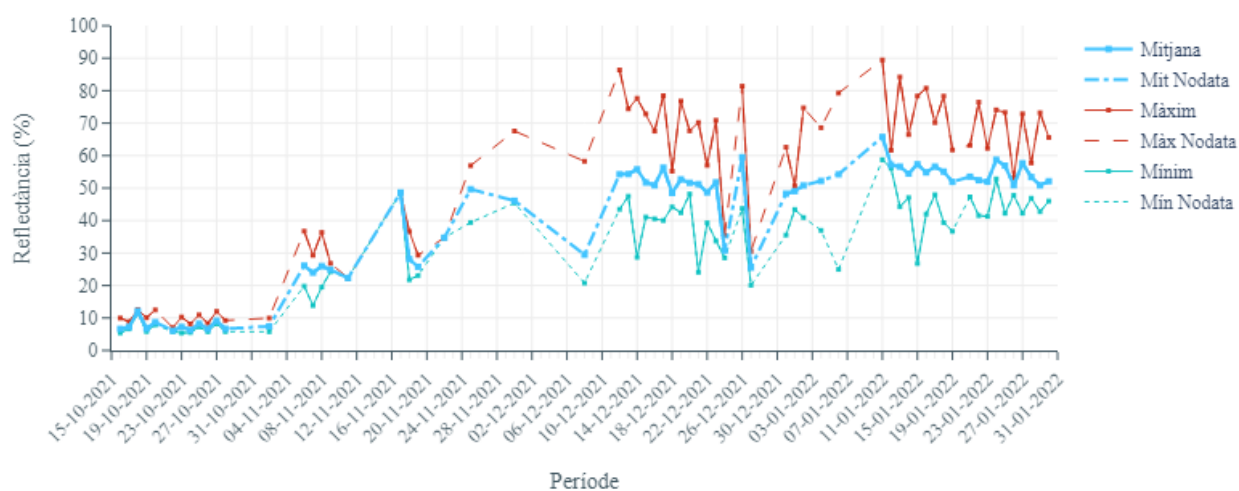
Estany Gran de Mainera: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



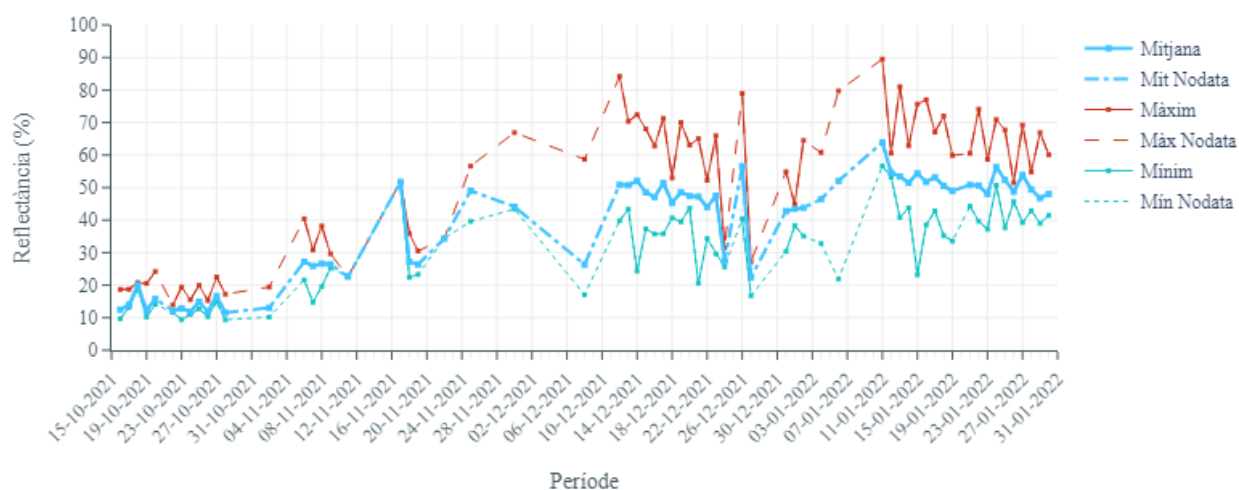
Estany Gran de Mainera: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



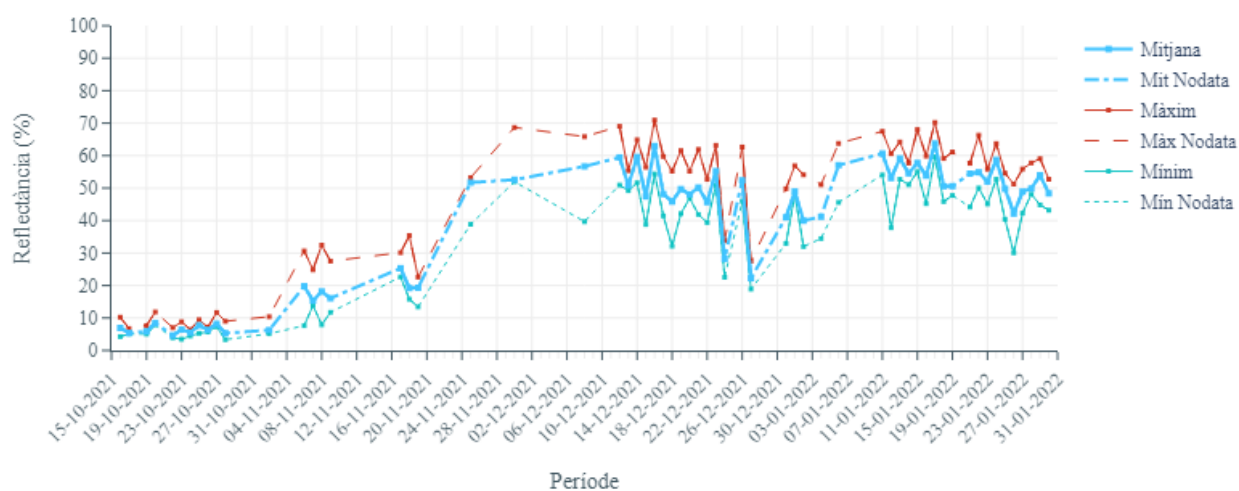
Estany de Mangades: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



Estany de Mangades: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



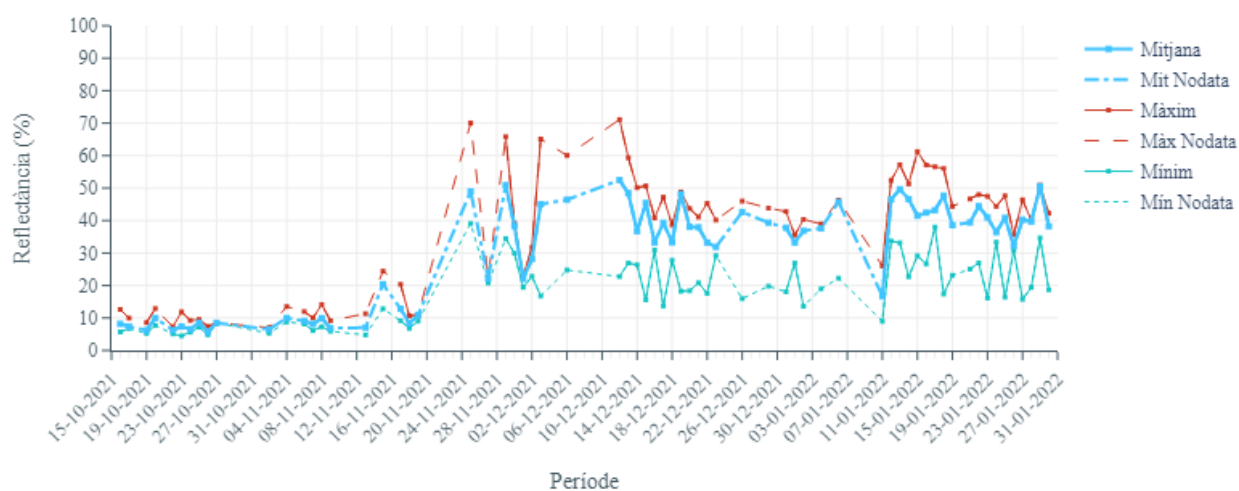
Estany de Monges: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



Estany de Monges: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



Estany Maior de Morrano: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



Estany Maior de Morrano: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



Estany Morto: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



Estany Morto: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



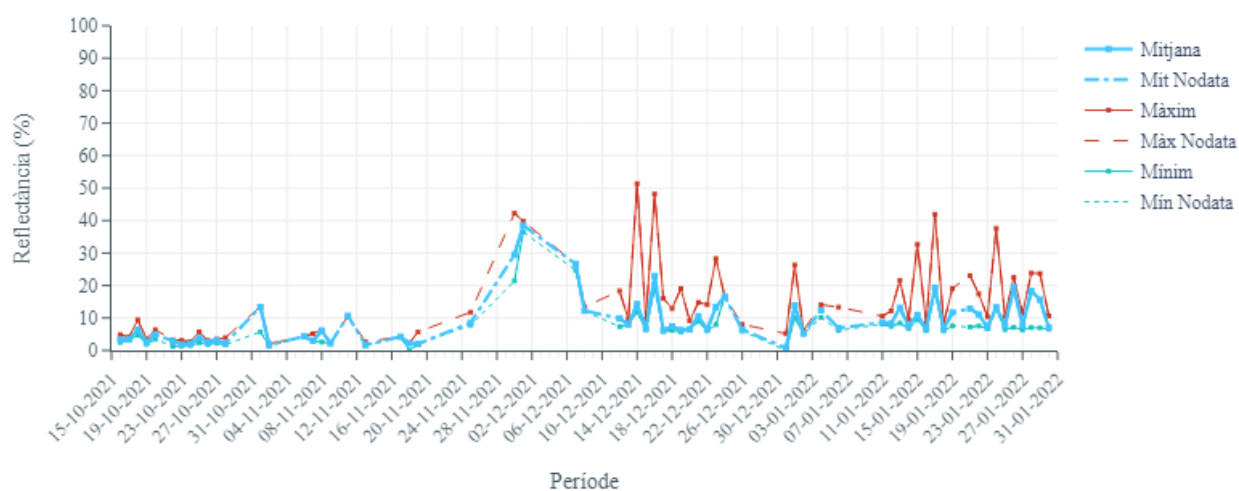
Estany Negre de Cabanes: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



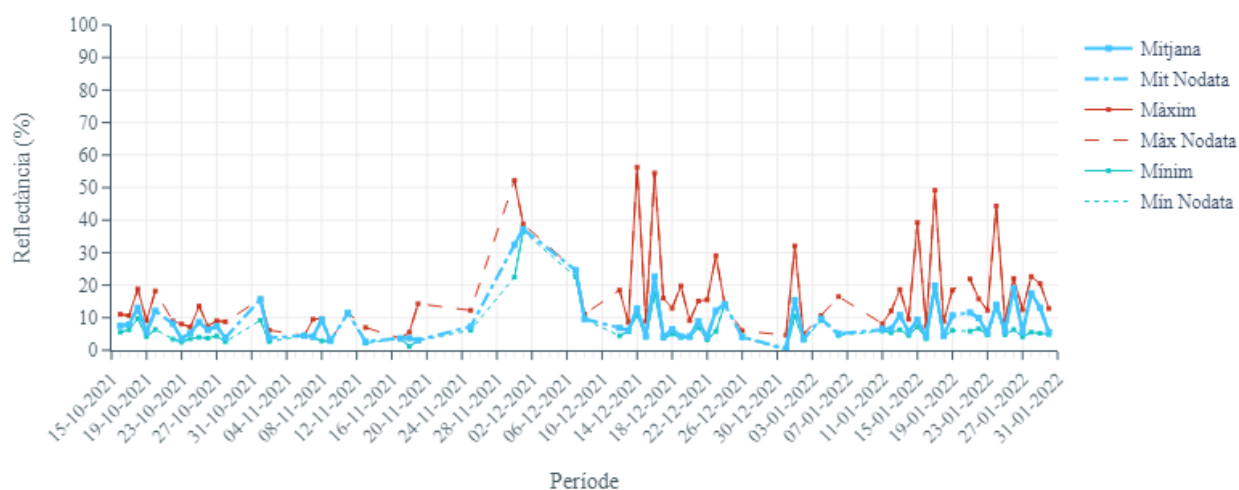
Estany Negre de Cabanes: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



Estany Negre: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



Estany Negre: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



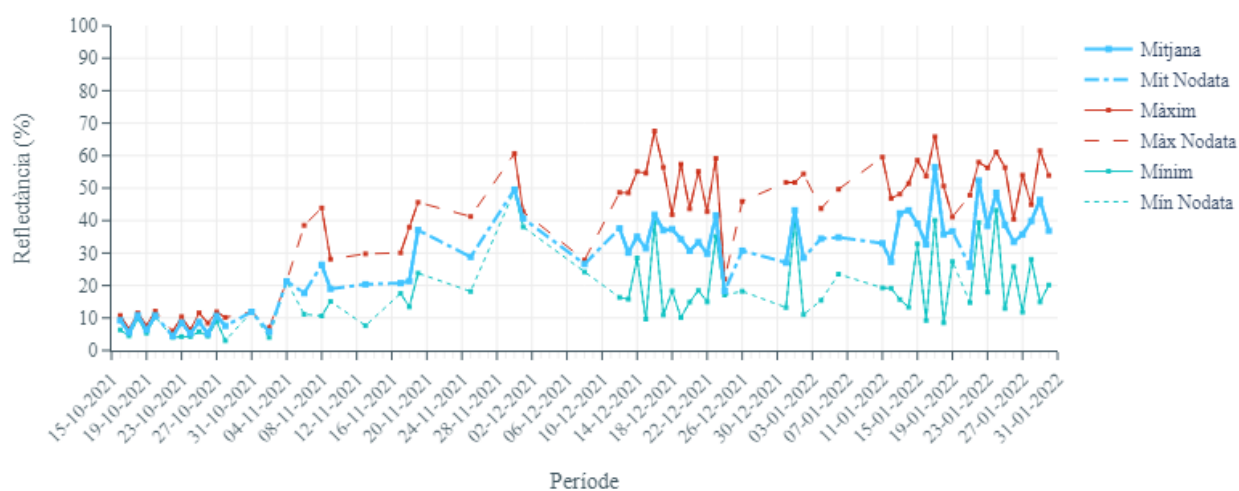
Estany del Pessó d'Amont: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



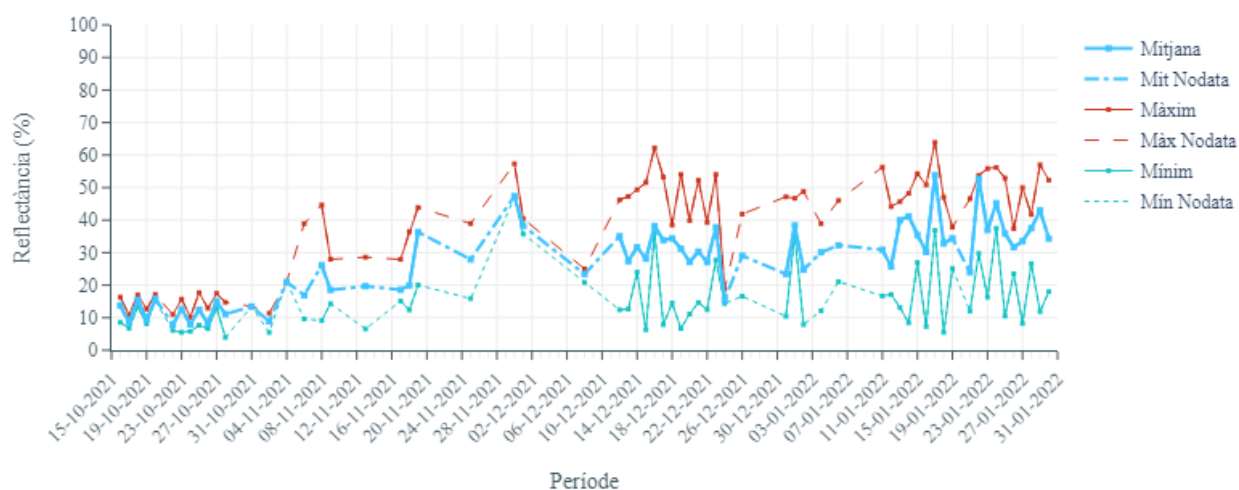
Estany del Pessó d'Amont: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



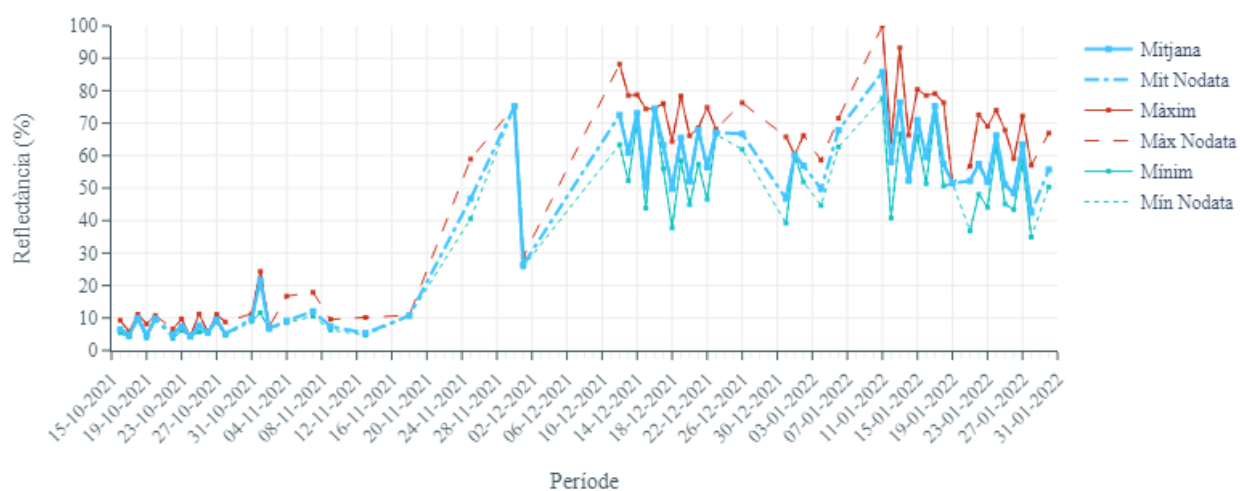
Estanh de Ràtera de Colomers: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



Estanh de Ràtera de Colomers: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



Estany Redó: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



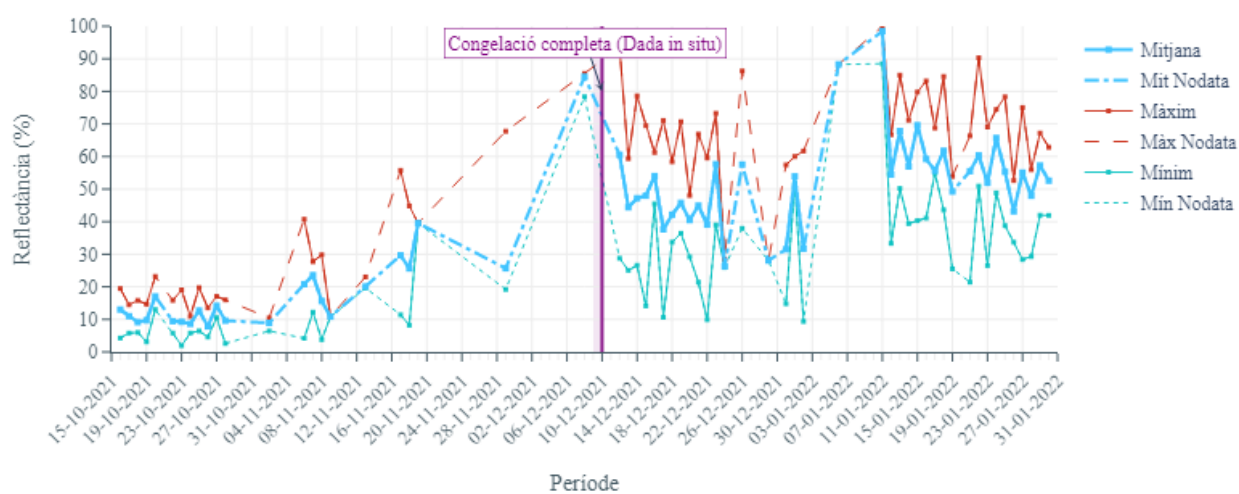
Estany Redó: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



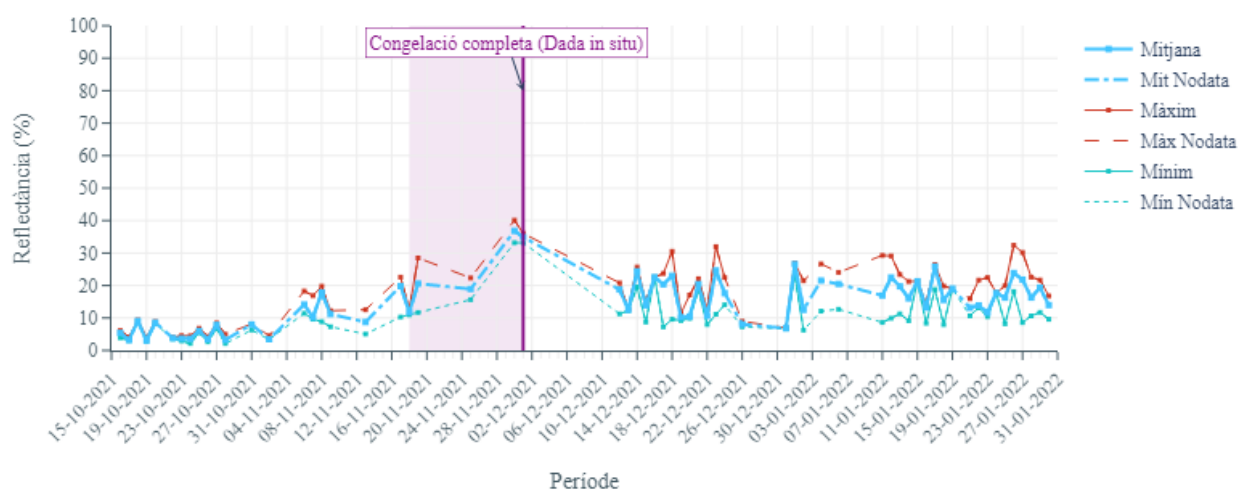
Lac Redon: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



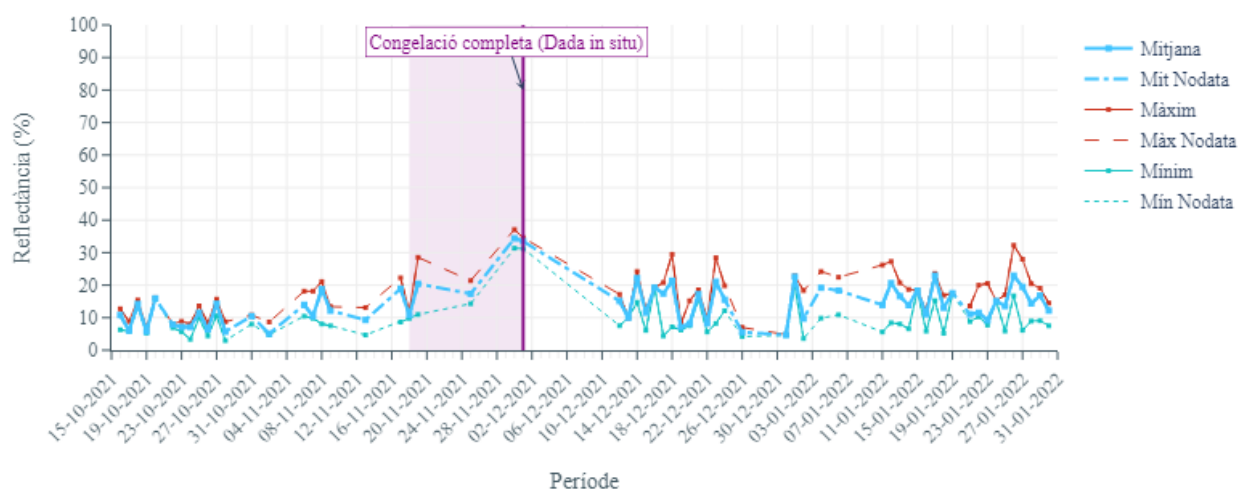
Lac Redon: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



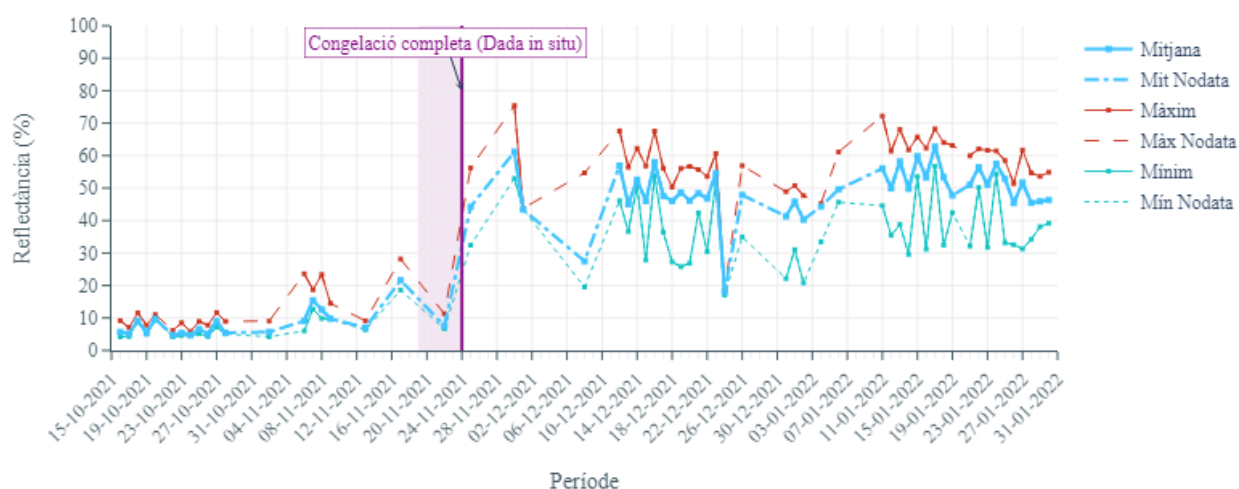
Estany de Dalt de Saboredó: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



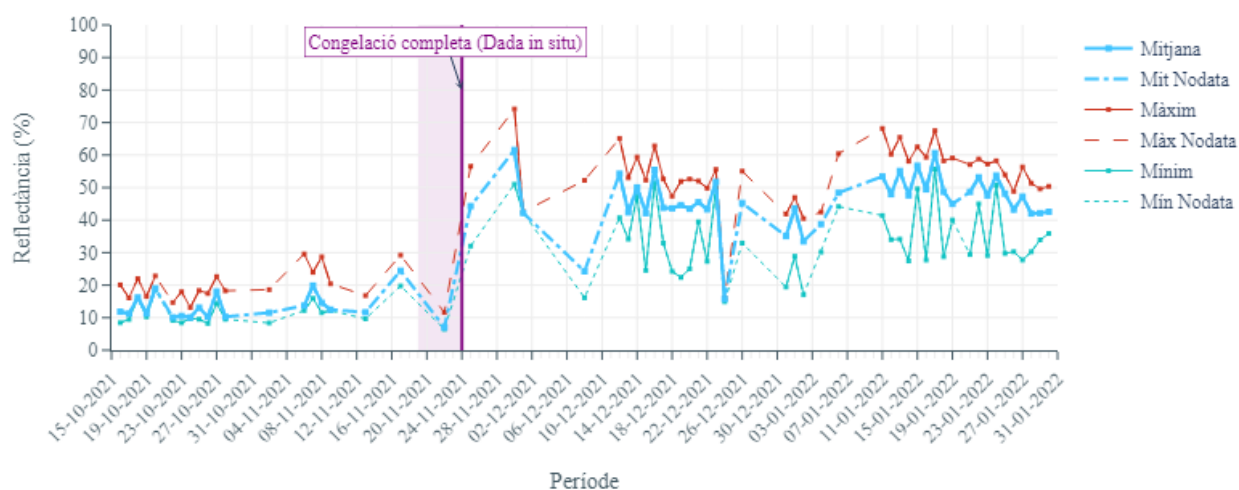
Estany de Dalt de Saboredó: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



Estany de Travessani: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



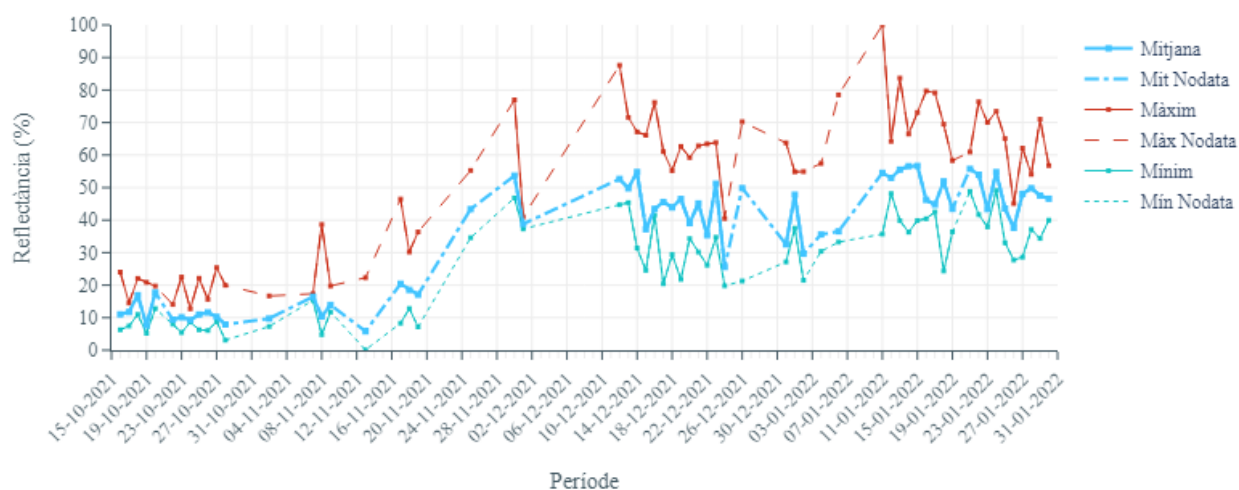
Estany de Travessani: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



Estany de Tumeneia de Dalt: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B1(Vermell)



Estany de Tumeneia de Dalt: Evolució de la reflectància en la fase de congelació 2021-22 | MODIS B2(IRp)



V. Exemple de taula de reflectàncies

Lac Redon 2021-22											
ID	Dia	Data	Varietat	NODATA %	Mitjana	Mediana	Moda	Desv. típica	Mínim	Màxim	Rang
1	288	2021-10-15	1	100,0							
2	289	2021-10-16	7	0,0	5,90	7,18	7,18	2,34	2,37	8,88	6,50
3	290	2021-10-17	5	0,0	4,53	3,76	3,65	1,16	2,71	5,88	3,17
4	291	2021-10-18	4	0,0	4,45	3,16	3,16	1,83	3,16	7,16	4,01
5	292	2021-10-19	7	0,0	4,58	5,34	1,95	1,92	1,95	6,44	4,49
6	293	2021-10-20	4	0,0	7,49	6,02	6,01	1,60	6,01	9,78	3,78
7	294	2021-10-21	1	100,0							
8	295	2021-10-22	4	0,0	3,78	3,12	5,84	1,47	2,47	5,84	3,37
9	296	2021-10-23	6	0,0	4,30	4,96	3,70	1,39	1,34	8,05	6,71
10	297	2021-10-24	5	0,0	3,92	3,16	3,16	1,03	2,65	5,19	2,55
11	298	2021-10-25	7	0,0	5,89	6,32	2,82	2,49	2,82	9,37	6,55
12	299	2021-10-26	4	0,0	3,65	3,20	2,18	1,63	2,18	6,14	3,96
13	300	2021-10-27	5	0,0	6,82	7,30	7,30	0,98	5,47	8,04	2,57
14	301	2021-10-28	8	0,0	4,53	4,71	1,51	2,17	1,51	7,12	5,61
15	302	2021-10-29	1	100,0							
16	303	2021-10-30	1	100,0							
17	304	2021-10-31	1	100,0							
18	305	2021-11-01	1	100,0							
19	306	2021-11-02	5	0,0	4,11	4,32	4,82	0,80	2,98	5,19	2,21
20	307	2021-11-03	1	100,0							
21	308	2021-11-04	1	100,0							
22	309	2021-11-05	1	100,0							
23	310	2021-11-06	8	0,0	19,38	17,60	3,53	11,40	3,53	34,88	31,35
24	311	2021-11-07	4	0,0	21,81	21,74	21,74	3,71	12,23	26,06	13,83
25	312	2021-11-08	6	0,0	14,29	13,72	3,32	9,34	3,32	28,95	25,63
26	313	2021-11-09	2	94,4	8,29	8,29	8,29	0,00	8,29	8,29	0,00
27	314	2021-11-10	1	100,0							
28	315	2021-11-11	1	100,0							
29	316	2021-11-12	1	100,0							
30	317	2021-11-13	3	94,4	3,44	1,96	1,96	3,76	1,96	13,02	11,06
31	318	2021-11-14	1	100,0							
32	319	2021-11-15	1	100,0							
33	320	2021-11-16	1	100,0							
34	321	2021-11-17	8	0,0	30,25	29,76	12,35	16,34	11,47	55,67	44,20
35	322	2021-11-18	4	0,0	24,99	19,01	19,01	13,78	8,68	43,43	34,75
36	323	2021-11-19	2	94,4	34,66	34,66	34,66	0,00	34,66	34,66	0,00
37	324	2021-11-20	1	100,0							
38	325	2021-11-21	1	100,0							
39	326	2021-11-22	1	100,0							
40	327	2021-11-23	1	100,0							
41	328	2021-11-24	1	100,0							
42	329	2021-11-25	1	100,0							

43	330	2021-11-26	1	100,0								
44	331	2021-11-27	1	100,0								
45	332	2021-11-28	1	100,0								
46	333	2021-11-29	3	94,4	25,22	18,98	18,98	15,91	18,98	65,78	46,80	
47	334	2021-11-30	1	100,0								
48	335	2021-12-01	1	100,0								
49	336	2021-12-02	1	100,0								
50	337	2021-12-03	1	100,0								
51	338	2021-12-04	1	100,0								
52	339	2021-12-05	1	100,0								
53	340	2021-12-06	1	100,0								
54	341	2021-12-07	1	100,0								
55	342	2021-12-08	3	94,4	81,31	81,05	81,05	0,67	81,05	83,02	1,97	
56	343	2021-12-09	1	100,0								
57	344	2021-12-10	1	100,0								
58	345	2021-12-11	1	100,0								
59	346	2021-12-12	5	0,0	66,76	68,80	68,80	14,17	33,74	100,00	66,26	
60	347	2021-12-13	5	0,0	50,75	58,12	30,93	14,35	30,93	66,07	35,14	
61	348	2021-12-14	3	0,0	54,43	59,20	59,20	14,20	32,07	89,17	57,10	
62	349	2021-12-15	8	0,0	54,55	59,17	45,62	15,56	17,48	74,25	56,77	
63	350	2021-12-16	3	0,0	60,93	66,82	66,82	6,32	53,76	66,82	13,06	
64	351	2021-12-17	6	0,0	45,30	34,02	34,02	20,93	14,23	80,83	66,60	
65	352	2021-12-18	3	0,0	48,03	39,34	39,34	12,20	39,34	65,29	25,94	
66	353	2021-12-19	5	0,0	53,48	46,34	46,34	13,04	44,26	82,81	38,55	
67	354	2021-12-20	5	0,0	46,49	48,05	48,05	6,97	34,57	53,76	19,19	
68	355	2021-12-21	4	0,0	51,80	50,65	50,65	16,50	25,94	75,09	49,16	
69	356	2021-12-22	7	0,0	45,82	61,82	38,73	20,71	13,44	66,78	53,34	
70	357	2021-12-23	6	0,0	64,73	65,77	71,06	10,71	47,93	80,19	32,27	
71	358	2021-12-24	3	94,4	29,08	28,76	28,76	0,81	28,76	31,16	2,40	
72	359	2021-12-25	1	100,0								
73	360	2021-12-26	7	0,0	59,96	52,00	52,00	14,77	40,97	88,88	47,91	
74	361	2021-12-27	1	100,0								
75	362	2021-12-28	1	100,0								
76	363	2021-12-29	2	94,4	35,40	35,40	35,40	0,00	35,40	35,40	0,00	
77	364	2021-12-30	1	100,0								
78	365	2021-12-31	8	0,0	41,25	37,70	36,06	14,06	20,87	66,04	45,17	
79	1	2022-01-01	4	0,0	60,77	59,43	59,43	3,30	58,09	67,18	9,09	
80	2	2022-01-02	7	0,0	40,95	47,48	32,13	18,70	13,53	70,86	57,33	
81	3	2022-01-03	1	100,0								
82	4	2022-01-04	1	100,0								
83	5	2022-01-05	1	100,0								
84	6	2022-01-06	2	94,4	90,04	90,04	90,04	0,00	90,04	90,04	0,00	
85	7	2022-01-07	1	100,0								
86	8	2022-01-08	1	100,0								
87	9	2022-01-09	1	100,0								

88	10	2022-01-10	1	100,0								
89	11	2022-01-11	3	94,4	98,99	100,00	100,00	2,57	92,45	100,00	7,55	
90	12	2022-01-12	4	0,0	56,42	61,43	61,43	11,55	36,37	69,27	32,91	
91	13	2022-01-13	5	0,0	70,58	70,49	85,45	13,90	54,55	85,89	31,34	
92	14	2022-01-14	7	0,0	60,21	64,75	64,75	10,46	42,90	73,78	30,88	
93	15	2022-01-15	5	0,0	73,36	79,94	67,37	12,38	43,99	84,83	40,84	
94	16	2022-01-16	7	0,0	62,93	61,97	64,55	13,44	44,52	88,01	43,48	
95	17	2022-01-17	2	0,0	60,43	59,70	59,70	3,03	59,70	72,93	13,24	
96	18	2022-01-18	7	0,0	66,22	68,93	73,06	10,26	47,66	92,89	45,23	
97	19	2022-01-19	4	0,0	53,53	54,48	57,90	4,65	29,36	57,90	28,54	
98	20	2022-01-20	1	100,0								
99	21	2022-01-21	5	0,0	58,09	63,45	63,45	14,45	25,17	68,91	43,74	
100	22	2022-01-22	6	0,0	62,78	57,68	57,68	10,39	53,89	91,81	37,92	
101	23	2022-01-23	7	0,0	56,08	63,79	55,89	14,90	31,05	71,83	40,78	
102	24	2022-01-24	5	0,0	67,74	69,83	75,34	8,91	52,49	75,34	22,85	
103	25	2022-01-25	7	0,0	59,78	63,75	63,75	8,33	43,21	84,57	41,35	
104	26	2022-01-26	4	0,0	46,05	44,53	36,03	9,26	36,03	56,18	20,15	
105	27	2022-01-27	8	0,0	58,20	61,61	61,61	13,99	31,20	78,90	47,70	
106	28	2022-01-28	4	0,0	51,57	47,10	47,10	5,54	33,57	59,47	25,90	
107	29	2022-01-29	5	0,0	62,61	65,84	67,45	8,87	46,45	76,19	29,74	
108	30	2022-01-30	7	0,0	57,01	57,97	53,76	5,78	46,53	67,25	20,72	
109	31	2022-01-31	1	100,0								

VI. Taules de resultats de QA_PIXEL/Fmask

Resultats amb les dates que Fmask detecta la congelació per primer cop 2015-16				
ID	Codi_estany	Dia_fi_aigua_Fmask	Dia_1_gelat_Fmask	Dia_n_gelat_Fmask
1	BERG	2015-11-14	2016-01-17	2016-01-17
2	CABI	2015-10-15	2015-11-30	2016-01-26
3	CAPP	2015-10-15	2015-12-16	2016-01-17
4	CAST	2015-11-07	2015-12-09	2016-01-26
5	CONT	2015-10-15	2015-12-16	2016-01-26
6	DELL	2015-10-15	2015-12-16	2016-01-26
7	EGSA	2015-10-15	2015-12-16	2016-01-26
8	GEMB	2015-10-15	2016-01-17	2016-01-26
9	GEMD	2015-11-14	2016-01-17	2016-01-26
10	LLON	2015-10-15	2015-11-30	2016-01-26
11	MAIN	2015-10-15	2016-01-17	2016-01-26
12	MANG	2015-10-15	2016-01-26	2016-01-26
13	MONG	2015-11-14	2016-01-17	2016-01-26
14	MORR	2015-11-14	2016-01-17	2016-01-26
15	MORT	2015-10-15	2015-12-09	2015-12-16
16	PESO	2015-10-15	2016-01-17	2016-01-26
17	RED2	2015-10-15	2015-11-30	2016-01-26
18	TRAV	2015-10-15	2016-01-26	2016-01-26
19	TUME	2015-11-14	2016-01-17	2016-01-17

Resultats amb les dates que Fmask detecta la congelació per primer cop 2016-17				
ID	Codi_estany	Dia_fi_aigua_Fmask	Dia_1_gelat_Fmask	Dia_n_gelat_Fmask
1	BERG	2016-10-31	2016-11-25	2017-01-19
2	CABI	2016-10-15	2017-01-12	2017-01-19
3	CAPP	2016-10-15	2016-11-25	2017-01-03
4	CAST	2016-10-31	2016-11-25	2017-01-19
5	CONT	2016-10-15	2016-11-25	2017-01-19
6	DELL	2016-10-15	2016-11-25	2017-01-12
7	EGSA	2016-10-15	2017-01-12	2017-01-19
8	GEMB	2016-10-15	2016-12-11	2017-01-19
9	GEMD	2016-11-16	2017-01-19	2017-01-19
10	LLEB	2017-01-03	2017-01-19	2017-01-19
11	LLON	2016-10-15	2016-11-25	2017-01-28
12	MAIN	2016-10-15	2016-11-25	2017-01-28
13	MANG	2016-10-15	2016-11-25	2017-01-19
14	MONG	2016-10-31	2016-12-02	2017-01-19
15	MORR	2016-10-15	2016-11-25	2017-01-12
16	MORT	2016-10-15	2016-11-25	2017-01-19
17	NECA	2016-10-31	2017-01-19	2017-01-28
18	PESO	2016-11-16	2016-12-02	2017-01-19
19	RATC	2016-10-31	2016-12-27	2017-01-12

20	RED2	2016-10-15	2016-11-25	2017-01-19
21	TRAV	2016-10-31	2016-11-25	2017-01-19
22	TUME	2016-10-31	2016-12-27	2017-01-19

Resultats amb les dates que Fmask detecta la congelació per primer cop 2017-18				
ID	Codi_estany	Dia_fi_aigua_Fmask	Dia_1_gelat_Fmask	Dia_n_gelat_Fmask
1	BERG	2017-10-27	2017-12-05	2018-01-31
2	CABI	2017-10-15	2017-12-05	2018-01-31
3	CAPP	2017-10-15	2017-12-30	2018-01-31
4	CAST	2017-11-03	2017-12-30	2018-01-31
5	CONT	2017-10-15	2017-12-30	2018-01-31
6	DELL	2017-10-15	2018-01-15	2018-01-31
7	EGSA	2017-10-15	2018-01-22	2018-01-31
8	GEMB	2017-10-15	2017-12-30	2018-01-31
9	GEMD	2017-11-28	2017-12-30	2018-01-31
10	GERB	2017-11-03	2018-01-15	2018-01-31
11	LLON	2017-10-15	2017-12-30	2018-01-31
12	MAIN	2017-10-15	2017-12-30	2018-01-15
13	MANG	2017-10-15	2017-12-05	2018-01-31
14	MONG	2017-10-27	2018-01-15	2018-01-31
15	MORR	2017-10-15	2017-12-30	2018-01-31
16	MORT	2017-10-15	2018-01-22	2018-01-22
17	NECA	2017-11-03	2018-01-15	2018-01-22
18	NEGR	2017-11-12	2018-01-22	2018-01-22
19	PESO	2017-10-15	2017-12-21	2018-01-31
20	RED2	2017-10-15	2017-12-05	2018-01-31
21	REDO	2017-11-12	2018-01-15	2018-01-22
22	SABO	2017-11-28	2017-12-30	2018-01-22
23	TRAV	2017-10-27	2017-12-30	2018-01-31
24	TUME	2017-10-27	2017-12-30	2018-01-22

Resultats amb les dates que Fmask detecta la congelació per primer cop 2019-20				
ID	Codi_estany	Dia_fi_aigua_Fmask	Dia_1_gelat_Fmask	Dia_n_gelat_Fmask
1	BERG	2019-10-15	2020-01-05	2020-01-28
2	CABI	2019-10-15	2020-01-28	2020-01-28
3	CAPP	2019-10-15	2019-11-25	2020-01-28
4	CAST	2019-10-15	2020-01-05	2020-01-28
5	CONT	2019-10-15	2019-12-27	2020-01-28
6	DELL	2019-10-15	2019-11-25	2020-01-28
7	EGSA	2019-10-15	2020-01-28	2020-01-28
8	GEMB	2019-10-15	2019-11-25	2020-01-12
9	GEMD	2019-11-18	2020-01-05	2020-01-12
10	GERB	2019-10-15	2020-01-28	2020-01-28

11	LLON	2019-10-15	2020-01-05	2020-01-28
12	MAIN	2019-10-15	2019-11-25	2020-01-28
13	MANG	2019-10-15	2019-12-27	2020-01-28
14	MONG	2019-10-15	2019-12-27	2020-01-12
15	MORR	2019-10-15	2019-11-25	2020-01-28
16	MORT	2019-10-15	2020-01-05	2020-01-28
17	PESO	2019-10-15	2019-12-27	2020-01-28
18	RED2	2019-10-15	2020-01-05	2020-01-28
19	REDO	2019-10-15	2020-01-12	2020-01-28
20	TRAV	2019-10-15	2019-12-27	2020-01-28
21	TUME	2019-10-15	2020-01-28	2020-01-28

Resultats amb les dates que Fmask detecta la congelació per primer cop 2020-21

ID	Codi_estany	Dia_fi_aigua_Fmask	Dia_1_gelat_Fmask	Dia_n_gelat_Fmask
1	BERG	2020-11-20	2020-12-22	2021-01-14
2	CABI	2020-10-15	2020-12-22	2021-01-14
3	CAPP	2020-10-15	2020-12-22	2021-01-30
4	CAST	2020-11-20	2021-01-14	2021-01-14
5	CONT	2020-10-15	2020-12-22	2021-01-14
6	DELL	2020-10-15	2020-12-22	2021-01-14
7	EGSA	2020-10-15	2020-12-22	2020-12-22
8	GEMB	2020-10-15	2020-12-22	2021-01-30
9	GEMD	2020-10-15	2020-12-22	2021-01-14
10	GERB	2020-10-19	2020-12-22	2020-12-22
11	LLON	2020-10-15	2021-01-14	2021-01-14
12	MANG	2020-10-15	2020-12-22	2021-01-14
13	MONG	2020-11-20	2020-12-22	2021-01-14
14	MORR	2020-10-15	2020-12-22	2021-01-14
15	NECA	2020-11-20	2020-12-22	2021-01-30
16	PESO	2020-10-15	2020-12-22	2021-01-14
17	RATC	2020-10-15	2020-12-22	2020-12-22
18	RED2	2020-11-20	2020-12-22	2021-01-14
19	REDO	2020-12-22	2021-01-14	2021-01-14
20	SABO	2020-11-20	2020-12-22	2020-12-22
21	TRAV	2020-10-15	2020-12-22	2021-01-14
22	TUME	2020-11-11	2021-01-14	2021-01-14

Resultats amb les dates que Fmask detecta la congelació per primer cop 2021-22

ID	Codi_estany	Dia_fi_aigua_Fmask	Dia_1_gelat_Fmask	Dia_n_gelat_Fmask
1	BERG	2021-10-15	2021-11-30	2022-01-26
2	CABI	2021-10-15	2021-11-30	2022-01-26
3	CAPP	2021-10-15	2021-12-17	2022-01-01
4	CAST	2021-11-09	2021-11-30	2021-12-24

5	CONT	2021-10-15	2021-11-30	2022-01-25
6	DELL	2021-10-15	2022-01-17	2022-01-17
7	EGSA	2021-10-15	2022-01-17	2022-01-26
8	GEMB	2021-10-15	2021-11-30	2022-01-26
9	GEMD	2021-10-15	2021-12-16	2022-01-26
10	LLON	2021-10-15	2021-11-30	2022-01-26
11	MAIN	2021-10-15	2021-11-30	2022-01-25
12	MANG	2021-10-15	2021-11-30	2022-01-26
13	MONG	2021-10-22	2021-12-16	2022-01-26
14	NECA	2021-10-15	2021-12-08	2021-12-08
15	RED2	2021-11-09	2021-11-30	2022-01-18
16	REDO	2021-11-30	2022-01-17	2022-01-26
17	TRAV	2021-10-15	2021-11-30	2022-01-26
18	TUME	2021-10-22	2021-12-16	2022-01-18

Exemple taula de sortida amb els percentatges de tipus de coberta per estany

Fmask TRAV 2021-22					
	Codi_estany	Data	Neu	Aigua	Altres
0	TRAV	22/10/2021	0	78,4	21,6
7	TRAV	29/10/2021	0	0	100
13	TRAV	04/11/2021	0	0	100
1	TRAV	07/11/2021	0	0	100
17	TRAV	09/11/2021	0	0	100
8	TRAV	14/11/2021	0	0	100
2	TRAV	23/11/2021	0	0	100
9	TRAV	30/11/2021	93,6	0	6,4
18	TRAV	08/12/2021	0	0	100
3	TRAV	09/12/2021	0	0	100
10	TRAV	16/12/2021	100	0	0
14	TRAV	17/12/2021	100	0	0
19	TRAV	24/12/2021	0	0	100
4	TRAV	25/12/2021	0	0	100
11	TRAV	01/01/2022	84	0	16
15	TRAV	02/01/2022	60	0	40
20	TRAV	09/01/2022	0	0	100
5	TRAV	10/01/2022	0	0	100
12	TRAV	17/01/2022	100	0	0
16	TRAV	18/01/2022	100	0	0
21	TRAV	25/01/2022	100	0	0
6	TRAV	26/01/2022	97,6	0	2,4

VII. Exemple d'informe de l'algorisme detecció data

** DETECCIÓ DE LA DATA DE CONGELACIÓ SEGONS LA REFLECTÀNCIA MODIS
2021-22 b1 **

Diccionari RESULTATS_Minims_Reflect_2015-21_b1 amb el mínim, el màxim i la mitjana dels mínims per estany':

```
{'BERG': [30.840701804441565, 46.609425488640284, 41.59402899707065], 'CABI':
[23.310987636960785, 45.758299071213294, 32.713553762984], 'CAPP':
[15.096848417211461, 30.297599133150076, 22.821588457366563], 'CAST':
[16.18083178846142, 39.759414817713484, 30.24956365174885], 'CONT':
[23.837202172530326, 43.172769914593616, 35.39002975330018], 'DELL':
[16.961402109691075, 32.279836075646536, 23.313147011257353], 'EGSA':
[11.407051167017977, 45.700813615825815, 30.92634073176854], 'GEMB':
[11.37285939129916, 43.527245088057086, 30.118011373165512], 'GEMD':
[20.25473115610522, 53.930955665056096, 35.612191821253575], 'GERB':
[25.372820457780218, 38.92078921881067, 30.80560756974431], 'LLEB': [None, None,
None], 'LLON': [10.494824126914695, 34.041408515270845, 17.30381130995574],
'MAIN': [20.43975222905477, 41.845756149291994, 34.89565286636353], 'MANG':
[14.411351968746374, 48.50273596886361, 36.16497100981155], 'MONG':
[25.344287849195076, 49.58264557809541, 37.09846024484345], 'MORR':
[32.545284005098566, 43.00303339403729, 37.79888781614081], 'MORT':
[23.875776290893555, 40.63416045506795, 31.383912506103513], 'NECA':
[15.497489955327282, 26.877477815706435, 20.401713022902673], 'NEGR': [None,
None, None], 'PESO': [29.198640715401126, 42.68018265490262, 35.25730559389392],
'RATC': [None, None, None], 'RED2': [19.63354005947919, 40.64176441246355,
31.059452583420445], 'REDO': [37.35491444456811, 55.72963003935637,
46.647980720060154], 'SABO': [None, None, None], 'TRAV': [12.134640776266263,
48.827456647016874, 31.615872716173893], 'TUME': [17.586578987740182,
62.80266993754619, 40.524576622730976]}
```

Reflect_MOD_2021-22_REDO_diari_b1

Mínim dels mínims: 37.35491444456811

Màxim dels mínims: 55.72963003935637

Mitjana dels mínims: 46.647980720060154

Data emmagatzemada: []

Observació: ('2021-10-16', 5.897883587413364, 0.0)

Data emmagatzemada: []

Observació: ('2021-10-17', 4.5325972212685475, 0.0)

Data emmagatzemada: []

Observació: ('2021-10-18', 4.454750395704199, 0.0)

Data emmagatzemada: []

Observació: ('2021-10-19', 4.5849321369771605, 0.0)

Data emmagatzemada: []

Observació: ('2021-10-20', 7.490913324002866, 0.0)

Data emmagatzemada: []

Observació: ('2021-10-22', 3.780814280333342, 0.0)

Data emmagatzemada: []

Observació: ('2021-10-23', 4.297423482824255, 0.0)

Data emmagatzemada: []

Observació: ('2021-10-24', 3.917368193908974, 0.0)

Data emmagatzemada: []

```

Observació: ('2021-10-25', 5.89020005332099, 0.0)
-----
Data emmagatzemada: []
Observació: ('2021-10-26', 3.653278121241817, 0.0)
-----
Data emmagatzemada: []
Observació: ('2021-10-27', 6.824522657747622, 0.0)
-----
Data emmagatzemada: []
Observació: ('2021-10-28', 4.534276534009863, 0.0)
-----
Data emmagatzemada: []
Observació: ('2021-11-02', 4.114515734601904, 0.0)
-----
Data emmagatzemada: []
Observació: ('2021-11-06', 19.38490902936017, 0.0)
-----
Data emmagatzemada: []
Observació: ('2021-11-07', 21.806256930033367, 0.0)
-----
Data emmagatzemada: []
Observació: ('2021-11-08', 14.288911588103684, 0.0)
-----
Data emmagatzemada: []
Observació: ('2021-11-09', 8.291925430297852, 94.44444444444444)
-----
Data emmagatzemada: []
Observació: ('2021-11-13', 3.436853035291036, 94.44444444444444)
-----
Data emmagatzemada: []
Observació: ('2021-11-17', 30.250724788948343, 0.0)
-----
Data emmagatzemada: []
Observació: ('2021-11-18', 24.99362819812916, 0.0)
-----
Data emmagatzemada: []
Observació: ('2021-11-19', 34.66459655761719, 94.44444444444444)
-----
Data emmagatzemada: []
Observació: ('2021-11-29', 25.221532567342123, 94.44444444444444)
-----
Data emmagatzemada: []
Observació: ('2021-12-08', 81.31221567789713, 94.44444444444444)
-----
Data emmagatzemada: []
Observació: ('2021-12-12', 66.75895924038358, 0.0)
-----
***
Reflectància igual o superior a la mitjana dels mínims, es desarà.
S'inicia l'avaluació de les reflectàncies durant 10 dies més per validar la data
de congelació ara emmagatzemada:
-----
Data emmagatzemada: [('2021-12-12', 66.75895924038358, 0.0)]
Observació: ('2021-12-12', 66.75895924038358, 0.0)
Reflectància igual o superior al màxim dels mínims
-----
Data emmagatzemada: [('2021-12-12', 66.75895924038358, 0.0)]
Observació: ('2021-12-13', 50.752471874378344, 0.0)
Reflectància igual o superior a la mitjana dels mínims
-----
Data emmagatzemada: [('2021-12-12', 66.75895924038358, 0.0)]
Observació: ('2021-12-14', 54.43459838584617, 0.0)

```

Reflectància igual o superior a la mitjana dels mínims

Data emmagatzemada: [('2021-12-12', 66.75895924038358, 0.0)]

Observació: ('2021-12-15', 54.55470346521448, 0.0)

Reflectància igual o superior a la mitjana dels mínims

Data emmagatzemada: [('2021-12-12', 66.75895924038358, 0.0)]

Observació: ('2021-12-16', 60.9316775004069, 0.0)

Reflectància igual o superior al màxim dels mínims

Data emmagatzemada: [('2021-12-12', 66.75895924038358, 0.0)]

Observació: ('2021-12-17', 45.2997706271984, 0.0)

Reflectància igual o superior al mínim dels mínims

Data emmagatzemada: [('2021-12-12', 66.75895924038358, 0.0)]

Observació: ('2021-12-18', 48.03450551916052, 0.0)

Reflectància igual o superior a la mitjana dels mínims

Data emmagatzemada: [('2021-12-12', 66.75895924038358, 0.0)]

Observació: ('2021-12-19', 53.47906591627333, 0.0)

Reflectància igual o superior a la mitjana dels mínims

Data emmagatzemada: [('2021-12-12', 66.75895924038358, 0.0)]

Observació: ('2021-12-20', 46.49298375447591, 0.0)

Reflectància igual o superior al mínim dels mínims

Data emmagatzemada: [('2021-12-12', 66.75895924038358, 0.0)]

Observació: ('2021-12-21', 51.79544608504684, 0.0)

Reflectància igual o superior a la mitjana dels mínims

S'han superat 10 dies per sobre del mínim dels mínims, i amb almenys un màxim. Es dona per bona la data de congelació.

Data de congelació: [('2021-12-12', 66.75895924038358, 0.0)]

VIII. Exemple d'informe d'estudi de mínims i valors atípics

** ANÀLISI DE VALORS VÀLIDS I OUTLIERS DE REFLECTÀNCIA A PARTIR DE LA DATA DE DETECCIÓ DE GEL DE LA TEMPORADA 2021-22 b1 **

Diccionari RESULTATS_Fmask_2021-22 amb la primera data d'observació d'estanys gelats':
 {'BERG': '2021-11-30', 'CABI': '2021-11-30', 'CAPP': '2021-12-17', 'CAST': '2021-11-30',
 'CONT': '2021-11-30', 'DELL': '2022-01-17', 'EGSA': '2022-01-17', 'GEMB': '2021-11-30',
 'GEMD': '2021-12-16', 'LLON': '2021-11-30', 'MAIN': '2021-11-30', 'MANG': '2021-11-30',
 'MONG': '2021-12-16', 'NECA': '2021-12-08', 'RED2': '2021-11-30', 'REDO': '2022-01-17',
 'TRAV': '2021-11-30', 'TUME': '2021-12-16'}

Reflect_MOD_2021-22_BERG_diari_b1

Data en què QA_PIXEL/Fmask detecta l'estany gelat: 2021-11-30

Màx: 82.26945484385772

Límit superior: 94.86606022890874

Q3: 73.32873596864587

Q1: 58.97051979513729

Rang interquartílic: 14.35821617350858

Límit inferior: 37.43319553487442

Mín: 27.136548399925232

Valors atípics

BERG 2021-22: [27.136548399925232, 35.07974097307991]

Valors vàlids

BERG 2021-22: [49.137011023128736, 50.497626192429486, 53.59545174766989,
 56.12668940600227, 57.36171049230239, 57.51114250631893, 57.73401372572955,
 58.8450860416188, 59.346821055692786, 60.03123715344597, 61.29110325084013, 61.5,
 61.51552963256836, 62.39212630776798, 63.0213737487793, 64.53525694678811,
 66.31823236802045, 66.50730609893799, 66.89587065752815, 67.35933522617115,
 67.78553098790786, 67.99598217010498, 68.03680745293113, 68.50566504983341,
 69.43359318901511, 69.5408280877506, 70.08724945783615, 72.3167724609375, 73.666057137882,
 73.83111269333783, 74.31439433378331, 75.28891310972325, 77.5305082657758,
 78.31813986161175, 78.70396557976218, 80.23630030014935, 81.72990496018353,
 82.26945484385772]

RESULTAT (Valor mínim de la mitjana de reflectàncies vàlides): 49.137011023128736

Reflect_MOD_2021-22_CABI_diari_b1

Data en què QA_PIXEL/Fmask detecta l'estany gelat: 2021-11-30

Màx: 49.87492041752256

Límit superior: 57.85204141715478

Q3: 44.18181102029209

Q1: 35.06832408905029

Rang interquartílic: 9.113486931241795

Límit inferior: 21.3980936921876

Mín: 17.341615676879883

Valors atípics

CABI 2021-22: [17.341615676879883]

Valors vàlids

CABI 2021-22: [30.9938949387649, 31.30434799194336, 33.38830615734232, 34.29128245649667, 34.4161491394043, 34.42300217727135, 34.44099426269531, 34.83850860595703, 35.043479919433594, 35.14285659790039, 35.207859433930494, 35.372456780795396, 35.6563505633124, 35.81987762451172, 36.32298278808594, 36.65217208862305, 37.18012237548828, 37.428356367966224, 38.40672394324993, 39.29438755430024, 39.99914346892258, 40.05590057373047, 40.97965135245487, 41.576033230485585, 42.81441425455028, 42.81516515797582, 43.34825357897528, 43.45587861949, 44.18076738817938, 44.18215889766299, 45.46166051667312, 45.76740074157715, 45.8512533779802, 46.270721435546875, 46.65838623046875, 47.33026201971646, 48.41325786195952, 48.619727101819265, 49.87492041752256]

RESULTAT (Valor mínim de la mitjana de reflectàncies vàlides): 30.9938949387649

Reflect_MOD_2021-22_CAPP_diari_b1

Data en què QA_PIXEL/Fmask detecta l'estany gelat: 2021-12-17

Màx: 47.91733659343955

Límit superior: 55.60692198776905

Q3: 39.348784505585094

Q1: 28.510026184129124

Rang interquartílic: 10.83875832145597

Límit inferior: 12.25188870194517

Mín: 24.719039799254617

Valors atípics

CAPP 2021-22: []

Valors vàlids

CAPP 2021-22: [24.719039799254617, 24.796334349078897, 25.34843984062289, 25.390766826676735, 27.93098724035569, 28.068706771473824, 28.35633718231578, 28.442680829837, 28.71206224700551, 30.170769008589378, 30.56138323560173, 30.60003066357271, 31.25542500578327, 31.54098516629066, 33.36515680948893, 34.47105221689483, 34.71390224974832, 34.77256308661567, 35.00168686148561, 36.2427724202474, 36.7788522037459, 37.92508311330536, 38.71420879128539, 38.90652489367827, 39.4962043762207, 39.94586360601731, 41.294533835517036, 42.647342846717365, 43.18825206050166, 45.141323431038565, 45.9536085717472, 47.91733659343955]

RESULTAT (Valor mínim de la mitjana de reflectàncies vàlides): 24.719039799254617

Reflect_MOD_2021-22_CAST_diari_b1

Data en què QA_PIXEL/Fmask detecta l'estany gelat: 2021-11-30

Màx: 98.97657051569298

Límit superior: 89.81159589260439

Q3: 63.04044984262201

Q1: 45.19301914263376

Rang interquartílic: 17.84743069998825

Límit inferior: 18.42187309265138

Min: 18.09709877303884

Valors atípics

CAST 2021-22: [18.09709877303884, 98.97657051569298]

Valors vàlids

CAST 2021-22:	[25.06187603141688,	29.550514873070053,	30.930183169207996,
34.03081896335264,	41.420473026323926,	42.123043060302734,	42.26338606242892,
43.32636178897906,	45.060696227641046,	45.07830863662913,	45.30772964863838,
45.84393397464028,	47.33406776717946,	47.82058421267739,	47.933250089234946,
51.29499087756193,	51.778439968447145,	52.4252690423893,	52.65987830825999,
53.607438678982895,	53.65901519678816,	54.137198629258556,	54.145922528037545,
56.565925549857226,	56.768693561795395,	56.86712801003758,	57.9871853212767,
59.12359541880934,	60.96005954018122,	62.31834290902826,	62.45459438275687,
62.50821830652937,	62.844719898851615,	63.236179786392405,	63.29420712627942,
65.18366101421887,	65.36197874817667,	68.20276772221432,	70.05291091339498,
70.55397704884976,	71.03050454055207,	71.43902703780162,	72.211181640625]

RESULTAT (Valor mínim de la mitjana de reflectàncies vàlides): 25.06187603141688

Reflect_MOD_2021-22_CONT_diari_b1

Data en què QA_PIXEL/Fmask detecta l'estany gelat: 2021-11-30

Màx: 80.40012992055793

Límit superior: 89.78155768545051

Q3: 69.1742932169061

Q1: 55.436116904543155

Rang interquartílic: 13.738176312362938

Límit inferior: 34.82885243599875

Min: 5.27541676738806

Valors atípics

CONT 2021-22: [5.27541676738806, 27.101940567960444, 30.188296351516456]

Valors vàlids

CONT 2021-22:	[38.9873056913677,	41.670043778001215,	42.81932978044476,	45.56603398239403,
53.14236697816012,	53.47363016898172,	55.3392717461837,	55.53296206290262,	
56.02402777420847,	56.73199339080275,	57.522609660499974,	58.559714802524496,	
58.91053581237793,	60.03454261913634,	60.76964090581526,	61.31121247274834,	
61.720114724677906,	62.350767503704944,	62.62672886095549,	62.6324517768726,	
62.73956559833727,	62.85223843758566,	63.126784675999694,	63.25075192795586,	
66.26201201321786,	67.86776693243729,	68.19619643897342,	68.7589086566055,	
69.5896777720669,	70.30026435852051,	71.97461057964124,	72.62574928685238,	
74.32663482532166,	75.04979715849224,	78.61616074411492,	79.48005890427974,	
80.3664608001709,	80.40012992055793]			

RESULTAT (Valor mínim de la mitjana de reflectàncies vàlides): 38.9873056913677

Reflect_MOD_2021-22_DELL_diari_b1

Data en què QA_PIXEL/Fmask detecta l'estany gelat: 2022-01-17

Màx: 46.75998142787388

Límit superior: 49.293004751205444

Q3: 42.227068066596985

Q1: 37.516443610191345

Rang interquartílic: 4.71062445640564

Límit inferior: 30.450506925582886

Mín: 35.12400238854544

Valors atípics

DELL 2021-22: []

Valors vàlids

DELL	2021-22:	[35.12400238854544,	35.96029363359724,	37.432897976466585,
		37.76708051136562,	38.47581999642508,	38.75698784419468,
		39.953415053231375,	40.55246182850429,	42.78527014596121,
		45.31909792763846,		
		46.75998142787388]		

RESULTAT (Valor mínim de la mitjana de reflectàncies vàlides): 35.12400238854544

Reflect_MOD_2021-22_EGSA_diari_b1

Data en què QA_PIXEL/Fmask detecta l'estany gelat: 2022-01-17

Màx: 48.423497159716106

Límit superior: 57.54349955034928

Q3: 43.41934208802774

Q1: 34.00323711314671

Rang interquartílic: 9.41610497488103

Límit inferior: 19.879079650825165

Mín: 29.90866996872593

Valors atípics

EGSA 2021-22: []

Valors vàlids

EGSA	2021-22:	[29.90866996872593,	32.03569404172226,	32.80579193545059,
		35.200682290842835,	36.56224335415263,	36.56661678367937,
		40.83264772656938,	41.34406414837905,	43.05904935111462,
		43.77963482494086,		
		45.513340063498056,	48.423497159716106]	

RESULTAT (Valor mínim de la mitjana de reflectàncies vàlides): 29.90866996872593

Reflect_MOD_2021-22_GEMB_diari_b1

Data en què QA_PIXEL/Fmask detecta l'estany gelat: 2021-11-30

Màx: 60.00492665959501

Límit superior: 67.24020155544937

Q3: 54.19950754889126

Q1: 45.50571154451919

Rang interquartílic: 8.693796004372075

Límit inferior: 32.465017537961074

Mín: 18.825522682883523

Valors atípics

GEMB 2021-22: [18.825522682883523, 21.05697127594345]

Valors vàlids

GEMB 2021-22: [35.468264766123106, 36.94409942626953, 42.35456804547991, 42.813379046560705, 43.48004536245061, 43.69401111822019, 44.2158211455948, 44.536088176157286, 44.95973424801881, 46.051688841019555, 46.56093435177858, 46.724732485684484, 46.760192739552465, 48.4165064932286, 49.16577494829551, 49.1759823327777, 49.4953964496481, 49.72399573490537, 49.76154774632947, 49.87613322817046, 50.64974633578596, 51.13271783412188, 51.210609611423536, 51.229099229834546, 51.240165578907934, 52.3307622712234, 53.08121525157582, 53.16991415791128, 53.661740927860656, 53.71342919886797, 54.00635436485554, 54.15713553593076, 54.24187956185177, 54.507890197052355, 55.25808500969547, 55.85157324253828, 57.16470341298772, 57.2180333630792, 57.298851013183594, 57.461697150921, 59.00007169000034, 59.21732040931438, 60.00492665959501]

RESULTAT (Valor mínim de la mitjana de reflectàncies vàlides): 35.468264766123106

Reflect_MOD_2021-22_GEMD_diari_b1

Data en què QA_PIXEL/Fmask detecta l'estany gelat: 2021-12-16

Màx: 83.75183979300566

Límit superior: 89.19431647034577

Q3: 71.33937650503114

Q1: 59.436083194821386

Rang interquartílic: 11.903293310209754

Límit inferior: 41.58114322950675

Mín: 35.41896622679954

Valors atípics

GEMD 2021-22: [35.41896622679954]

Valors vàlids

GEMD 2021-22: [47.371369738911476, 47.67087980758312, 51.14032807461051, 53.861621235692226, 55.66474102818689, 56.13036386356797, 57.65795295183049, 59.3949159134266, 59.559585039005725, 59.799797679102696, 59.93413184409918, 60.192042417304464, 61.4558720256007, 61.760868072509766, 63.638594516488006, 64.04745013214821, 66.13404553435569, 66.51769651368608, 66.80745697021484, 66.95601489932038, 67.37223651797272, 67.90097933037336, 70.1552826193876, 70.4822321159895, 70.62588376777117, 70.87418777998104, 71.49443941338117, 71.69962479347406, 76.00274392061455, 76.96526106013808, 78.61382320315339, 79.92813678120457, 82.64408222464628, 82.92929156990938, 83.75183979300566]

RESULTAT (Valor mínim de la mitjana de reflectàncies vàlides): 47.371369738911476

Reflect_MOD_2021-22_LLON_diari_b1

Data en què QA_PIXEL/Fmask detecta l'estany gelat: 2021-11-30

Màx: 89.93543403531298

Límit superior: 81.44147146778343

Q3: 55.575990912355024

Q1: 38.33233720873609
 Rang interquartílic: 17.243653703618932
 Límit inferior: 12.466856653307694
 Mín: 21.55087803028248

Valors atípics

LLON 2021-22: [89.93543403531298]

Valors vàlids

LLON 2021-22: [21.55087803028248, 23.166015436619887, 23.519745508829754, 29.41384935967716, 30.31147892092481, 31.005214267306858, 31.41906268508346, 33.09109643064899, 37.770109859513646, 38.28908884966815, 38.462082285939914, 39.99401952013557, 41.306264794903036, 42.3661530106156, 42.47987045476466, 42.70240114942009, 43.906523998872736, 45.02492235913689, 45.40472427415259, 45.66589864095052, 47.03573343488905, 47.838816089394655, 47.98497044598615, 49.96089261843834, 50.131738262411986, 51.04669895878545, 51.6227278061855, 52.10873365990909, 53.45280141006281, 54.17606066480095, 56.04263432820638, 57.54903840429989, 57.578942899350764, 59.211869416413485, 60.46039364661699, 61.39422079957562, 61.62740727412848, 77.81734532485774, 79.39651658799913]

RESULTAT (Valor mínim de la mitjana de reflectàncies vàlides): 21.55087803028248

Reflect_MOD_2021-22_MAIN_diari_b1

Data en què QA_PIXEL/Fmask detecta l'estany gelat: 2021-11-30

Màx: 83.82049980163575
 Límit superior: 86.00204194386798
 Q3: 65.21485389073689
 Q1: 51.35672852198283
 Rang interquartílic: 13.85812536875406
 Límit inferior: 30.56954046885174
 Mín: 9.569461592038472

Valors atípics

MAIN 2021-22: [9.569461592038472]

Valors vàlids

MAIN 2021-22: [31.750103759765626, 37.167080307006835, 37.47815802892049, 43.46501057942708, 46.49296073913574, 46.82453327178955, 48.64917208353678, 49.611697324117024, 50.74989687601725, 51.55900573730469, 52.684472274780276, 52.99979248046875, 53.8789857228597, 54.27681306203206, 55.16521816253662, 55.21977246602376, 55.685404014587405, 56.35993881225586, 57.52484251658122, 57.53468087514241, 58.471842447916664, 59.07619018554688, 60.95186538696289, 61.08695602416992, 61.93840732574463, 61.98726558685303, 62.32267074584961, 64.66977322896322, 64.97774251302083, 65.01739247639973, 65.16552734375, 65.36283353169759, 65.51190643310547, 67.10507221221924, 67.32991619110108, 67.76677055358887, 69.55124149322509, 70.0524845123291, 72.7453400293986, 74.82981147766114, 83.82049980163575]

RESULTAT (Valor mínim de la mitjana de reflectàncies vàlides): 31.750103759765626

Reflect_MOD_2021-22_MANG_diari_b1

Data en què QA_PIXEL/Fmask detecta l'estany gelat: 2021-11-30

Màx: 65.74270133972168

Límit superior: 63.82725519236952

Q3: 56.03852795138218

Q1: 50.84604312405728

Rang interquartílic: 5.192484827324897

Límit inferior: 43.05731588306993

Mín: 25.528326439135004

Valors atípics

MANG 2021-22: [25.528326439135004, 29.488223840694616, 30.775840245760403, 65.74270133972168]

Valors vàlids

MANG 2021-22: [46.09661041864074, 48.26492868555654, 48.517126102258665, 48.67031448666412, 49.07342601058507, 50.80111894513121, 50.84312106595181, 50.84896518216275, 50.88807553584033, 51.19322317897684, 51.622163640390525, 51.72473915024559, 51.780640252745975, 51.914089353957976, 51.948281354243214, 52.11100085419003, 52.21966692480711, 52.41362720904964, 52.69294493269212, 53.401022278436336, 53.52044885465414, 54.24629566457012, 54.25877928025652, 54.31566321495736, 54.4703894133615, 54.82436397288105, 55.078409629293006, 55.77971909777953, 56.29733680498482, 56.61693557890335, 56.63599947183439, 56.897176421514835, 57.1301897634374, 57.3330657505753, 57.63212615664643, 58.730889575316176, 59.51054620270682]

RESULTAT (Valor mínim de la mitjana de reflectàncies vàlides): 46.09661041864074

Reflect_MOD_2021-22_MONG_diari_b1

Data en què QA_PIXEL/Fmask detecta l'estany gelat: 2021-12-16

Màx: 63.71703357118549

Límit superior: 65.06747429587625

Q3: 54.87306594848633

Q1: 48.07679371689305

Rang interquartílic: 6.796272231593278

Límit inferior: 37.88238536950313

Mín: 22.25465842738296

Valors atípics

MONG 2021-22: [22.25465842738296, 28.229399640632398]

Valors vàlids

MONG 2021-22: [39.97116502704042, 41.00026409264767, 41.18806748823686, 42.132692995938385, 45.66693043564305, 45.86745568477746, 48.07679371689305, 48.1628449642297, 48.37880616621538, 48.91469893022017, 48.96047446511009, 49.685412343343096, 49.77052492083925, 49.869075890743375, 50.168907165527344, 50.57730079419685, 50.59405082933831, 52.000639297022964, 52.386825145374644, 53.08424705736565, 53.83195897882635, 53.9700739773837, 54.4583859761556, 54.53939380067767, 54.87306594848633, 55.22386721986713, 57.048296448678684, 57.7547524654504, 58.661433110092624, 59.13547710071911, 60.625823465983075, 62.95810149221709, 63.71703357118549]

RESULTAT (Valor mínim de la mitjana de reflectàncies vàlides): 39.97116502704042

Reflect_MOD_2021-22_NECA_diari_b1

Data en què QA_PIXEL/Fmask detecta l'estany gelat: 2021-12-08

Màx: 47.49825584725158

Límit superior: 56.07084426651262

Q3: 36.32500211506674

Q1: 23.161107347436147

Rang interquartílic: 13.163894767630591

Límit inferior: 3.415265195990262

Mín: 15.635156931942456

Valors atípics

NECA 2021-22: []

Valors vàlids

NECA	2021-22:	[15.635156931942456,	19.88930447460854,	21.242321589221692,
		21.989449644741946,	22.029524737841463,	22.121756592841997,
		22.709435737296328,	23.038202416406918,	23.202075657779222,
		25.652514836559558,	25.66391649638137,	26.526844873820266,
		28.264868932227564,	29.682464286072612,	29.69582130484385,
		30.152556915805764,	30.38926283953941,	30.57559833787892,
		31.451033553032026,	31.582744859669308,	32.61286438981148,
		34.603760131417886,	36.30928259026514,	36.37216068947152,
		37.21849752452275,	37.51195377193085,	37.54505212339637,
		40.95499077888384,	43.06338768789213,	47.49825584725158]

RESULTAT (Valor mínim de la mitjana de reflectàncies vàlides): 15.635156931942456

Reflect_MOD_2021-22_RED2_diari_b1

Data en què QA_PIXEL/Fmask detecta l'estany gelat: 2021-11-30

Màx: 85.74735292246643

Límit superior: 92.01021171623553

Q3: 67.87997484878755

Q1: 51.7931502704889

Rang interquartílic: 16.086824578298653

Límit inferior: 27.66291340304092

Mín: 26.38815492979238

Valors atípics

RED2 2021-22: [26.38815492979238]

Valors vàlids

RED2	2021-22:	[42.41431093887544,	46.773859641921355,	48.45534193012077,
		49.748665178325815,	49.80701451906016,	50.275391968203266,
		51.527950286865234,	51.88155026503012,	52.10165566457829,
		52.38544421128824,	55.72023622754594,	56.4389826277612,
		57.35141437154421,	57.42288492766904,	57.978216036944325,
		60.12334855845277,	60.90613271149112,	63.19525839577258,
		65.48823343196385,	66.22526351498885,	66.71262450956962,
		67.85600355981101,	67.95188871571716,	70.95022357349664,
				72.49916737516162,

73.07575644909495, 74.48403586804027, 75.1612289858536, 75.2266655505543,
76.36182457292584, 85.74735292246643]

RESULTAT (Valor mínim de la mitjana de reflectàncies vàlides): 42.41431093887544

Reflect_MOD_2021-22_REDO_diari_b1

Data en què QA_PIXEL/Fmask detecta l'estany gelat: 2022-01-17

Màx: 67.73791085702402

Límit superior: 74.53292380792124

Q3: 62.69491517102277

Q1: 54.80290941309046

Rang interquartílic: 7.89200575793231

Límit inferior: 42.964900776191996

Mín: 46.050401828907155

Valors atípics

REDO 2021-22: []

Valors vàlids

REDO 2021-22: [46.050401828907155, 51.57354569611726, 53.527351181595414,
56.0784676445855, 57.014125668561014, 58.09187862254955, 58.2014489279853,
59.778191771330654, 60.4309868282742, 62.60772844950358, 62.78210189254196,
66.22107326366283, 67.73791085702402]

RESULTAT (Valor mínim de la mitjana de reflectàncies vàlides): 46.050401828907155

Reflect_MOD_2021-22_TRAV_diari_b1

Data en què QA_PIXEL/Fmask detecta l'estany gelat: 2021-11-30

Màx: 62.791704373096856

Límit superior: 66.0295159647784

Q3: 53.9435368635523

Q1: 45.88621746273491

Rang interquartílic: 8.057319400817391

Límit inferior: 33.800238361508825

Mín: 18.051055908203125

Valors atípics

TRAV 2021-22: [18.051055908203125, 27.487210536566305]

Valors vàlids

TRAV 2021-22: [40.27280227781281, 41.308601980134256, 43.38708206176758, 44.3405865045983,
45.00787257397268, 45.40734680055633, 45.46403052863174, 45.84882823313315,
45.923606692336676, 46.000977403535614, 46.033894200963296, 46.137967357485316,
46.326942293662725, 46.79561765175166, 47.60160332026444, 47.751797233040875,
47.86932066669614, 48.389640447661634, 48.632122250053825, 49.60639623206431,
49.808040528785526, 49.914168380376864, 51.02005125030758, 51.041620074294684,
51.70460232411783, 52.555679471473994, 52.80491091510442, 53.26453773618683,
53.29192556546429, 54.59514816164032, 56.040005481149265, 56.414045859509564,

56.94962638194167, 57.48579253549651, 58.00009828101932, 58.205555022232176,
59.79033594807302, 61.19562761802373, 62.791704373096856]

RESULTAT (Valor mínim de la mitjana de reflectàncies vàlides): 40.27280227781281

Reflect_MOD_2021-22_TUME_diari_b1

Data en què QA_PIXEL/Fmask detecta l'estany gelat: 2021-12-16

Màx: 59.93931574434848

Límit superior: 70.51241744853354

Q3: 55.749412439964914

Q1: 45.90740910091916

Rang interquartílic: 9.842003339045753

Límit inferior: 31.14440409235053

Mín: 29.120220763595015

Valors atípics

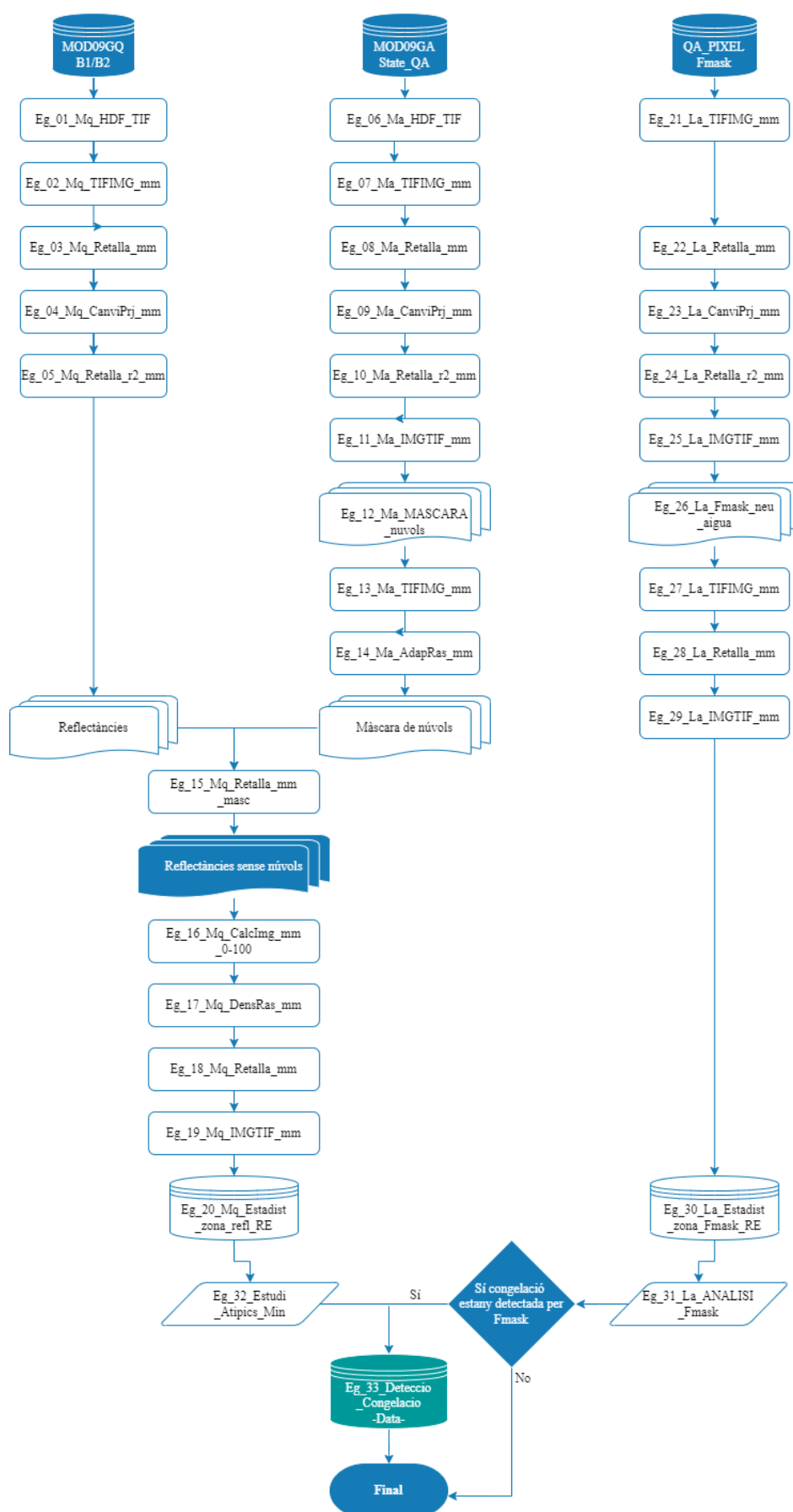
TUME 2021-22: [29.120220763595015]

Valors vàlids

TUME	2021-22:	[33.84266416446583,	38.71117950130154,	39.163883505640804,
39.21550402770171,	40.57180699786625,	40.89461981283652,	43.04385484231485,	
46.86192718712059,	47.01267479561471,	47.564042916169036,	47.62707766971073,	
47.75260203593486,	47.868473568478144,	48.46307004464639,	49.745550980439056,	
49.989760373089766,	50.59870696712185,	50.74664275710647,	50.75440654239139,	
51.45937520104486,	51.68150806427002,	52.409769625277136,	53.62821050592371,	
54.91144863334862,	55.44602981773583,	56.659560306652175,	57.12300692377864,	
57.20010033169308,	57.50998899098989,	58.244879181320606,	58.34673505216031,	
59.92848844785948,	59.93931574434848]			

RESULTAT (Valor mínim de la mitjana de reflectàncies vàlides): 33.84266416446583

IX. Detall de l'algorisme de detecció automàtica i flux de treball



Procés/Script	Descripció
Eg_01_Mq_HDF_TIF.py	Converteix tots els fitxers HDF4 de MODIS (MOD09GQ) de cada directori a GeoTiff. Només extrau les bandes 1 (Vermell) i 2 (IRp) de 250m, i no fa cap transformació. El SRef continua sent l'original (Sinusoidal de MODIS).
Eg_02_Mq_TIFIMG_mm.py	Converteix els fitxers anteriors de TIF a IMG de MiraMon a través de l'eina de MiraMon TIFIMG executada des de Python. No fa cap més transformació espacial, però sí que s'editen les metadades a posteriori executant un CanviREL massiu perquè sobretot es documenti el SRef Sinusoidal de MODIS.
Eg_03_Mq_Retalla_mm.py	Retalla les bandes 1 i 2 de MODIS (MOD09GQ) a partir d'una capa marc (vector en SRef Sinusoidal de MODIS) de l'àmbit del PNAESM + 2km amb l'eina Retalla 2 de MiraMon executada des de Python. Automatitzat a tots els fitxers de cada directori de dades.
Eg_04_Mq_CanviPrj_mm.py	Canvi de sistema de referència de les bandes 1 i 2 de MODIS (MOD09GQ) retallades de Sinusoidal de MODIS a EPSG:25831 amb CanviPrj de MiraMon executat des de Python, de les bandes anteriorment retallades.
Eg_05_Mq_Retalla_mm.py	Retalla les bandes 1 i 2 de MODIS (MOD09GQ) a partir d'una capa marc (vector en EPSG:25831) de l'àmbit del PNAESM + 1km amb l'eina Retalla 2 de MiraMon executada des de Python. Automatitzat a tots els fitxers de cada directori de dades. Aquest segon retall a un àmbit més petit elimina els artefactes a les vores de la projecció anterior.
Eg_06_Ma_HDF_TIF.py	Converteix tots els fitxers HDF4 de MODIS (MOD09GA) de cada directori a GeoTiff. Només extrau les banda de qualitat (State QA 1km), i no fa cap transformació. El SRef continua sent l'original (Sinusoidal de MODIS).
Eg_07_Ma_TIFIMG_mm.py	Converteix els fitxers TIF MOD09GA a IMG a través de l'eina de MiraMon TIFIMG. No fa cap més transformació espacial, però sí que s'editen les metadades a posteriori executant un CanviREL massiu perquè sobretot es documenti el SRef Sinusoidal de MODIS.
Eg_08_Ma_Retalla_mm.py	Retalla la banda State QA de MODIS (MOD09GA) a partir d'una capa marc (vector en SRef Sinusoidal de MODIS) de l'àmbit del PNAESM + 2km amb l'eina Retalla 2 de MiraMon executada des de Python. Automatitzat a tots els fitxers de cada directori de dades.
Eg_09_Ma_CanviPrj_mm.py	Canvi de sistema de referència de les bandes State QA de MODIS (MOD09GA) retallades de Sinusoidal de MODIS a EPSG:25831 amb CanviPrj de MiraMon executat des de Python, de les bandes anteriorment retallades.
Eg_10_Ma_Retalla_mm.py	Retalla tots els fitxers de la banda State QA de MODIS (MOD09GA) a partir d'una capa marc (vector en EPSG:25831) de l'àmbit del PNAESM + 1km amb l'eina Retalla 2 de MiraMon executada des de Python. Automatitzat a tots els fitxers de cada directori de dades. Aquest segon retall a un àmbit més petit elimina els artefactes a les vores de la projecció anterior.
Eg_11_Ma_IMG_TIF_mm.py	Converteix tots els fitxers de la banda State QA de MODIS (MOD09GA) de IMG a TIF a través de l'eina de MiraMon TIFIMG. Necessari per fer el procés posterior amb Python.

Eg_12_Ma_MASCARA_nuvols.py	Generador de màscares de núvols a partir dels MOD09GA State QA 1km de tots els directoris i dates. En fa un tractament matricial amb la llibreria Numpy, convertint a codi binari cada valor de píxel que es troba en números decimals, per a partir d'aquí identificar els codis que representen núvols estrictament. La sortida és una màscara binària 0 (núvol), 1 (píxel vàlid).
Eg_13_Ma_TIFIMG_mm.py	Converteix les màscares de núvols anteriors a IMG a través de l'eina de MiraMon TIFIMG.
Eg_14_Ma_AdapRas_mm.py	Transforma les màscares de núvols amb el canvi de costat de cel·la (1km -> 250m), d'envolupant, etc., amb AdapRas de MiraMon, per acomodar-les a les bandes 1 i 2 de MODIS per poder fer el geoprocés posterior de combinació.
Eg_15_Mq_Retalla_mm_masc.py	Retalla les bandes 1 i 2 de MODIS r a partir de la màscara de núvols binària amb els píxels a treure (no vàlids) posats com a nodata i valor 0 (ennuolat) i valor 1 (àrea vàlida sense núvols). El fitxer de sortida és una capa de reflectàncies sense els píxels amb núvols, generada a partir de l'eina Retalla de MiraMon.
Eg_16_Mq_CalcImg_mm_0-100.py	Passa els valors de cada píxel de les bandes de reflectàncies sense núvols de l'àmbit del PNAESM a percentatge (0-100%) a través de la calculadora de CalcImg de MiraMon. Posteriorment, requereix majors modificacions de les metadades que anteriorment, a partir de l'eina CanviREL, Canviant unitats, paleta , etc.
Eg_17_Mq_DensRas_mm.py	Canvia el costat de cel·la de les bandes de reflectàncies anteriors densificant de 250 a 30m amb DensRas de MiraMon per poder calcular estadístics més adaptats a la forma de l'estany.
Eg_18_Mq_Retalla_mm.py	Retalla les bandes de reflectància de 30m i de totes les dates per cada un dels 26 estanys de més de 5 ha del PNAESM a partir d'un fitxer vectorial per estany, utilitzant l'eina Retalla de MiraMon.
Eg_19_Mq_IMG_TIF_mm.py	Converteix tots els fitxers de reflectància de cada estany de IMG a TIF a través de l'eina de MiraMon TIFIMG. Necessari per fer el procés posterior amb Python.
Eg_20_Mq_Estadist_zona_refl_RE.py	Genera els estadístics zonals de reflectància per cada estany en forma de taula exportant-les a la base de dades SQLite i Excel.
Eg_21_La_TIFIMG_mm.py	Conversió de la banda QA_PIXEL de Landsat 8 i 9 a IMG.
Eg_22_La_Retalla_mm.py	Retalla la banda de qualitat de Landsat a partir d'una capa marc (WGS84) de l'àmbit del PNAESM + 2km amb l'eina Retalla 2 de MiraMon executada des de Python. Automatitzat a tots els fitxers de cada directori de dades.
Eg_23_La_CanviPrj_mm.py	Canvi de sistema de referència de la banda de qualitat de Landsat retallada anteriorment a EPSG:25831 (ETRS89) amb CanviPrj de MiraMon executat des de Python.
Eg_24_La_Retalla_r2_mm.py	Retalla per segon cop la banda de qualitat de Landsat ara a una capa marc del PNAESM + 1km en ETRS89 amb l'eina Retalla 2 de MiraMon executada des de Python. Automatitzat a tots els fitxers de cada directori de dades.
Eg_25_La_IMG_TIF_mm.py	Converteix tots els fitxers de la banda de qualitat de Landsat de IMG a TIF a través de l'eina de MiraMon TIFIMG. Necessari per fer el procés posterior amb Python.

Eg_26_La_Fmask_neu_aigua.py	Generador de les màscares de neu i aigua de Landsat 8-9 Fmask de tots els fitxers d'un directori.
Eg_27_La_TIFIMG_mm.py	Conversió de la mascara de neu i aigua Fmask de Landsat 8 i 9 a IMG.
Eg_28_La_Retalla_mm.py	Retalla la màscara de neu i aigua Fmask per cada estany.
Eg_29_La_IMG_TIF_mm.py	Converteix tots els fitxers de màscares de neu i aigua de cada estany de IMG a TIF a través de l'eina de MiraMon TIFIMG. Necessari per fer el procés posterior amb Python.
Eg_30_La_Estadist_zona_Fmask_RE.py	Genera els estadístics zonals de la màscara de neu i aigua per cada estany en forma de taula exportant-les a la base de dades SQLite i Excel.
Eg_31_La_ANALISI_Fmask.py	Anàlisi dels estadístics de la màscara de neu i aigua per cada estany que obté la primera data en la que Fmask considera que l'estany està gelat completament. Per fer-ho, s'estableix un llindar de tolerància (80% dels píxels han de donar neu/gel).
Eg_32_Estudi_Atípics_Min.py	Estudi dels valors atípics de reflectància a partir de la data de congelació Fmask, i obtenció dels mínims de la mitjana de reflectància 2015-21 per cada estany.
Eg_33_Deteccio_Congelacio.py	Detecció de la data de congelació a partir dels mínims de la reflectància mitjana per temporada i per estany, dels estanys que Fmask detecta la congelació. L'algorisme recorre les reflectàncies per estany i temporada, i es veu ajustat per diferents paràmetres: valor de reflectància que identifica un possible dia de congelació, i quantitat de dies (10) que s'ha de mantenir i sota quins llindars de reflectància.

X. Codi font

Exemples dels scripts més transcendents per l'algorisme.

```
# =====
# Generador de màscara de núvols del MOD09GA State QA 1km de tots els fitxers d'un directori
# =====

import os
from osgeo import gdal
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from decimal import Decimal
from moduls import eg_eines
from tqdm import tqdm

#####
# Dades de directoris i temporada per passar al procés a través de l'injector
directori_entrada = r'F:\TSIG_Estanys_Gelats\Dades_sat\MODIS\2000-01\MOD09GA/6-
GA_25831_PNAESM_tif'
directori_sortida = r'F:\TSIG_Estanys_Gelats\Dades_sat\MODIS\2000-01\MOD09GA/7-
GA_25831_PNAESM_MASC-NU_tif'
inici = 2000
final = 2022
param = [directori_entrada, directori_sortida, inici, final]
directoris_entrada, directoris_sortida = eg_eines.injector_de_directoris(param)

#####

any = 2000 # Això és pel nom del txt de sortida
count = 1 # Això és pel nom del txt de sortida
# Recorrem la llista amb els directoris d'entrada i els passem per fer el geoprocés
for ind in tqdm(range(len(directoris_entrada))):
    # Llista dels fitxers d'entrada
    os.chdir(directoris_entrada[ind])
    fitxers_entrada = os.listdir(os.getcwd())
    #print(fitxers_entrada)
    extensio = '.tif'

    for f in tqdm(fitxers_entrada):
        i = fitxers_entrada.index(f)
        if extensio in fitxers_entrada[i]:
```

#=> GENERANT LA MATRIU DEL RÀSTER D'ENTRADA

```
# Primer pas, lectura del ràster com una banda i com un array i la seva visualització
raster_entrada = gdal.Open(f, gdal.GA_ReadOnly)
banda_entrada = raster_entrada.GetRasterBand(1)
matriu_entrada = banda_entrada.ReadAsArray()
plt.figure()
plt.imshow(matriu_entrada) # La funció imshow de pyplot permet visualitzar matrius
plt.title("Ràster d'entrada State QA 1km")
#print(f'\n\nMatriu del ràster d'entrada {f}:\n\n{matriu_entrada}')
```

#=> ALGORISME PER PASSAR DE DECIMAL A BINARI ELS VALORS DEL RÀSTER

```
# Obtenció dels valors únics de l'array
valors_unics = np.unique(matriu_entrada) # type (valors_unics) numpy.ndarray
#print(f'\n\nValors únics en codi decimal de {f}:\n{valors_unics}\n')

# Càlcul del binari de cada valor de la capa de qualitat desant-lo en un diccionari
decimal_bin = {} # Diccionari amb el binari (valor) de cada número decimal (clau)
for valor in valors_unics:
    num_bin = bin(valor)
    codibin_nuvols = num_bin[-2:] # Només desem els dos darrers dígit (bits)
    decimal_bin[valor] = codibin_nuvols # Incorpora els codis de núvols a cada clau

#print(f'Diccionari amb les claus en decimal i els valors en binari de {f}:\n\n{decimal_bin}\n')
```

Creant una llista amb tots els codis decimals que representen núvols 01 veg taula

13

```
codisdec_nuvol = []
for k in decimal_bin.keys(): # Recorre les claus del diccionari
    if decimal_bin.get(k) == '01': # Comprova si la clau decimal té el valor 01
        codisdec_nuvol.append(k)
    else:
        continue

# Imprimeix la llista amb els codis decimals (claus)
#print(f'Llista amb els codis decimals que suposen núvols 01 de {f}:\n\n{codisdec_nuvol}\n')
```

#=> ESCRIVINT LA MÀSCARA DE NÚVOLS

```

matriu_mascara = np.copy(matriu_entrada) # Crea una nova matriu amb els valors de
l'altra

# Recorrem la matriu i reclassifiquem posant 1 a tots els codis decimals que
# suposen nuvols a partir de la llista de codis nuvols.
for e in np.nditer(matriu_mascara): # .nditer és un mètode que permet iterar
# per cada element de la matriu sense necessitat d'anidar dos bucles for
    if e in codisdec_nuvol:
        matriu_mascara[matriu_mascara == e] = 0 # Assigna el valor, mètode numpy
    else:
        continue

# Ara recorrem la matriu i reclassifiquem assignant el valor 0 a
# totes les cel·les amb valor diferent a 1.
for e in np.nditer(matriu_mascara):
    #print(e)
    if e != 0:
        matriu_mascara[matriu_mascara == e] = 1
    else:
        continue

#print(f"\nMatriu de la màscara de núvols (reclassificació) de {f}:\n\n
{matriu_mascara}\n")

plt.figure()
plt.title('Màscara de núvols')
plt.imshow(matriu_mascara) # Visualització de la màscara

# Creació del nou ràster de sortida amb les dades de l'array de numpy
driver = gdal.GetDriverByName('GTiff') # Driver per crear un TIF
driver.Register() # Pas protocolari de registre

# Nou conjunt de dades GDAL amb driver.Create. Cal saber el nombre de columnes
# i files, identificar la banda i el tipus de dades
column = raster_entrada.RasterXSize
files = raster_entrada.RasterYSize
nom_sortida = fitxers_entrada[i][-4] + '_MASC-NU' + '.tif'
#directori_sortida = directoris_sortida[ind] + '/'
fitxer_sortida = directoris_sortida[ind] + '/' + nom_sortida
raster_sortida = driver.Create(fitxer_sortida, xsize=column,
                               ysize=files, bands=1, eType=gdal.GDT_Byte)

# Ara cal georeferenciar el ràster de sortida
# Primer cal obtenir el sistema de referència de la capa d'entrada
gt = raster_entrada.GetGeoTransform() # Envolupant i mida de píxel
proj = raster_entrada.GetProjection() # SRH

```



```

# Ara passem el sistema de referència a la capa de sortida
raster_sortida.SetGeoTransform(gt)
raster_sortida.SetProjection(proj)
#print("Envolupant i mida de píxel:\n", gt, "\n\nSistema de Referència:\n", proj)

# Obrint la banda per escriure la matriu
banda_sortida = raster_sortida.GetRasterBand(1)
banda_sortida.WriteArray(matriu_mascara)

# Assignem un valor nodata i posem en memòria cau
# banda_sortida.SetNoDataValue(np.nan) # MiraMon es queixa i és millor treure np.nan
(depèn tractament quantitatiu/categòric?)
banda_sortida.SetNoDataValue(0) # MiraMon no es queixa si el tractament és
quantitatiu
banda_sortida.FlushCache()

# És necessari tancar la banda i el ràster de sortida
banda_sortida = None
raster_sortida = None

#=> ESTADÍSTICS

# Càlcul de la freqüència absoluta
unics_mascara, frecuencia_abs = np.unique(matriu_mascara, return_counts=True) #
Genera dues llistes
#print('Valors màscara: ', unics_mascara, '\nFreqüències absolutes: ',
frecuencia_abs)

# Creant llista dels tipus de cobertura de núvols
llista_estats = ['Ennuvolat', 'Serè o poc cobert']
#print('Estat: ', llista_estats)

# Càlcul de les freqüències relatives

if len(unics_mascara) == 2:
    total_ocurrencies = sum(frecuencia_abs)
    frecuencia_rel_nuvol = frecuencia_abs[0]/total_ocurrencies*100
    frecuencia_rel_clar = frecuencia_abs[1]/total_ocurrencies*100
    frecuencia_rel_nuvol = float(Decimal(frecuencia_rel_nuvol)).__round__(1)
    frecuencia_rel_clar = float(Decimal(frecuencia_rel_clar)).__round__(1)

else:
    if unics_mascara[0] == 0:

```

```

        frecuencia_rel_nuvol = 100
        frecuencia_rel_clar = 0.0
    else:
        frecuencia_rel_nuvol = 0.0
        frecuencia_rel_clar = 100
    # Identificant la cobertura de núvols

    #print(f'\nEstat / cobertura del cel: \n\
    #\n                {llista_estats[0]}: {frecuencia_rel_nuvol} % \
    #\n                {llista_estats[1]}: {frecuencia_rel_clar} %\n\n')
    frecuencias_relatives = [frecuencia_rel_nuvol, frecuencia_rel_clar]

    # Diagrama de la coberta de núvols
    #colorins = ['#2B1B17', '#3BB9FF']
    #plt.figure()
    #plt.pie(frecuencia_rel, labels=llista_estats, colors=colorins)
    #plt.title('Estat / cobertura del cel')
    #plt.show()

    # Creant un fitxer txt amb els percents de cobertura
    nom_txt = 'Cobertura_nuvols_MODIS_' + str(any) + '-' + str(any+1)[2:] + '.txt'
    llista_estat_cel_txt = open(directoris_sortida[ind] + '/' + nom_txt, 'a+')
    linia_txt = f'{f} ==> {llista_estats[0]}: {frecuencia_rel_nuvol} %\n'
    llista_estat_cel_txt.write(linia_txt)

llista_estat_cel_txt.close()
print("Procés acabat!")

```

```

# =====
# Estadístiques zonals de reflectàncies per estany
# Automatitza cercant dins de subdirectoris (Tots els estanys alhora)
# IMPORTANT: Comprovar si hi ha la BBDD oculta o no!
# AVÍS: s'ha de canviar la BANDA que es vol analitzar MANUALMENT
# =====

import os
from osgeo import gdal
import numpy as np
import statistics as st
import pandas as pd
import sqlite3
from moduls import eg_eines
from tqdm import tqdm

#####

# Connexió a la BBDD
connexio = sqlite3.connect(r"Database/EstanysGelats_db.sqlite3")

#####

# Dades de directoris i temporada per passar al procés a través de l'injector
directori_entrada = r'..\Dades_sat\MODIS\2000-01\MOD09GQ\10-GQ_25831_ESTANYS_100_30m.tif'
directori_sortida = r'..\Resultats'
inici = 2000
final = 2022
dir_unic_sortida = True
param = [directori_entrada, directori_sortida, inici, final, dir_unic_sortida]
directoris_entrada, directoris_sortida = eg_eines.injector_de_directoris(param)

#####

# IMPORTANT!!!!
banda = 'b1' # s'ha de canviar la BANDA que es vol analitzar MANUALMENT
extensio = '.tif'

# En aquesta llista hi posarem tots els dataframes amb els diaris de cada estany
llista_df_diaris = []
noms_df_diaris = []
# I en aquesta llista hi posarem els dataframes amb les dades generals de cada estany
llista_df_generals = []

```

```

noms_df_generals = []

#####

# Recorrem els directoris principals en busca dels subdirectoris dels estanys
for ind in tqdm(range(len(directoris_entrada))):
    # Llista amb els directoris d'entrada
    subdirectoris_estanys = os.listdir(directoris_entrada[ind])
    #print(subdirectoris_estanys)

#####

# Recorrem cada subdirectori per crear cada llista de fitxers d'entrada
for directori in tqdm(subdirectoris_estanys):
    subdirectori = directoris_entrada[ind] + '/' + directori
    #print(subdirectori)

    fitxers_entrada = os.listdir(subdirectori)
    #print(fitxers_entrada)

    # Calculant la quantitat de píxels que toquen a dins l'estany exloent el
    # nodata exterior a partir de la quantiat mínima de nodata en una sèrie.
    nodata = -28672
    total_pixels_estany = 0
    for indice in range(len(fitxers_entrada)):
        if extensio in fitxers_entrada[indice] and banda in fitxers_entrada[indice]:
            f_raster_entrada = subdirectori + '/' + fitxers_entrada[indice]
            raster_entrada = gdal.Open(f_raster_entrada, gdal.GA_ReadOnly)
            #print(f"\nRaster d'entrada: {f_raster_entrada}\n")
            banda_entrada = raster_entrada.GetRasterBand(1)
            matriu_entrada = banda_entrada.ReadAsArray()
            # Primer convertim la matriu 2D en una matriu 1D i d'aquí a una llista.
            llista_matriu = matriu_entrada.flatten().tolist()
            # Recorrem la llista, descartem el nodata i creem una llista nova sense.
            llista_sense_nodata = []
            for inde in range(len(llibra_matriu)):
                if llista_matriu[inde] != nodata:
                    llista_sense_nodata.append(llibra_matriu[inde])
                    n_pixels_valids = len(llibra_sense_nodata)
                    if n_pixels_valids > total_pixels_estany:
                        total_pixels_estany = n_pixels_valids

```

```

# Recompte de píxels en el ràster o mida de la matriu
total_pixels = matriu_entrada.size # Ens diu la quantitat d'elements d'un array
# El mínim de píxels nodata que pot haver-hi en el ràster per caure fora
# de l'estany
min_pixels_nodata = total_pixels - total_pixels_estany

#print(f'\nProcessant: {fitxers_entrada[indice]}')
#print("\nTotal píxels que cauen a l'estany: ", total_pixels_estany)
#print('Píxels mínims nodata en el ràster: ', min_pixels_nodata)
#print('Total píxels en el ràster: ', total_pixels)

#####

count_dies_nodata = 0
maxim_dies_nodata = 0
maxim_dies_nodata_def = 0
count_index = 1
registres = []

for f in fitxers_entrada:
    i = fitxers_entrada.index(f)
    # s'ha de canviar la BANDA que es vol analitzar MANUALMENT
    if extensio in fitxers_entrada[i] and banda in fitxers_entrada[i]:
        #print(f)

        fitxer_raster_entrada = subdirectori + '/' + fitxers_entrada[i]
        #=> GENERANT LES MATRIUS DELS RÀSTERS D'ENTRADA

        # Primer pas, lectura del ràster com una banda i com un array i la seva
visualització
        raster_entrada = gdal.Open(fitxer_raster_entrada, gdal.GA_ReadOnly)
        banda_entrada = raster_entrada.GetRasterBand(1)
        matriu_entrada = banda_entrada.ReadAsArray()
        #plt.figure()
        #plt.imshow(matriu_entrada) # La funció imshow de pyplot permet visualitzar
matrius
        #plt.title("Ràster d'entrada State QA 1km")
        #print(f"\n\nMatriu del ràster d'entrada {f}:\n\n{matriu_entrada}")

```

```

#=> CALCULANT ESTADÍSTIQUES

# Eliminant els valors no data per fer els càlculs.
# Primer convertim la matriu 2D en una matriu 1D i d'aquí a una llista.
llista_matriu = matriu_entrada.flatten().tolist()

#print(llibra_matriu)
# Recorrem la llista, descartem el nodata i creem una llista nova sense.
llibra_sense_nodata = []
for n in range(len(llibra_matriu)):
    if llista_matriu[n] != nodata:
        llista_sense_nodata.append(llibra_matriu[n])

#print(llibra_sense_nodata)
# Calculant el % de píxels nodata dins l'estany, la varietat i les
# freqüències absolutes de cada valor que es repeteix
valors_unics, frecuencia_abs = np.unique(matriu_entrada, return_counts=True)
frecuencia_abs[0] = frecuencia_abs[0] - min_pixels_nodata # Travessani
nodata 181

frecuencia_abs_2 = frecuencia_abs.flatten().tolist()
valors_unics_2 = valors_unics.flatten().tolist()
valors_unics_2[0] = 'NODATA'

if frecuencia_abs_2[0] > 0:
    total_ocurrencies = sum(frecuencia_abs_2)
    varietat = len(valors_unics_2)
    nodata_estany = frecuencia_abs_2[0] * 100 / total_ocurrencies
else:
    total_ocurrencies = sum(frecuencia_abs_2)
    frecuencia_abs_2.pop(0)
    valors_unics_2.pop(0)
    varietat = len(valors_unics_2)
    nodata_estany = 0.0

# Mesures de tendència central i dispersió
if len(llibra_sense_nodata) > 0:
    mitjana = st.mean(llibra_sense_nodata)
    mediana = st.median(llibra_sense_nodata)
    moda = max(st.multimode(llibra_sense_nodata)) # Si hi ha més d'una moda
retorna el valor més gran
    minim = min(llibra_sense_nodata)
    maxim = max(llibra_sense_nodata)

```

```
rang = maxim - minim
desv_std = st.pstdev(llista_sense_nodata) # Desviació típica poblacional
varianza = st.pvariance(llista_sense_nodata)

else:
    mitjana = np.nan
    mediana = np.nan
    moda = np.nan
    minim = np.nan
    maxim = np.nan
    rang = np.nan
    desv_std = np.nan
    varianza = np.nan

# Comptant el total de dies nodata i el màxim de dies seguits de no data
if nodata_estany == 100:
    count_dies_nodata += 1
    maxim_dies_nodata += 1
else:
    if maxim_dies_nodata > maxim_dies_nodata_def:
        maxim_dies_nodata_def = maxim_dies_nodata
    maxim_dies_nodata = 0

#print(f, ' Dies consecutius: ', maxim_dies_nodata)
#print(fitxers_entrada[i])

# Definint els registres de la taula Pandas

dia = int(fitxers_entrada[i][13:16])
data = fitxers_entrada[i][17:27].replace('.', '-')

registre = [count_index, dia, data, varietat, nodata_estany, mitjana, mediana,
            moda, desv_std, minim, maxim, rang]
registres.append(registre)

count_index += 1

#print(f'Total de dies NODATA: {count_dies_nodata}')
#print(f'Màxim de dies consecutius de NODATA: {maxim_dies_nodata_def}')

#print(directori)
```

```
#####

# Creant la taula de valors amb Pandas
# Definint els camps
camps = ['ID', 'Dia', 'Data', 'Varietat', 'NODATA %', 'Mitjana', 'Mediana', 'Moda',
'Dev. típica',
        'Mínim', 'Màxim', 'Rang']
camps_2 = [ 'Descripció', 'Quantitat']

# Creant els dataframes de Pandas
# Estadístics diaris
taula_diari = pd.DataFrame(registres, columns=camps) # registres és una llista de
l·listes

taula_diari.set_index('ID', inplace=True)
# Es converteix el camp 'Data' a datetime i després es deixa només la data
# i es treu l'hora amb .dt.date, però hi ha una conversió de tipus de
# datetime64[ns] a object (string) però SQLite ho reconeix com a data igualment.
taula_diari['Data'] = pd.to_datetime(taula_diari['Data']).dt.date
#print(taula_estany.dtypes)

# General
taula_general = pd.DataFrame(
    [
        ["Total píxels que cauen a l'estany:", total_píxels_estany],
        ["Píxels mínims NODATA en el ràster:", min_píxels_nodata],
        ["Total píxels en el ràster:", total_píxels],
        ['Total de dies NODATA:', count_dies_nodata],
        ['Màxim de dies consecutius de NODATA:', maxim_dies_nodata_def]],
    columns=camps_2)

# Emmagatzemant dataframes en l·listes
l·lista_df_diaris.append(taula_diari)
l·lista_df_generals.append(taula_general)

# Emmagatzemant els noms del dataframes en l·listes
temporada = directoris_entrada[ind][-47:-40]
nom_df_diari = f'Reflect_MOD_{temporada}_{directori[3:-4]}_diari_{banda}'
nom_df_general = f'Reflect_MOD_{temporada}_{directori[3:-4]}_general_{banda}'
#print(directoris_entrada[ind])

noms_df_diaris.append(nom_df_diari)
noms_df_generals.append(nom_df_general)
```

```
#print('\nDades extreteres de:', nom_df_general)
```

```
#print('\nProcessant:', nom_df_diari)
```

```
#####
```

```
# Exportant a Excel
```

```
#print("\nExportant estadístics a Excel...")
```

```
# Per exportar dues fulles excel es complica i s'ha d'utilitzar la classe ExcelWriter
```

```
# https://pandas.pydata.org/docs/reference/api/pandas.ExcelWriter.html
```

```
nom_sortida = f'{nom_df_diari}.xlsx'
```

```
fitxer_sortida = directoris_sortida[0] + '/Estadistics_Reflect/' + nom_sortida
```

```
with pd.ExcelWriter(fitxer_sortida) as writer:
```

```
    taula_diari.to_excel(writer, startrow=1, sheet_name='Estadístiques diàries')
```

```
    taula_general.to_excel(writer, startrow=1, sheet_name='General', index=False)
```

```
#print(taula_diari)
```

```
#print('\n* He acabat amb el directori:', directori)
```

```
#print('_____')
```

```
#print('\nLlista de dataframes diaris:\n', llista_df_diaris)
```

```
#print('\nLlista de noms dataframes diaris:\n', noms_df_diaris)
```

```
#print('\nLlista de dataframes generals:\n', llista_df_generals, '\n')
```

```
#print('\nLlista de noms dataframes generals:\n', noms_df_generals)
```

```
#####
```

```
#####
```

```
# Creació d'una taula SQLite amb els estadístics
```

```
#print("\nExportant estadístics a la BBDD...\n")
```

```
# Recorrem la llista de dataframes diaris i creem una taula SQLite per cada df
```

```
i = 0
```

```
for df in tqdm(llista_df_diaris):
```

```
    df.to_sql(noms_df_diaris[i], connexio, if_exists="replace")
```

```
    connexio.commit() # Necessari fer el commit perquè desi els canvis cada cop
```

```
    i += 1
```

```
# Recorrem la llista de dataframes generals i creem una taula SQLite per cada df
```

```
i = 0
for df in llista_df_generals:
    df.to_sql(noms_df_generals[i], connexio, if_exists="replace")
    connexio.commit() # Necessari fer el commit perquè desi els canvis cada cop
    i += 1

#print("\nExportació completada!\n")

connexio.close() # Cal tancar sempre la connexió a la BBDD

print("Procés acabat!\n")
```

```

# =====
# Estadístics zonals categòrics de Fmask per estany
# Creació de taules SQLite i Excel
# =====

import rasterio
from rasterio.plot import show
import fiona
from rasterstats import zonal_stats
import os
import pandas as pd
import sqlite3
from moduls import eg_eines
from tqdm import tqdm

#####

# Connexió a la BBDD
connexio = sqlite3.connect(r"Database/EstanysGelats_db.sqlite3")

#####

# NOTA IMPORTANT: Rasterio no reconeix el ràster posant la ruta relativa
# Dades de directoris i temporada per passar al procés a través de l'injector
directori_entrada = r'F:\TSIG_Estanys_Gelats\Dades_sat\Landsat\2015-16/6-
LC08_25831_PNAESM_Fmask_NEU-AIGUA_tif'
directori_sortida = r'F:\TSIG_Estanys_Gelats\Resultats\Estadistics_Fmask'
inici = 2015
final = 2022
dir_unic_sortida = True
param = [directori_entrada, directori_sortida, inici, final, dir_unic_sortida]
directoris_entrada, directoris_sortida = eg_eines.injector_de_directoris(param)

#####

# Es crea la lista de vectors d'entrada
dir_vector = r'F:\TSIG_Estanys_Gelats\Dades_sig\Estanys_PNAESM_5-24_ha\individuals_shp'
fitxers_vector = os.listdir(dir_vector)
#print(fitxers_vector)

# Inicialització del diccionari principal amb els percentatges

```

```

# de coberta per data i per estany
dades_fmask_tots = {}

#####

any = 2015 # Això és pel nom del txt de sortida
count = 1 # Això és pel nom del txt de sortida
# Recorrem la llista amb els directoris d'entrada i els passem per fer el geoprocés
for ind in tqdm(range(len(directoris_entrada))):
    # Llista dels fitxers d'entrada
    os.chdir(directoris_entrada[ind])
    fitxers_entrada = os.listdir(os.getcwd())
    #print(fitxers_entrada)
    #print(len(fitxers_entrada))

    # Part principal, per cada vector es calculen els percentatges de cada data
    for fitxer_v in tqdm(fitxers_vector):
        if '.shp' in fitxer_v:
            #print(fitxer_v)
            vector = fiona.open(dir_vector + '/' + fitxer_v, 'r')
            #print(vector.meta)

            # Inicialització dels diccionaris de diccionaris que contindran les estadístiques
            dades_fmask_estany = {}

            # Recorrem cada raster i creant el diccionari amb els percentatges de cada coberta
            for fitxer_r in fitxers_entrada:
                if '.tif' in fitxer_r:
                    raster = rasterio.open(directoris_entrada[ind] + '/' + fitxer_r)
                    #print(raster.meta)
                    #show(raster)

                    categories = {1: 'NODATA', 2: 'Neu', 3: 'Aigua', 4: 'Altres'}
                    affine = raster.transform # Captura de les coordenades
                    raster_array = raster.read(1)
                    stats = zonal_stats(vector, raster_array, affine=affine, nodata=1,
                                       category_map=categories, categorical=True)
                    #print(f'Zonal_stats: {stats}')

                    # Sumatori de píxels que entren a l'estany
                    for diccionari in stats:
                        valors = diccionari.values()

```

```

total_pixels_estany = sum(valors)
#print("Total píxels a l'estany: ", total_pixels_estany)

# Percentatge de cada coberta
dic_x_data = {}
for key in diccionari:
    valor = diccionari.get(key)
    percent = valor/total_pixels_estany*100
    dic_x_data[key] = percent

data_sense_format = fitxer_r[17:25] #2151015
data_amb_format = data_sense_format[:4] + '-' + data_sense_format[4:6] +
'-' + \
                                data_sense_format[6:8] # 2015-10-15
nom_estany_data = fitxer_v[-8:-4] + '_' + data_amb_format
dades_fmask_estany[nom_estany_data] = dic_x_data

# Introduint cada registre de nou diccionari al diccionari principal
dades_fmask_tots[fitxer_v[-8:-4]] = dades_fmask_estany

#print(f'Diccionari de diccionaris:\n{dades_fmask_tots}')

#####

# Creació de les taules amb els estadístics per estany
for estany in tqdm(dades_fmask_tots):
    # Creant el dataframe amb els camps designats i buits de registres
    # d'aquesta manera les claus dels diccionaris s'emparellaran
    camps = ['ID', 'Codi_estany', 'Data', 'Neu', 'Aigua', 'Altres']
    taula_estany = pd.DataFrame(columns=camps)
    taula_estany.set_index('ID', inplace=True)

    llista_dic = []
    for estany_data in dades_fmask_tots[estany]:
        dades_x_data = dades_fmask_tots[estany][estany_data] # Un registre
        dades_x_data['Codi_estany'] = estany_data[:4]
        dades_x_data['Data'] = estany_data[5:] # S'afegeix la data al registre
        # Els registres es cosntrueixen a partir d'una llista de diccionaris.
        llista_dic.append(dades_x_data)

# Es crea un diccionari temporal per concatenar després

```

```

nova_taula = pd.DataFrame(llista_dic)

taula_estany = pd.concat([taula_estany, nova_taula])
taula_estany = taula_estany.fillna(0)
taula_estany = taula_estany.sort_values(by='Data')
# Es converteix el camp 'Data' a datetime i després es deixa només la data
# i es treu l'hora amb .dt.date, però hi ha una conversió de tipus de
# datetime64[ns] a object (string) però SQLite ho reconeix com a data igualment.
taula_estany['Data'] = pd.to_datetime(taula_estany['Data']).dt.date
#print(taula_estany.dtypes)

nom_taula = 'Fmask_' + str(any) + '-' + str(any+1)[2:] + '_' + estany_data[:4]

#print(f'Pujant la taula {nom_taula} a la BBDD...')
#print(llista_dic)
#print(taula_estany)

#####

# Pujant els dataframes a SQLite
taula_estany.to_sql(nom_taula, connexio, if_exists="replace")
connexio.commit()

#####

# Creant Excels
fitxer_sortida = directori_sortida + '/' + nom_taula + '.xlsx'

with pd.ExcelWriter(fitxer_sortida) as writer:
    taula_estany.to_excel(writer, startrow=1, sheet_name='Fmask')

#print(f'Taula creada: {nom_taula}')
any += 1

#####

connexio.close() # Cal tancar sempre la connexió a la BBDD
print("Procés acabat!\n")

```



```

# =====
# Anàlisi dels estadístics de Fmask
# Recerca de la primera data amb l'estany congelat
# =====

#####

import pandas as pd
import sqlite3

#####

# Connexió a la BBDD
connexio = sqlite3.connect(r"Database/EstanysGelats_db.sqlite3")
cursor = connexio.cursor()

# Obtenció del nom de les taules
consulta_sql = "SELECT name FROM sqlite_master WHERE type='table'"
cursor.execute(consulta_sql)
noms_taulas = cursor.fetchall() # L'objecte conté una llista de tuples amb un sol element (nom)
#print(noms_taulas)

# Temporades per fer l'anàlisi

temporades = ['2015-16', '2016-17', '2017-18', '2018-19', '2019-20', '2020-21', '2021-22']

for temporada in temporades:

    # Llistes que contenen els estanys que es congelen almenys en un X% i els que no
    estanys_congelats = []
    estanys_no_congelats = []
    # Llista que conté els registres de la nova taula amb les dates
        # en què cada estany està congelat i els seus camps
    registres_taula_conge = []
    camps = ['ID', 'Codi_estany', 'Dia_fi_aigua_Fmask', 'Dia_1_gelat_Fmask', 'Dia_n_gelat_Fmask']

    print('-----')
    ---\n')

    count_neu = 0 # Aquest variable donarà el número d'estanys que estan congelats segons el
    llindar > 80% i s'utilitzarà com a id

    count_aigua = 0 # Número d'estanys en els quals es detecta el llindar > 80% d'aigua abans de
    congelar-se

```

```

llindar_percent = 80

for tupla in noms_taules:
    for nom_taula in tupla:
        # IMPORTANT!!! Selecció per Temporada i Fmask
        if 'Fmask_' + temporada in nom_taula:

            #####

#####

        # Selecció dels registres amb més d'un X% de neu
        consulta_sql = (f"SELECT * FROM [{nom_taula}] WHERE Neu >= {llindar_percent}")
        cursor.execute(consulta_sql)
        dades = cursor.fetchall() # L'objecte conté una llista de tuples que són els
registres

        print(f"Llista de tuples amb els registres de {nom_taula} amb més d'un
{llindar_percent}% de neu:\n{dades}")

        # Emmagatzemem les dates en una llista
        dates_gelat = [] # Llista amb dates de congelació

        for registre in dades:
            dates_gelat.append(registre[2]) # S'emmagatzemen les dates que està l'estany
congelat (llindar > 80%)

        dates_gelat.sort()
        print(f'\nDates de {nom_taula} congelat:\n{dates_gelat}\n')

        if len(dates_gelat) == 0:
            estanys_no_congelats.append(nom_taula)
        else:
            count_neu += 1
            estanys_congelats.append(nom_taula)

        # Dades de congelació
        codi_estany = nom_taula[-4:]
        dia_1_conge = dates_gelat[0] # Primer dia congelat perquè la llista amb dates
de congelació està ordenada
        dia_n_conge = dates_gelat[-1] # El darrer dia congelat abans del 31 de gener

            #####

#####

```

```

# Dades final aigua
# Selecció dels registres amb més d'un X% d'aigua
consulta_sql_2 = (f"SELECT * FROM [{nom_taula}] WHERE Aigua >=
{llindar_percent}")
cursor.execute(consulta_sql_2)
dades_2 = cursor.fetchall() # L'objecte conté una llista de tuples que són
els registres

print(f"Llista de tuples amb els registres de {nom_taula} amb més d'un
{llindar_percent}% d'aigua:\n{dades_2}")

dates_aigua = []
for registre in dades_2:
    dates_aigua.append(registre[2])
dates_aigua.sort()
print(f"\nTotes les dates amb més d'un {llindar_percent}% d'aigua
{nom_taula}:\n{dates_aigua}\n")

# Es redueix la llista de dates agafant només les anteriors a la congelació
dates_aigua_reduida = []
for data in dates_aigua:
    if data < dia_1_conge:
        dates_aigua_reduida.append(data)
print(f'Llista de dates reduïda amb aigua:\n{dates_aigua_reduida}\n')

if len(dates_aigua_reduida) == 0:
    dia_fi_aigua = temporada[:4] + '-10-15' # Correspon a la data inicial de
l'estudi al no poder-ne estimar una altra
else:
    count_aigua += 1
    dia_fi_aigua = dates_aigua_reduida[-1]

#####

#####

# count_neu s'utilitza com a id
nou_registre = [count_neu, codi_estany, dia_fi_aigua, dia_1_conge,
dia_n_conge]

print(f'Nou registre per la nova taula: {nou_registre}')
registres_taula_conge.append(nou_registre)

```

```

        #ultim_dia_desconge =

        print('-----\n')

    print('RESUM:')
    print(f"\nEstanys que es congelen més d'un {llindar_percent}% segons
Fmask:\n{estanys_congelats}\n")
    print(f"Estanys que es no arriben al {llindar_percent}% de congelació segons
Fmask:\n{estanys_no_congelats}\n')

# Obtenint els nous registres amb les dates de congelacio

taula_conge = pd.DataFrame(registres_taula_conge, columns=camps)
taula_conge.set_index('ID', inplace=True)
print(f'Taula de sortida\n{taula_conge}\n')

print(f"Número d'estanys en els quals es detecta més d'un {llindar_percent}% de neu/gel:
{count_neu}")
print(f"Número d'estanys en els quals es detecta més d'un {llindar_percent}% d'aigua abans de
congelar-se: {count_aigua}\n")

#####

# Creació de la taula SQLite
nom_taula_sortida = 'RESULTATS_Fmask_' + temporada
taula_conge.to_sql(nom_taula_sortida, connexio, if_exists="replace")
connexio.commit()

#####

# Creant la taula Excel
directori_sortida = r'F:\TSIG_Estanys_Gelats\Resultats\Estadistics_Fmask/'

```

```
fitxer_sortida = directori_sortida + nom_taula_sortida + '.xlsx'
```

```
with pd.ExcelWriter(fitxer_sortida) as writer:
```

```
    taula_conge.to_excel(writer, startrow=1, sheet_name='Fmask_GLOBAL')
```

```
#####
```

```
cursor.close()
```

```
connexio.close()
```

```

# =====
# Estudi dels valors atípics de reflectància a partir de la data de congelació Fmask.
# Obtenció dels mínims de reflectància 2015-21
# =====

import statistics as st
from matplotlib.pyplot import title
import pandas as pd
import sqlite3
import numpy as np
import statistics as st
from moduls import eg_diccionaris
import plotly.graph_objects as go

#####

# Connexió a la BBDD
connexio = sqlite3.connect(r"Database/EstanysGelats_db.sqlite3")
cursor = connexio.cursor()

# Obtenció del nom de les taules des de la BBDD
consulta_sql = "SELECT name FROM sqlite_master WHERE type='table'"
cursor.execute(consulta_sql)
noms_taulas = cursor.fetchall() # L'objecte conté una llista de tuples amb un sol element (nom)
#print(noms_taulas)

#####

# Llista d'estanys
llista_estanys = ['BERG', 'CABI', 'CAPP', 'CAST', 'CONT', 'DELL', 'EGSA', 'GEMB',
                  'GEMD', 'GERB', 'LLEB', 'LLON', 'MAIN', 'MANG', 'MONG', 'MORR',
                  'MORT', 'NECA', 'NEGR', 'PESO', 'RATC', 'RED2', 'REDO', 'SABO',
                  'TRAV', 'TUME']

# Seleccionar banda
banda = 'b1'

# Temporades per fer l'anàlisi
temporades = ['2015-16', '2016-17', '2017-18', '2018-19', '2019-20', '2020-21', '2021-22']

separador = '\n-----\n'

```

```
#####

dic_x_temporada = {}
dic_min_temporadas = {}

for temporada in temporadas:
    text_1 = f'\n** ANÀlisi DE VALORS VÀLIDS I OUTLIERS DE REFLECTÀNCIA A PARTIR DE LA DATA DE
DETECCIÓ DE GEL DE LA TEMPORADA {temporada} {banda} **\n'
    print(text_1)
    print(separador)

    # Obtenció de les dades Fmask des de la BBDD
    nom_taula_fmask = 'RESULTATS_Fmask_' + temporada
    consulta_sql_fmask = (f"SELECT Codi_estany, Dia_1_gelat_Fmask FROM [{nom_taula_fmask}]")
    cursor.execute(consulta_sql_fmask)
    dades_fmask = cursor.fetchall() # L'objecte conté una llista de tuples que són els registres
    #print(f"\nLlista de tuples amb els registres de {nom_taula_fmask}':\n{dades_fmask}\n")

    # Desempaquetem les tuples i les passem a un diccionari on les claus són els codis dels
    estanys
    dic_fmask = {}
    for tupla in dades_fmask:
        clau_estany, valor_data = tupla
        dic_fmask[clau_estany] = valor_data

    text_2 = f"\nDiccionari {nom_taula_fmask} amb la primera data d'observació d'estanys
    gelats':\n{dic_fmask}"
    print(text_2)

    #print(dic_fmask['REDO'])

    # De la BBDD a DataFrame
    camps = ['Codi_estany', 'Dia_1_gelat_Fmask']
    df_fmask = pd.DataFrame(dades_fmask, columns=camps)
    #print(df_fmask)

    print(separador)

    dic_min_temporada = {}
    dic_x_estany_reflect_gelat = {}
    dic_x_estany_no_outliers = {}
    text_temporada = []
```

```

for estany in llista_estanys:
    if estany in dic_fmask:
        nom_taula_reflect = f'Reflect_MOD_{temporada}_{estany}_diari_{banda}'
        print(nom_taula_reflect)
        consulta_sql_reflect = (f"SELECT Data, Mitjana FROM [{nom_taula_reflect}] WHERE
Mitjana > 0")
        cursor.execute(consulta_sql_reflect)
        dades_reflect = cursor.fetchall()
        #print(dades_reflect)
        data_gelat = f"\nData en què QA_PIXEL/Fmask detecta l'estany gelat:
{dic_fmask[estany]}"
        print(data_gelat)
        # Desempaquetem les tuples amb la data i la reflectància mitjana i la passem a
diccionari

        dicc_reflect = {}
        for tupla in dades_reflect:
            clau_data, valor_reflect = tupla
            dicc_reflect[clau_data] = valor_reflect
        #print(dicc_reflect )

        # Filtrem per la data de congelació Fmask
        dic_reflect_gelat = {}
        for clau in dicc_reflect:
            if clau >= dic_fmask[estany]:
                dic_reflect_gelat[clau] = dicc_reflect[clau]
        #print(dic_reflect_gelat)

        reflect_gelat = []
        for clau in dic_reflect_gelat:
            reflect_gelat.append(dic_reflect_gelat[clau])
        dic_x_estany_reflect_gelat[estany] = reflect_gelat

        reflect_gelat.sort()
        #print(reflect_gelat)

        # Càlcul dels llindars pels valors atípics
        quartils = st.quantiles(reflect_gelat, n=4)
        q1 = quartils[0]
        q2 = quartils[1]
        q3 = quartils[2]

```



```
iqr = q3-q1
limit_superior = q3 + 1.5 * iqr
limit_inferior = q1 - 1.5 * iqr

text_4 = f'Màx: {max(reflect_gelat)}'
print(text_4)
text_5 = f'Límit superior: {limit_superior}'
print(text_5)
text_6 = f'Q3: {q3}'
print(text_6)
text_7 = f'Q1: {q1}'
print(text_7)
text_3 = f'Rang interquartílic: {iqr}'
print(text_3)
text_8 = f'Límit inferior: {limit_inferior}'
print(text_8)
text_9 = f'Mín: {min(reflect_gelat)}'
print(text_9)

# Càlcul valors vàlids
valors_valids = [valor for valor in reflect_gelat if valor <= limit_superior and
valor >= limit_inferior]

# Càlcul valors atípics
valors_atipics = [valor for valor in reflect_gelat if valor not in valors_valids]

dic_x_estany_no_outliers[estany] = [valors_valids, valors_atipics]

text_10 = f'\nValors atípics\n{estany} {temporada}: {valors_atipics}'
print(text_10)
text_11 = f'\nValors vàlids\n{estany} {temporada}: {valors_valids}'
print(text_11)

text_12 = f'\nRESULTAT (Valor mínim de la mitjana de reflectàncies vàlides):
{min(valors_valids)}\n'
print(text_12)

print(separador)

text_estany = [nom_taula_reflect, data_gelat, text_4, text_5, text_6, text_7,
               text_3, text_8, text_9, text_10, text_11, text_12, separador]
text_temporada.append(text_estany)
```

```

# Diccionari amb les dades dels mínims de reflectància d'una sola temporada
dic_min_temporada[estany] = min(valors_valids)

# Desem les dades en un diccionari de l'estil: {'2015-16': {'TRAV': [], 'TUME': []}}
dic_x_temporada[temporada] = dic_x_estany_no_outliers
# Diccionari amb les dades dels mínims de reflectància per totes les temporades
dic_min_temporadas[temporada] = dic_min_temporada

#####

# Escriptura de l'informe
fitxer_txt = r'F:\TSIG_Estanys_Gelats\Resultats\Estudi_Atípics_Min/' +
f'Anàlisi_Valors_Valids_Atípics_Reflect_{temporada}_{banda}.txt'
with open(fitxer_txt, 'w') as informe_txt:
    informe_txt.write(text_1 + '\n' + text_2 + '\n' + separador + '\n')
    for llista in text_temporada:
        for linia in llista:
            informe_txt.write(linia + '\n')

#####

# Box plots
titol = f"Distribució dels valors de reflectàncies mitjanes (MODIS {banda}) a partir de la
congelació completa detectada per QA_PIXEL/Fmask {temporada}"
fig = go.Figure()
colors = ['limegreen', 'orange', 'mediumpurple', 'DeepSkyBlue', 'black',
          'FireBrick', 'MediumSeaGreen', 'violet', 'olive', 'blue',
          'Tomato', 'magenta', 'Goldenrod', 'red', 'DarkKhaki',
          'forestgreen', 'darkturquoise', 'darkslategrey', 'indigo',
          'darkgrey', 'indianred',
          'LightSalmon', 'darkgreen', 'royalblue',
          'darkviolet',
          ]

i = 0
for estany in dic_x_estany_reflect_gelat:
    fig.add_trace(go.Box(y=dic_x_estany_reflect_gelat[estany],
                        name=estany,
                        marker_color = colors[i]
                        ),

```

```

        ) # Si es volen horitzontals només cal dir que les dades van a l'eix x
    i += 1
fig.update_layout(title=dict(text=titol,
                             x=0.5, # valors de 0 a 1 entre l'esquerra i la dreta
                             font=dict(size=20)),
                  font_family="Times New Roman",
                  height=650,
                  width=1600,
                  yaxis=dict(range=['0', '100'],
                             title='Reflectància (%)'),
                  xaxis=dict(title='Estany')
                )

#fig.show()
dir_grafics = r'F:\TSIG_Estanys_Gelats\Resultats\Grafics_BoxPlot_Reflect/'
fig.write_image(dir_grafics + f"Boxplots_Reflect_{temporada}_{banda}.png")
fig.write_html(dir_grafics + f"Boxplots_Reflect_{temporada}_{banda}.html")

#print('\nDiccionari amb llistes de reflectància per estany:\n', dic_x_estany_reflect_gelat)
#print('\nDiccionari amb llistes de reflectància per estany sense outliers:\n',
dic_x_estany_no_outliers)

#print(dic_min_temporadas)

#####

# Construcció del dataframe amb les dades dels mínims per cada temporada
camps = ['2015-16', '2016-17', '2017-18', '2018-19', '2019-20', '2020-21', '2021-22']
df_min = pd.DataFrame(dic_min_temporadas, columns=camps)
df_min.index.name = 'Codi_estany'
df_min.sort_index(inplace=True)

# Calculant el número de temporades sense valors de reflectància
nuls = df_min.iloc[:, :6].isnull().sum(axis=1)
#print(nuls)
df_min['Nuls_15-21'] = nuls # Creant la columna amb el count de nuls

# Creant columnes amb estadístics per estany de 2015 a 2021
df_min['Min_15-21'] = np.where(df_min['Nuls_15-21'] <= 3, df_min.iloc[:, :6].min(axis=1),

```

```

        np.nan) # Amb iloc seleccionem les columnes (dreta de la coma)
                # per fer l'operació
df_min['Max_15-21'] = np.where(df_min['Nuls_15-21'] <= 3, df_min.iloc[0:, :6].max(axis=1),
                               np.nan)
df_min['Mit_15-21'] = np.where(df_min['Nuls_15-21'] <= 3, df_min.iloc[0:, :6].mean(axis=1),
                               np.nan)

#print(df_min)

#####

fitxer_sortida = r'F:\TSIG_Estanys_Gelats\Resultats\Estudi_Atípics_Min/' +
f'RESULTATS_Minims_Reflect_2015-21_{banda}.xlsx'
with pd.ExcelWriter(fitxer_sortida) as writer:
    df_min.to_excel(writer, startrow=1, sheet_name='Mínims')

#####

# Creació de la taula SQLite
nom_taula_sortida = f'RESULTATS_Minims_Reflect_2015-21_{banda}'
df_min.to_sql(nom_taula_sortida, connexio, if_exists="replace")
connexio.commit()

#####

cursor.close()
connexio.close()

print('\nProcés finalitzat!\n')

```

```

# =====
# Detecció de la data de congelació a partir dels mínims de la reflectància mitjana
# per temporada i per estany
# =====

import pandas as pd
import sqlite3
from datetime import datetime, timedelta

#####

# Connexió a la BBDD
connexio = sqlite3.connect(r"Database/EstanysGelats_db.sqlite3")
cursor = connexio.cursor()

# Obtenció del nom de les taules des de la BBDD
consulta_sql = "SELECT name FROM sqlite_master WHERE type='table'"
cursor.execute(consulta_sql)
noms_taulas = cursor.fetchall() # L'objecte conté una llista de tuples amb un sol element (nom)
#print(noms_taulas)

#####

# Llista d'estanys
llista_estanys = ['BERG', 'CABI', 'CAPP', 'CAST', 'CONT', 'DELL', 'EGSA', 'GEMB',
                  'GEMD', 'GERB', 'LLEB', 'LLON', 'MAIN', 'MANG', 'MONG', 'MORR',
                  'MORT', 'NECA', 'NEGR', 'PESO', 'RATC', 'RED2', 'REDO', 'SABO',
                  'TRAV', 'TUME']

# Selecció de banda
banda = 'b1'

# Temporades per fer l'anàlisi
temporades = ['2000-01', '2001-02', '2002-03', '2003-04', '2004-05', '2005-06', '2006-07', '2007-08',
              '2008-09', '2009-10', '2010-11', '2011-12', '2012-13', '2013-14', '2014-15',
              '2015-16', '2016-17', '2017-18', '2018-19', '2019-20', '2020-21', '2021-22']

#####

# Obtenció de les dades DELS Mínims 2015-21 de la BBDD
nom_taula_min = f'RESULTATS_Minims_Reflect_2015-21_{banda}'

```

```

consulta_sql_min = (f"SELECT Codi_estany, [Min_15-21], [Max_15-21], [Mit_15-21] FROM
[{nom_taula_min}]"
cursor.execute(consulta_sql_min)
dades_min = cursor.fetchall() # L'objecte conté una llista de tuples que són els registres
#print(f"\nllista de tuples amb els registres de {nom_taula_min}':\n{dades_min}\n")

# Desempaquetem les tuples i les passem a un diccionari on les claus són els codis dels estanys
dic_min = {}
for tupla in dades_min:
    #print(tupla)
    dic_min[tupla[0]] = [tupla[1], tupla[2], tupla[3]]

text_2 = f"\nDiccionari {nom_taula_min} amb el mínim, el màxim i la mitjana dels mínims per
estany':\n{dic_min}\n"
print(text_2)

#####

dic_data_global = {}
dic_valor_global = {}

for temporada in temporades:
    text_temporada = []

    text_1 = f'\n** DETECCIÓ DE LA DATA DE CONGELACIÓ SEGONS LA REFLECTÀNCIA MODIS {temporada}
{banda} **\n'
    print(text_1)

    dic_data_temporada = {}
    dic_valor_temporada = {}

    for estany in llista_estanys:
        text_estany = []
        if dic_min[estany][0] is not None: # Per descartar els estanys amb valors nuls
            nom_taula_reflect = f'Reflect_MOD_{temporada}_{estany}_diari_{banda}'
            text_estany.append(nom_taula_reflect)
            print('\n\n')
            print(nom_taula_reflect, '\n')

```

```

        consulta_sql_reflect = (f"SELECT Data, Mitjana, [NODATA %] FROM
[{nom_taula_reflect}]"")
        cursor.execute(consulta_sql_reflect)
        dades_reflect = cursor.fetchall()
        #print(dades_reflect)
        # Desempaquetem les tuples amb la data i la reflectància mitjana i la passem a
diccionari
        text_22 = f'Mínim dels mínims: {dic_min[estany][0]}'
        text_estany.append(text_22)
        print(text_22)
        text_3 = f'Màxim dels mínims: {dic_min[estany][1]}'
        text_estany.append(text_3)
        print(text_3)
        text_4 = f'Mitjana dels mínims: {dic_min[estany][2]}\n'
        text_estany.append(text_4)
        print(text_4)

        data_congelacio = []
        count_atipic = 0

        # Es recorren els valors de reflectància en dos temps, primer a la cerca de la
mitjana dels mínims,
        # i a partir d'aquí una cerca en paral·lel dels 10 dies comptant el dia 1.
        # L'algorisme sinó considera bona la data avaluada torna enrera per seguir la següent
data després de
        # la data emmagatzemada
        for i in range(len(dades_reflect)):
            if dades_reflect[i][1] is not None: # Per descartar els estanys amb valors nuls
                text_5 = f'Data emmagatzemada: {data_congelacio}'
                text_estany.append(text_5)
                print(text_5)
                text_6 = f'Observació: {dades_reflect[i]}'
                text_estany.append(text_6)
                print(text_6)
                separador = '-----'
                text_estany.append(separador)
                print(separador)

            if dades_reflect[i][1] >= dic_min[estany][2] and dades_reflect[i][2] < 10 and
len(data_congelacio) == 0:
                text_7 = '***\nReflectància igual o superior a la mitjana dels mínims, es
desarà.'

```

```

text_estany.append(text_7)
print(text_7)
data_congelacio.append(dades_reflect[i])
text_7_2 = "S'inicia l'avaluació de les reflectàncies durant 10 dies més
per validar la data de congelació ara emmagatzemada:"
text_estany.append(text_7_2)
print(text_7_2)

count_max = 0
count_atipic = 0
numero_observacions = len(dades_reflect)
obs_restants = numero_observacions - i

if obs_restants >= 10:
    for n in range(i, i+10):
        text_13 = '-----'
        text_estany.append(text_13)
        print(text_13)
        text_5 = f'Data emmagatzemada: {data_congelacio}'
        text_estany.append(text_5)
        print(text_5)
        text_8 = f'Observació: {dades_reflect[n]}'
        text_estany.append(text_8)
        print(text_8)

        if dades_reflect[n][1] is not None:
            if dades_reflect[n][1] >= dic_min[estany][1]:
                count_max += 1
                text_9 = "Reflectància igual o superior al màxim dels
mínims"

                text_estany.append(text_9)
                print(text_9)

            elif dades_reflect[n][1] >= dic_min[estany][2]:
                text_10 = 'Reflectància igual o superior a la mitjana
dels mínims'

                text_estany.append(text_10)
                print(text_10)

            elif dades_reflect[n][1] >= dic_min[estany][0]:
                text_10 = 'Reflectància igual o superior al mínim dels
mínims'

                text_estany.append(text_10)

```



```

        print(text_10)

        elif dades_reflect[n][1] < dic_min[estany][0] and
count_atipic == 0:

            count_atipic += 1
            text_11 = 'Reflectància inferior al mínim dels mínims
per primera vegada, es deixa passar.'
            text_estany.append(text_11)
            print(text_11)

        elif dades_reflect[n][1] < dic_min[estany][0] and
count_atipic == 1:

            data_congelacio.pop()
            count_atipic = 0
            text_12 = 'Reflectància inferior al mínim dels mínims per
segona vegada, així que es torna a començar.'
            text_estany.append(text_12)
            print(text_12)
            break

        if count_max > 0 and len(data_congelacio) == 1:
            text_13 = "***\nS'han superat 10 dies per sobre del mínim dels
mínims, i amb almenys un màxim. Es dona per bona la data de congelació."
            text_estany.append(text_13)
            print(text_13)
            break

        else:
            text_14 = '\n***\nNo compleix els criteris de congelació, no hi
ha cap màxim dels mínims. Es torna a començar.\n'
            text_estany.append(text_14)
            print(text_14)
            if len(data_congelacio) > 0:
                data_congelacio.pop()

        else:
            text_15 = f'Ja no queden dates suficients per analitzar. No es pot
establir la data de congelació.'
            text_estany.append(text_15)
            print(text_15)
            #data_congelacio.pop() # Si no es vol que agafi per defecte l'última
data emmagatzemada s'ha d'activar

```

```

text_14 = f'\nData de congelació: {data_congelacio}'
text_estany.append(text_14)
print(text_14)
text_15 = '\n-----\n\n'
text_estany.append(text_15)
print(text_15)

# S'afegeix les dades de cada estany al diccionari de la temporada
if len(data_congelacio) == 1: # S'ha de fer la comprovació perquè si està buida
retorna fora de rang
    dic_data_temporada[estany] = data_congelacio[0][0]
    dic_valor_temporada[estany] = data_congelacio[0][1]

text_temporada.append(text_estany)

dic_data_global[temporada] = dic_data_temporada
dic_valor_global[temporada] = dic_valor_temporada

#####

separador = '-----\n'
# Escriptura de l'informe
fitxer_txt = r'F:\TSIG_Estanys_Gelats\Resultats\Deteccio_congelacio-2/' +
f'Informe_algoris_detecc_automat_congelacio_{temporada}_{banda}.txt'
with open(fitxer_txt, 'w') as informe_txt:
    informe_txt.write(text_1 + '\n' + text_2 + '\n' + separador + '\n')
    for llista in text_temporada:
        for linia in llista:
            informe_txt.write(linia + '\n')

#####

#print(dic_global)

#####

# Creació del dataframe amb les dates de congelació per estany i temporada
df_data = pd.DataFrame(dic_data_global, columns=temporades)

```

```

df_data.index.name = 'Codi_estany'
df_data.sort_index(inplace=True)
#print(df_data)

# Creació del dataframe amb els valors de reflectància de congelació per estany i temporada
df_valor = pd.DataFrame(dic_valor_global, columns=temporades)
df_valor.index.name = 'Codi_estany'
df_valor.sort_index(inplace=True)
#print(df_valor)

#####

# Creació dels fitxers Excels amb les taules de data de congelació i valor de reflectància
fitxer_sortida = r'F:\TSIG_Estanys_Gelats\Resultats\Deteccio_congelacio-2/' +
f'RESULTATS_Deteccio_Data_Congelacio_2000-22_{banda}.xlsx'
with pd.ExcelWriter(fitxer_sortida) as writer:
    df_data.to_excel(writer,startrow=1, sheet_name='Data')

fitxer_sortida = r'F:\TSIG_Estanys_Gelats\Resultats\Deteccio_congelacio-2/' +
f'RESULTATS_Deteccio_Valor_Reflect_Congelacio_2000-22_{banda}.xlsx'
with pd.ExcelWriter(fitxer_sortida) as writer:
    df_valor.to_excel(writer,startrow=1, sheet_name='Valor_Reflect')

#####

# Creació de les taules SQLite
nom_taula_sortida = f'RESULTATS_Deteccio_Data_Congelacio_2000-22_{banda}'
df_data.to_sql(nom_taula_sortida, connexio, if_exists="replace")
connexio.commit()

nom_taula_sortida = f'RESULTATS_Deteccio_Valor_Reflect_Congelacio_2000-22_{banda}'
df_valor.to_sql(nom_taula_sortida, connexio, if_exists="replace")
connexio.commit()

#####

cursor.close()
connexio.close()

print('\nProcés finalitzat!\n')

```