

Jornada  **LabFerrer** 03 de juny de 2016

*Validació de dades teletransportades en camp.
Aplicacions agrícoles i hidrogeològiques*

Validació de la radiometria de dades de sensors aeroportats i satel·litaris a partir d'espectroradiometria de camp.

Xavier PONS¹, Joan-Cristian PADRÓ¹

Presentació en part basada en els treballs realitzats conjuntament amb:



G. MORÉ¹, C. CEA¹, P. SERRA¹, M. MIRA¹, O. GONZÁLEZ¹, A. ZABALA¹,
¹ Grup de recerca GRUMETS, Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)
 F. PÉREZ², A. TARDÀ², R. ALAMÚS², V. PALÀ² y A. LÓPEZ²
² Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC), Barcelona

xavier.pons@uab.cat

Índex

- Introducció
- Objectius
- Àrees d'estudi
- Materials
 - Instruments
 - Mostres de camp
 - Imatges aeroportades
 - Imatges satel·litàries
- Metodologia
- Alguns resultats
- Conclusions

 Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016 2  

1. Introducció

Contextualització dels treballs

- Necessitat de les **correccions radiomètriques** en **sensors remots** embarcats en plataformes **aèries** (avions, drons, etc) o **satel·litàries**.
- Estudis **BigData**:
 - Tota la sèrie **Landsat** USGS (Internet) + ESA (conveni) **sobre la Península Ibèrica**.
 - Tota la sèrie **climàtica ibèrica** des de 1950
 - **MDE lidar** peninsular
 - Abordat des del **MiraMon amb paral·lelització, HPC, ...**
 - ... però que precisen **dades altament coherents**



Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

3



1. Introducció

Contextualització dels treballs (cont.)

- Contribució publicada el **2014** al *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*:
 - **Pons, Pesquer, Cristóbal, González-Guerrero** **Automatic and improved radiometric correction of Landsat imagery using reference values from MODIS surface reflectance images**
 vàlida per a:
 - Superfícies pseudoinvariants de referència
 - **Dades de camp del moment de pas del sensor remot.**
 - Avantatge: Major precisió espectral i radiomètrica.
 - Inconvenient: Com fer una mesura comparable?



Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

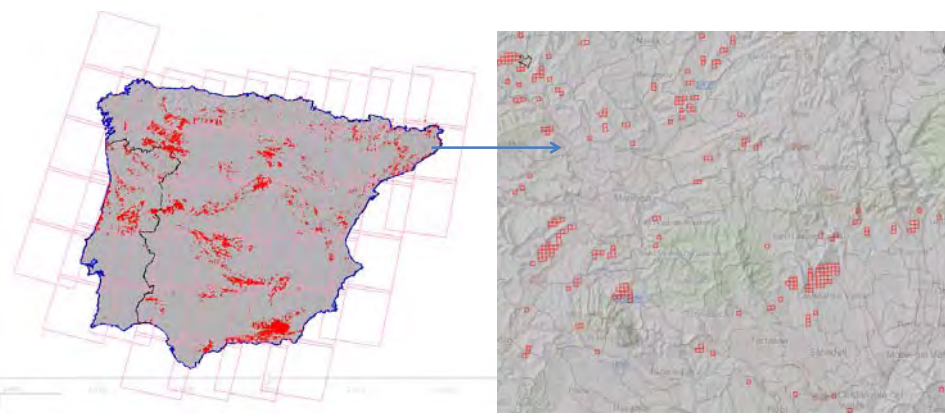
4




1. Introducció

Distribució de les àrees pseudoinvariants a la Península Ibèrica (anàlisi geostatística de tota la sèrie MODIS)



Exemple d'àrees pseudoinvariants a la Catalunya Central





Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

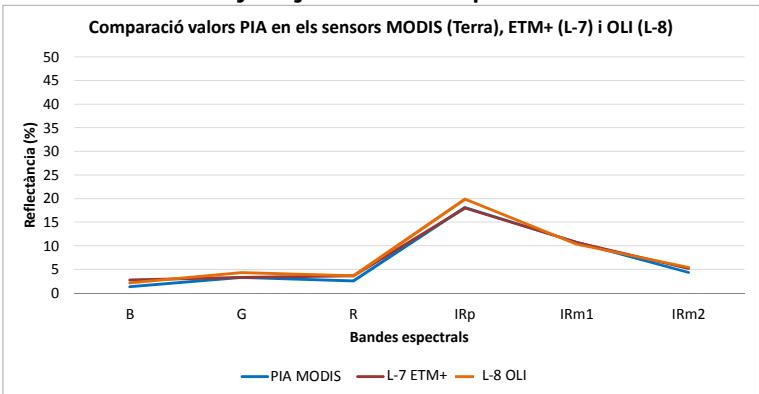
5

1. Introducció

Avaluació de la correcció radiomètrica d'imatges satel·litàries mitjançant àrees pseudoinvariants:

Comparació valors PIA en els sensors MODIS (Terra), ETM+ (L-7) i OLI (L-8)



| | B | G | R | IRp | IRoc1 | IRoc2 |
|-----------|------|------|------|-------|-------|-------|
| PIA MODIS | 1.34 | 3.28 | 2.53 | 18.16 | 10.74 | 4.41 |
| L-7 ETM+ | 2.75 | 3.29 | 3.65 | 17.98 | 10.77 | 5.22 |
| L-8 OLI | 2.17 | 4.30 | 3.61 | 19.87 | 10.36 | 5.47 |

1. Introducció

- **Espectroradiometria de camp:** Tècnica utilitzada per, p.ex., mesurar la reflectància de diferents cobertes, generalment sota determinades condicions d'il·luminació solar.
- **Aplicacions:** P. ex., calibratge de sensors aeroportats i satel·litaris.
- **Problemàtica:**
 - “Manuals d'ús” dels espectroradiòmetres normalment amb falta de detalls.
 - “Articles científics” amb una descripció imprecisa de la metodologia a aplicar en el camp.
- El coneixement del sensor, i especialment de la seva **sensibilitat en tot el rang espectral** es essencial para optimitzar el seu ús, especialment quan el nombre de paràmetres configurables per l'usuari es elevat.



Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

7



2. Objectius

1. Establir un **protocol / guia de bones practiques** per **obtenir mesures espectrals de màxima qualitat amb un espectroradiòmetre de camp, com ara l'Ocean Optics USB2000+**, sensible en les regions **visible (VIS)** i **infraroig proper (IRp)**, o el **NIRQuest 256-2.5**, sensible en les regions **IRp** i **infraroig d'ona curta (IRoc)**.
2. **Utilització simultània de l'espectroradiòmetre amb:**
 - **dos sensors aeroportats**, el CASI-550 i l'AISA Eagle II,
 - **dos sensors satel·litaris**, l'OLI del Landsat-8 i l'MSI del Sentinel-2, comparant els resultats.



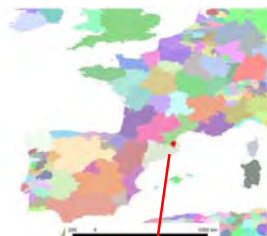
Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

8



3. Àrees d'estudi

Cas aeroportat: Llac de Banyoles i el seu entorn



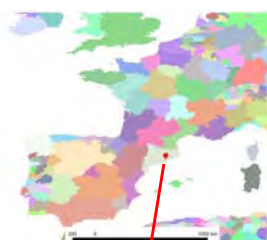
Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

9



3. Àrees d'estudi

Cas satel·litari: Universitat Autònoma de Barcelona



Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

10



4. Materials

4. Materials

- **Instruments:** *in situ*, aeroportats i satel·litaris
- **Mostres de camp**
- **Imatges aeroportades**
- **Imatges satel·litàries**



Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

11

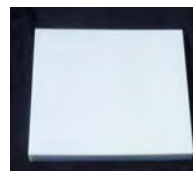


4. Materials : INSTRUMENTS

Espectroradiòmetre exemple (Ocean Optics USB2000+)

(reflectàncies del visible a l'infraroig proper)

| | |
|---------------------------------------|---|
| Interval espectral | 400 – 1000 nm (339 – 1030 nm nominals) |
| Resolució òptica | ~0.3 nm amplada a mitja alçària (FWHM) 1838 bandes espectrals de ~0.3 nm d'amplada |
| Relació senyal-soroll | 7500:1 a 10 ms |
| Resolució radiomètrica | 16 bits (65535 nivells) |
| Temps d'integració | 1 ms a > 60 s |
| Dimensions | 8.9 × 6.3 cm ² ; 3.4 cm gruix |
| Pes | 190 g |
| Software | SpectraSuite® |
| Cable de fibra òptica | |
| Camp de visió (FOV) | 25° |
| Panell de reflectivitat difusa | |



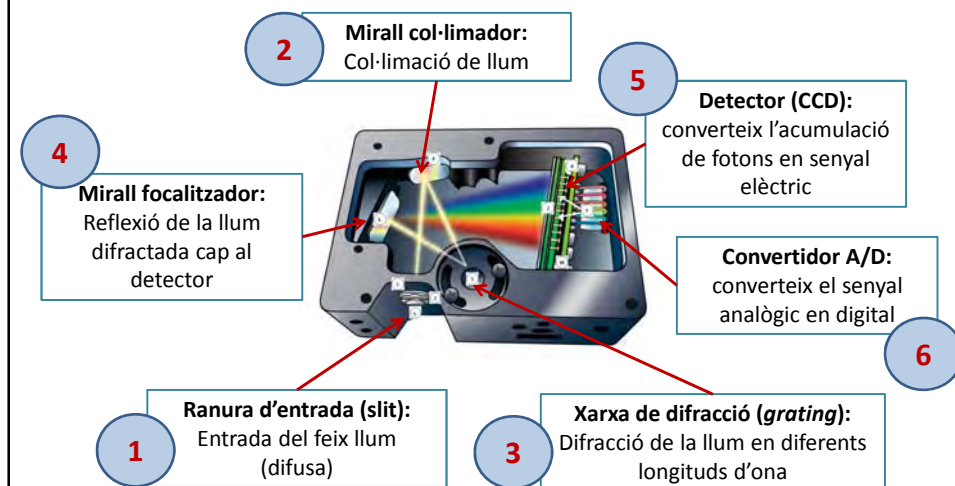
Panell de calibratge de Politetrafluoretilè (PTFE) de 30 × 30 cm²; 2 cm gruix

12

4. Materials : INSTRUMENTS

Espectroradiòmetre exemple (Ocean Optics USB2000+)

FUNCIONAMENT DE L'INSTRUMENT



Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

13



4. Materials : INSTRUMENTS

Sensors aeroportats

| | CASI-550 | AISA Eagle II |
|-------------------------|------------------|------------------|
| Interval espectral | 409.5 – 961.7 nm | 406.3 – 993.8 nm |
| Resolució espectral | 1.9 nm | 2.3 nm |
| Ample de banda | ~35 nm | ~10 nm |
| Camp de visió | 40.4° | 37.7° |
| N. màx. de bandes | 288 | 260 |
| Detectors espacials CCD | 550 | 1024 |
| Resolució radiomètrica | 14 bits | 12 bits |



Sensors CASI-550 i AISA Eagle II



Aeronau Cessna Caravan B208 de l'ICGC



Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

14



4. Materials : INSTRUMENTS

Sensors satel·litaris

| | OLI (L-8) | MSI (S-2) |
|---------------------------|------------------|-------------------------|
| Interval espectral | 433 - 2300 nm | 433 – 2280 nm |
| Resolució espectral | (20) 40 - 180 nm | 15 - 180 nm |
| Resolució espacial (IFOV) | 30 m (15 m pan) | 10 - 20 (- 60 m) |
| Camp de visió (dallada) | 15.00° (180 km) | 20.60° (290 km) |
| N. de bandes | 9 | 13 |
| Resolució temporal | 16 dies | 10 dies – 5 dies (S-2B) |
| Resolució radiomètrica | 12 bits | 12 bits |



Satèl·lit Landsat-8



Satèl·lit Sentinel-2



Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

15



4. Materials : MOSTRES DE CAMP I IMATGES AEROPORTADES



Mostres de camp

Aigua d'un llac
Llac de Banyoles (Girona)

Sorra
D'un camp de futbol

Formigó vermell
D'una pista de bàsquet

Lones de colors
(vermell, blau, gris)

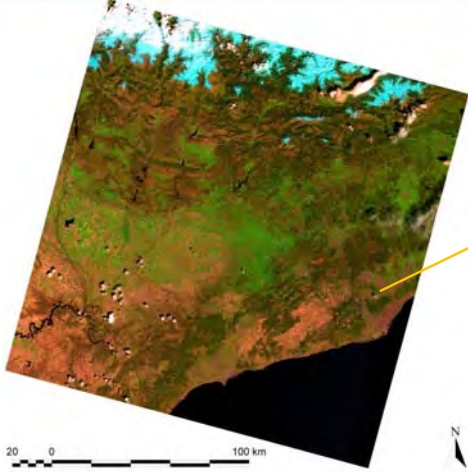
| | CASI-550 | AISA Eagle II |
|----------------------|--------------------|----------------------------------|
| N. imatges | 2 llac 4 entorn | 2 llac 3 entorn (1 entorn) |
| N. bandes Espectrals | 16 | 63 (16) |
| Resolució espacial | 50 cm | 20 cm |

Composició RGB d'imatges CASI-550 del 15-març-2013

16

4. Materials : IMATGES SATEL·LITÀRIES

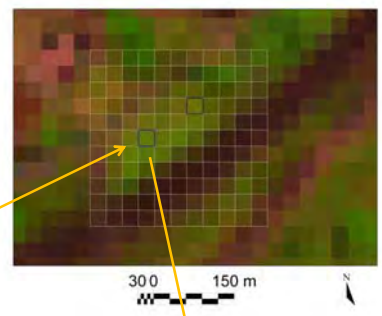
Composició en fals color (6-5-4) OLI (L-8) 1/05/2016



Mostres de camp: Píxels pseudoinvariants (herba)

Composició IRoc (6) -IRp (5) - Vermell (4)
(PATH-198 // ROW-31)

Píxels pseudoinvariants (6-5-4) OLI (L-8) 1/05/2016



300 150 m

Informació de fitxes raster

[Imatge Landsat-5 OLI - 1985 [01-05-2016 20:38:12] (UTC)] [8-Bits/10B-011]

[C:\ArcGIS\Work\0_20160501_00_00\01_00\PCB_LIC_130021_20160501_01-05-2016_011.tif]

[M: 4511, 4724]

[N: 425720.7, 4584221.6]

[Loc: Lat: 28° 36' 30.978" N, L: 28° 44' 33.111" E]

Banda 2 [blau 0.430-0.620 µm] [OLI] (6) : 6.2008

Banda 5 [vermell 0.620-0.690 µm] [OLI] (5) : 12.0271

Banda 4 [vermell 0.630-0.690 µm] [OLI] (4) : 0.24642

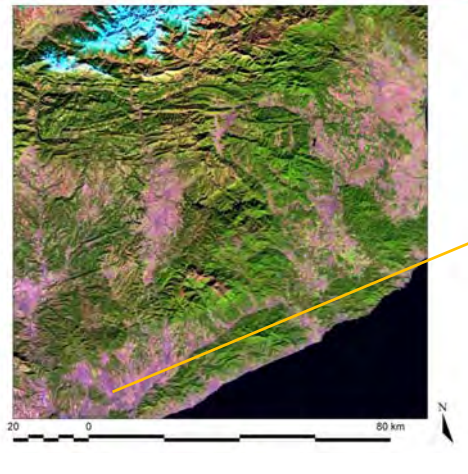
Banda 3 [infravermell (Prima banda) 0.650-0.900 µm] [OLI] (6) : 35.1443

Banda 1 [infravermell (Segona banda) 0.900-1.300 µm] [OLI] (6) : 25.3401

Banda 7 [infravermell (Tercera banda) 2.1300-2.3000 µm] [OLI] (6) : 13.2118

4. Materials : IMATGES SATEL·LITÀRIES

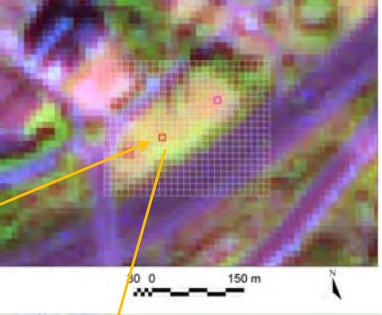
Composició en fals color (11-8-4) MSI (S-2) 30/11/2015



Mostres de camp: Píxels pseudoinvariants (herba)

Composició IRoc (11) -IRp (8) - Vermell (4)
(Òrbita R108)

Píxels pseudoinvariants (11-8-4) MSI (S-2) 30/11/2015



300 150 m

Informació de fitxes raster

[S2A_L1C_T31TDQ_20151120_B01-IRp_20m%+S2A_L1C_T31TDQ_20151120_B01-IRp_20m%]

[M: 2288, 2292]

[N: 428725.7, 4584221.6]

[Loc: Lat: 28° 5' 26.9612" N, L: 28° 48' 38.2637" E]

2-R (6) : 12.65

3-N (6) : 11.94

4-R (6) : 10.53

5-IRp (6) : 16.32

6-IRp (6) : 26.77

7-IRp (6) : 35.92

8A-IRp (6) : 35.33

8-B-IRp (6) : 31.28

11-IRoc (6) : 27.18

12-IRoc (6) : 14.78

5. Metodologia

5. Metodologia

- Correccions de les imatges aeroportades
- Correccions de les imatges satel·litàries
- Comparació entre mesures de camp i imatges de teledetecció
- Consells i normes a considerar durant les mesures de camp



Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

19



5. Metodologia

A. Correcció geomètrica i atmosfèrica de les imatges aèries

- Pre-processament bàsic
software propi del fabricant.
- Correcció geomètrica
software de l'ICGC (*Alamús i Talaya, 2000; Colomina et al., 1992*)
- Correcció atmosfèrica
software propi basat en una versió escalar del 6S (*Vermote et al., 1997*), sense mesures atmosfèriques simultànies a la captura de la imatge.

Detalls tècnics dels vols i el processat de les imatges.

Pérez, et al. (2014) Intercalibración de sensores AISA y CASI. Revista Catalana de Geografia, XIX(48).



Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

20



5. Metodologia

A. Correcció geomètrica i radiomètrica de les imatges satel·litàries

- **Adquisició de les imatges**

United States Geological Survey (USGS). <http://earthexplorer.usgs.gov/>

European Space Agency (ESA). <https://scihub.copernicus.eu>

- **Correcció geomètrica**

USGS i **ESA** serveixen imatges corregides geomètricament amb MDE (nivells L1T i L1C, respectivament).

- **Correcció radiomètrica**

Mòdul CorRad de MiraMon (*basat en Pons et al., 2014*). Inclou la correcció topogràfica a partir del Model Digital d'Elevacions (autoocultaments, angles d'incidència, etc) i la correcció atmosfèrica a partir d'àrees de referència (pseudoinvariants o mesures *in situ*).



Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

21



5. Metodologia

B. Comparació entre mesures de camp i imatges de teledetecció

Camp de visió del radiòmetre (exemple per a USB2000+)

FOV=25° a ~1.5 m altura → radi ~33 cm. Àrea = $\pi \cdot r^2 = 0.3421 \text{ m}^2$

Es mostreja l'àrea d'estudi i es calcula la mitjana de valors obtinguts.

Bandes espectrals

Considerant la petita amplada de les bandes espectrals del CASI-550 (~35 nm) i l'AISA Eagle II (~10 nm), se simula la seva resposta espectral mitjançant mesures terreny amb la mitjana simple dels seus registres en cada interval espectral.



Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

22



5. Metodologia

C. Consells i normes a considerar durant les mesures de camp

- ✓ Prendre les mesures al màxim de simultàniament al pas del sensor remot
- ✓ Inicialitzar l'USB2000+ amb antelació para permetre l'estabilització inicial dels ajustos de guany i la correcció del corrent fosc (*Salisbury et al., 1998*).
- ✓ Vestir de negre per evitar reflectir llum a la superfície (*Salisbury et al., 1998*).
- ✓ Considerant condicions òptimes d'il·luminació solar directa (absència de núvols), s'aconsella:
 - Evitar realitzar les mesures amb un angle solar petit.
 - Establir el temps d'integració com a aquell en què el pic màxim de les lectures del blanc de referència no superi el 85% de la resolució radiomètrica.
 - Mesurar 2 espectres de referència per cada sèrie de mesures, un abans i un després de mesurar la coberta. En el processament de dades es farà la mitjana, sempre que no siguin molt diferents (e.g., canvis d'il·luminació).



Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

23



6. Alguns resultats

6. Alguns resultats

- **Protocol per mesurar reflectàncies del visible a l'infraroig proper.**
- **Comparació entre les mesures de camp i les dades AISA – CASI.**
- **Comparació entre les dades CASI – AISA.**
- **Comparació entre les mesures de camp i les dades OLI.**



Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

24



6. Alguns resultats

A. Protocol per mesurar reflectàncies del visible l'infraroig proper

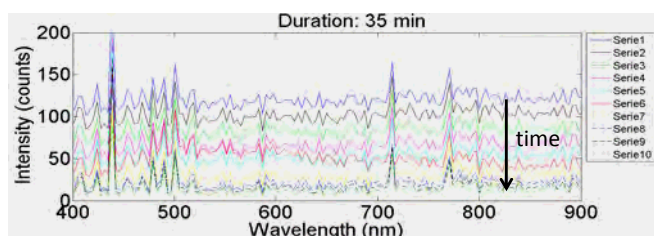
DOBLE MESURA DEL CORRENT FOSC I DEL BLANC DE REFERÈNCIA.

Objectiu: estimar amb més exactitud el seu valor i evitar oscil·lacions que farien no semblar la mesura.

Estimació del SOROLL present en el senyal:

Mètode:

- Inicialitzar l'USB2000+ ~35 min abans de les mesures.
- Mesura del senyal que té l'espectroradiòmetre evitant l'entrada de llum **abans** i **després** de realitzar les mesures.
- Detectar detectors anòmals per emmascarar-los.



6. Alguns resultats

A. Protocol per mesurar reflectàncies del visible l'infraroig proper

DOBLE MESURA DEL CORRENT FOSC I DEL BLANC DE REFERÈNCIA.

Objectiu: estimar amb més exactitud el seu valor

Estimació de la IRRADIÀNCIA ATMOSFÈRICA DESCENDENT:

Mètode:

- Temps d'integració suficient per obtenir senyal al 85% de la capacitat (16 bits = 65536 ND) → 85% ~ 55000 ND com a màxim.
- Mesura de la radiància reflectida en el panell (idealment resposta Lambertiana) **abans** i **després** de realitzar les mesures de la coberta.
- Situar el capçal de la fibra en posició vertical i el panell pla.

6. Alguns resultats

A. Protocol per mesurar reflectàncies del visible l'infraroig proper


| CAPTURA DE DADES | | PROCESSAMENT DE DADES | | DADES |
|------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------------|-------|
| MESURES | LECTURES | ESTADÍSTICA | | |
| 1 | Corrent fosc inicial (CFi) | 5, 10 o 100 | μ, σ, min, màx, μ suavitzada | CFi |
| 2 | Blanc referència inicial (BRi) | 5, 10 o 100 | μ, σ, min, màx, μ suavitzada | BRi |
| 3 | COBERTA (C) | 5, 10 o 100 | μ, σ, min, màx, μ suavitzada | C |
| 4 | Blanc referència final (BRf) | 5, 10 o 100 | μ, σ, min, màx, μ suavitzada | BRf |
| 5 | Corrent fosc final (CFf) | 5, 10 o 100 | μ, σ, min, màx, μ suavitzada | CFf |

←

CALCUL DE LA REFLECTÀNCIA:



$$\text{Reflectància}_\lambda = (C_\lambda - (CFi_\lambda + CFf_\lambda)/2) / ((BRi_\lambda + BRf_\lambda)/2 - (CFi_\lambda + CFf_\lambda)/2)$$

$$\text{Reflectància}_\lambda = (C_\lambda - CF\mu_\lambda) / (BR\mu_\lambda - CF\mu_\lambda)$$



Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

27

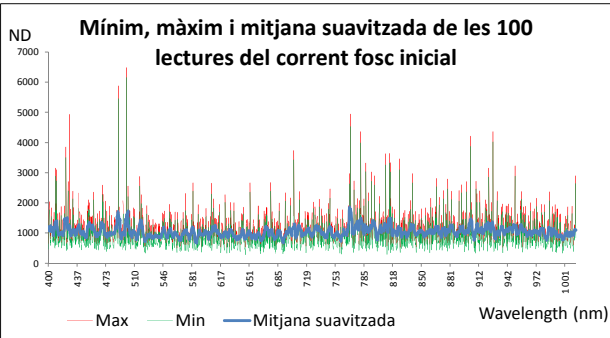



6. Alguns resultats

A. Protocol per mesurar reflectàncies del visible l'infraroig proper

$$\text{Reflectància}_\lambda = (C_\lambda - (CFi_\lambda + CFf_\lambda)/2) / ((BRi_\lambda + BRf_\lambda)/2 - (CFi_\lambda + CFf_\lambda)/2)$$

Pas 1: Mesurem el corrent fosc inicial de l'instrument (CFi).



Corrent fosc inicial (CFi)

Blanc referència inicial (BRi)

COBERTA (C)

Blanc referència final (BRf)

Corrent fosc final (CFf)

Mínim, màxim i mitjana suavitzada evitant que la llum entri a l'espectroradiòmetre ("corrent fosc inicial").

28


6. Alguns resultats

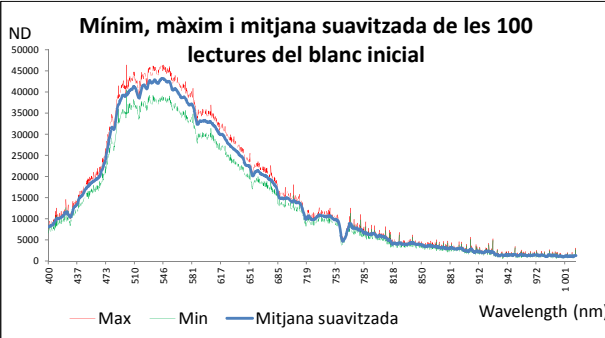
A. Protocol per mesurar reflectàncies del visible l'infraroig proper

$$\text{Reflectància}_\lambda = (C_\lambda - (CFi_\lambda + CFF_\lambda)/2) / ((BRI_\lambda + BRf_\lambda)/2 - (CFi_\lambda + CFF_\lambda)/2)$$

Pas 2: Mesurem la irradiància incident mitjançant el panell de calibratge (BRi).

Situar el panell pla i el cap de la fibra a la vertical per conservar geometria





- Corrent fosc inicial (CFi)
- Blanc referència inicial (BRi)
- COBERTA (C)
- Blanc referència final (BRf)
- Corrent fosc final (Cff)

Mínim, màxim i mitjana suavitzada de la llum reflectida pel panell de calibratge ("blanc de referència inicial")

29

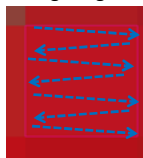
6. Alguns resultats

A. Protocol per mesurar reflectàncies del visible l'infraroig proper

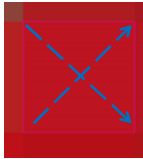
$$\text{Reflectància}_\lambda = (C_\lambda - (CFi_\lambda + CFF_\lambda)/2) / ((BRI_\lambda + BRf_\lambda)/2 - (CFi_\lambda + CFF_\lambda)/2)$$

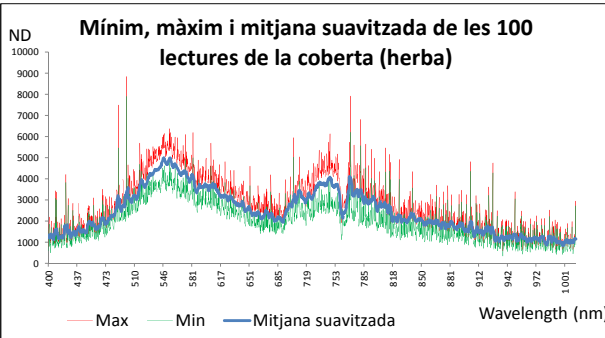
Pas 3: Mesurem la radiància procedent de la coberta d'interès (en aquest cas herba) (C).

Mostreig en ziga-zaga:



Mostreig en creu:





- Corrent fosc inicial (CFi)
- Blanc referència inicial (BRi)
- COBERTA (C)
- Blanc referència final (BRf)
- Corrent fosc final (Cff)

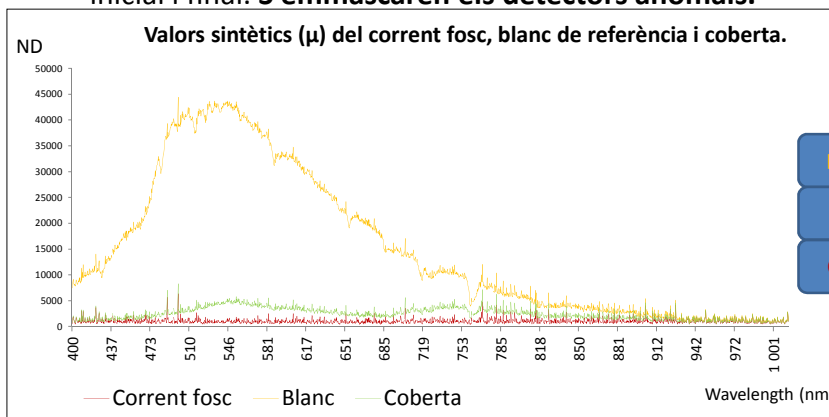
Mínim, màxim i mitjana suavitzada de la llum reflectida per la coberta d'interès (herba)

30

6. Alguns resultats

A. Protocol per mesurar reflectàncies del visible i l'infraroig proper

Mitjana del corrent fosc inicial i final, i del blanc de referència inicial i final. S'emmaskaren els detectors anòmals.



$$\text{Reflectància}_\lambda = (C_\lambda - CF_\mu \lambda) / (BR_\mu \lambda - CF_\mu \lambda)$$



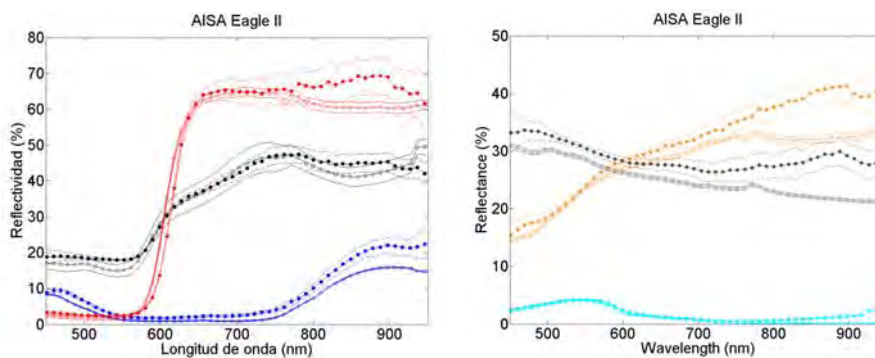
Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

31



6. Alguns resultats

B. Comparació entre les mesures de camp i les dades AISA o CASI



Desviació estàndard (reflectàncies en %)

USB2000+ ± 0.05 a ± 1.3

AISA ± 0.35 a ± 4.6

-○- USB2000+ (valor mitjà)
 -○- USB2000+ (desviació estàndard)
 • AISA or CASI (valor mitjà)
 - - - AISA or CASI (desviació estàndard)

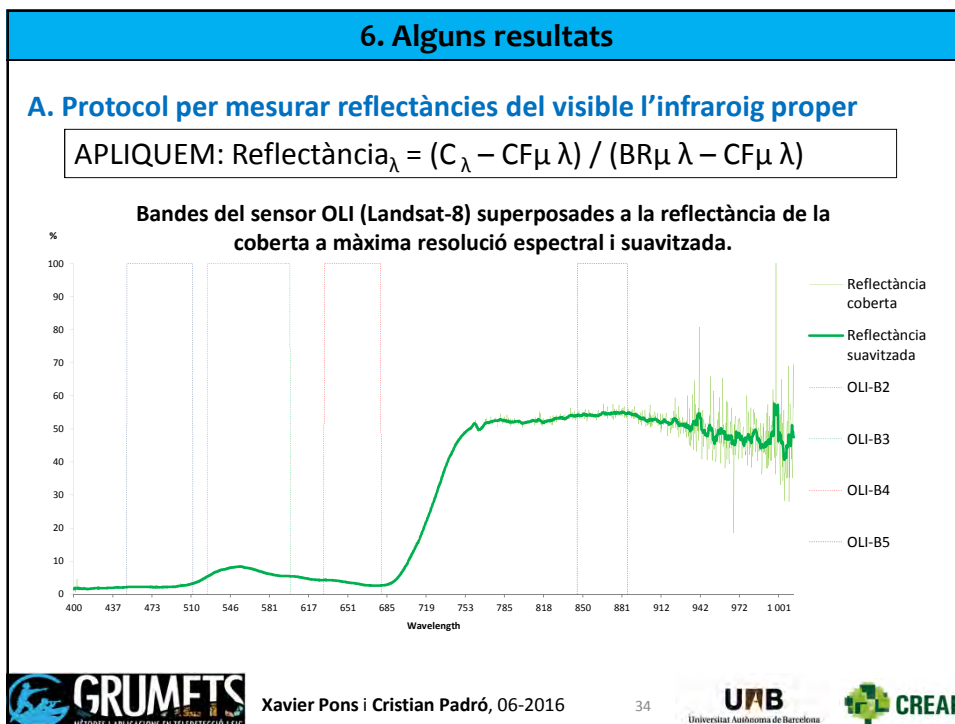
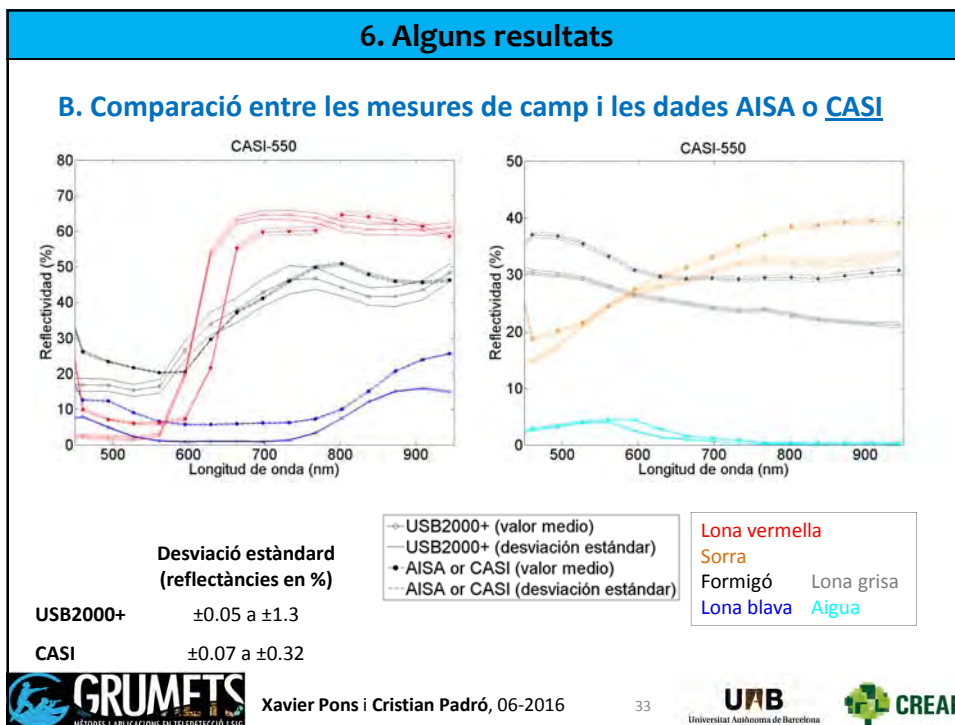
Lona vermella
 Sorra
 Formigó Lona grisa
 Lona blava Aigua



Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

32

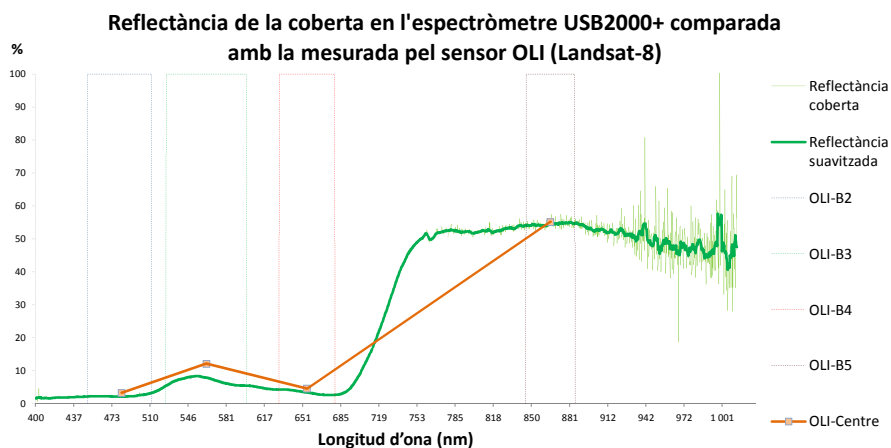




6. Alguns resultats

A. Protocol per mesurar reflectàncies del visible l'infraroig proper

$$\text{APLIQUEM: Reflectància}_\lambda = (C_\lambda - CF_\mu \lambda) / (BR_\mu \lambda - CF_\mu \lambda)$$



Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

35



7. Conclusions

7. Conclusions. Futur



Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

36



7. Conclusions

Les **mesures de camp** amb l'USB2000+ es duen a terme tenint en compte:

- o La posada en marxa de l'instrument, al menys **35'** abans d'iniciar les mesures.
- o La distància entre la coberta i el sensor, tenint en compte el **FOV** de l'instrument.
- o El **temps d'integració òptim**, d'acord amb blanc de referència i el rang espectral d'estudi.
- o La **repetibilitat** de les seqüències (corrent fosc – panell – mostra – panell – corrent fosc) considerades pel càlcul de les reflectàncies.

El **protocol desenvolupat** té en compte tots els aspectes necessaris per garantir l'**estabilitat** de les mesures:

- Control de la relació senyal-soroll. Emmascarar els detectors anòmals durant el tractament estadístic de les dades.
- Mostrejar les superfícies exhaustivament.
- Possibles canvis en la il·luminació de la coberta entre l'inici i el final de la mesura.
- Possibles canvis en el corrent fosc de l'aparell (poc habitual).



Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

37



7. Conclusions. Futur

Las **mesures de camp** obtingudes aplicant aquest protocol presenten molt baixa dispersió (**repetibilitat acceptable**), demostrant així la seva consistència.

Existeix una **consistència** acceptable entre **les mesures de camp**, les dades hiperspectrals adquirides per **CASI-550** i **AISA Eagle II**, i les dades multispectrals adquirides per l'**OLI**, indicant la seva validesa pel calibratge de sensors remots.

Possibles causes de les diferències observades:

- la diferència en resolució espacial .
- errors en la correcció atmosfèrica, que poden ser reduïts amb la mesura simultània amb l'espectroradiòmetre.

Futur: Prosseguir els estudis per fixar el protocol en el cas de sensors OLI (Landsat-8), MSI (Sentinel-2), MODIS (Aqua-Terra) i OLCI (Sentinel-3), així com amb sensors multispectrals embarcats en drons.



Xavier Pons i Cristian Padró, 06-2016

38



| | | |
|--|--|--|
| Jornada |  LabFerrer | 03 de juny de 2016 |
| Validació de dades teletransportades en camp. Aplicacions agrícoles i hidrogeològiques | | |
| Validació de la radiometria de dades de sensors aeroportats i satel·litaris a partir d' espectralradiometria de camp. | | |
| Xavier PONS¹, Joan-Cristian PADRÓ¹ | | |
| Presentació en part basada en els treballs realitzats conjuntament amb: | | |
| G. MORÉ¹, C. CEA¹, P. SERRA¹, M. MIRA¹, O. GONZÁLEZ¹, A. ZABALA¹, | | |
| ¹Grup de recerca GRUMETS, Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) | | |
| F. PÉREZ², A. TARDÀ², R. ALAMÚS², V. PALÀ² y A. LÓPEZ² | | |
| ²Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC), Barcelona | | |
| | | MOLTES GRÀCIES PER LA SEVA ATENCIÓ |
|  |  |  |
| | |  |
| | | xavier.pons@uab.cat |
| <small>Agraïments: Aquest estudi ha estat finançat pel Ministerio Español de Ciencia e Innovación (projecte CGL2012-33927 i contracte de recerca "Juan de la Cierva" de la Dra. Mira), la beca FI-DGR del Sr. Joan-Cristian Padró, i per la Generalitat de Catalunya (GRUMETS SGR2014-1491 y SGR2009-1511), i la "Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats" ("ICREA Academia Excellence in Research" del Dr. Pons).</small> | | |