



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Classificació d'imatges de satèl·lit i de dades LiDAR aplicat a l'anàlisi del paisatge d'El Hierro (illes Canàries)

Miriam Dominguez Segarra

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tdx.cat) i a través del Dipòsit Digital de la UB (diposit.ub.edu) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX ni al Dipòsit Digital de la UB. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX o al Dipòsit Digital de la UB (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tdx.cat) y a través del Repositorio Digital de la UB (diposit.ub.edu) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR o al Repositorio Digital de la UB. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR o al Repositorio Digital de la UB (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tdx.cat) service and by the UB Digital Repository (diposit.ub.edu) has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized nor its spreading and availability from a site foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository is not authorized (framing). Those rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Facultat de Geografia i Història

Departament de Geografia

TESI DOCTORAL

Classificació d'imatges de satèl·lit i de dades Lidar aplicat a
l'anàlisi del paisatge d'El Hierro (illes Canàries)

Miriam Dominguez Segarra

Programa de Doctorat de Geografia,
Planificació Territorial i Gestió Ambiental

Directora de la tesi:
Montserrat Salvà-Catarineu

Setembre de 2018

Al Berto

FINANÇAMENT

Aquest estudi ha estat finançat pels projectes d' investigació JUNITUR (CSO2011-24425, 2012-2015) "Biogeografía de los sabinares de *Juniperus turbinata* Guss. en la reserva de la biosfera de El Hierro y en el Parque Nacional de Doñana" de la Secretaria d' Estat d' Investigació del Ministeri de Ciència i Innovació, i JUNITUR+ (CSO2015-68500-R MINECO/FEDER, UE, 2016-2019) "Bioclimatología y biodiversidad de los sabinares de *Juniperus turbinata* Guss. en La Palma y El Hierro" de la Secretaria d' Estat d' Investigació, Desenvolupament i Innovació del Ministeri d' Economia i Competitivitat.



Agrair també el suport de Miguel A. Rodríguez Domínguez del Cabildo insular d'El Hierro i GRAFCAN Mapas de Canarias, Cartografía de Canarias S.L. per cedir-nos la cartografia de vegetació de l'illa.



Cabildo de El Hierro
La Isla del Meridiano



GRAFCAN
MAPAS DE CANARIAS
Cartográfica de Canarias, S. A.

AGRAÏMENTS

Aquesta tesi ve acompanyada de molts moments intensos. Encara recordo quan vaig contactar per primer cop amb la Dra. Montserrat Salvà-Catarineu per realitzar les meves pràctiques de quart del grau de Geografia. En aquell moment vaig descobrir el seu projecte JUNITUR i l'illa d'El Hierro.

Les pràctiques ja van ser de la cartografia del paisatge d'El Hierro. Posteriorment a aquestes pràctiques, la Dra. Salvà em va proposar realitzar el doctorat centrat en l'estudi del paisatge de l'illa d'El Hierro mitjançant teledetecció. Tot el que sabia d'aquesta ciència, és el que vam aprendre a l'assignatura, que precisament, dirigia ella mateixa.

Els meus dubtes no em van fer rebutjar l'oportunitat que m'estava oferint i la vaig acceptar de bon grat. Des de l'inici d'aquesta nova etapa, he tingut clar que el doctorat suposaria una època important a la meua vida, un període de temps d'aprenentatge de coneixements científics, d'ètica i de millora personal.

Al llarg d'aquest doctorat, he cursat un màster de Teledetecció que em va suggerir la Dra. Salvà, que probablement, no se m'hagués ocorregut realitzar per la meua manera de ser tan conformista. També he conegut un paisatge espectacular gràcies al treball de camp que ella mateixa m'ha facilitat. Realment, són moments molt especials per a una geògrafa "sortida del forn".

Als meus pares i al meu germà per la seva paciència, el seu suport i, en general, per cuidar-me sempre. Els hi dec tot el que soc avui. A l'Elena Pérez i a la Laura Sánchez pels seus consells i el suport en tots els moments baixos.

També vull agrair en Ferran Salvador-Franch els bons moments durant l'estada al Servei de gestió i evolució del Paisatge i en el treball de camp i també el seu ajut en la climatologia de l'illa. Tots sabem que hem d'acudir a ell quan realitzem una cita o dissenyem una taula de dades i cal agrair la seva paciència amb aquests detalls d'un treball.

Gràcies a la Rosa Maria Bosch Casadevall pels moments viscuts durant la seva estada al Servei de gestió i evolució del Paisatge, pel seu suport perquè el seu treball m'inspirava a continuar amb la feina i per què no dir-ho? pels moments de distracció.

Tot i ser el darrer fitxatge del Servei de gestió i evolució del Paisatge, a en Francesc Vilar Bonet pel seu ajut a la part gràfica.

Gràcies al Sergi Campo, per ser companys de batalla, compartint coneixements científics i d'altres que no ho són tant.

Gràcies al meu tribunal de Treball de Final de Màster: Dr. Xavier Pons Fernández, Dr. Lluís Pesquer Mayos i la Dra. Ana Badia Perpinyà pels seus consells que van aportar per millorar el camí d'aquesta tesi.

Gràcies a la Dra. Isabel Pujades i al Dr. Fernando Gil per la seva atenció oferta, en la resolució de dubtes i els seus consells.

Gràcies als companys del Simpòsium per viure l'experiència de l'organització del Congrés.

RESUM

La tesi, titulada “Classificació d’imatges de satèl·lit i de les dades Lidar aplicat a l’anàlisi del paisatge d’El Hierro”, té per objectiu analitzar la vegetació de l’illa mitjançant la cartografia obtinguda de les classificacions d’imatge de satèl·lit i les dades Lidar i el càlcul de mètriques de paisatge. L’estudi es desenvolupa en tres fases: la primera, un tractament previ de les imatges; la segona, la classificació per obtenir la cartografia i la tercera, l’anàlisi del paisatge amb el càlcul de les mètriques.

A la primera fase, el tractament previ consisteix en un conjunt de correccions geomètriques i radiomètriques. La rectificació geomètrica s’han aplicat transformacions de polinomis de segon i tercer grau. Les correccions radiomètriques es divideixen en dos tipus: les atmosfèriques i les topogràfiques. La correcció atmosfèrica més coneguda és la del mètode d’objecte fosc de Chavez (1988) detectant les radiàncies més baixes perquè són els cossos que no reboten energia i l’absorbeixen. Si aquestes es resten del conjunt de cel·les, es redueix l’efecte de l’atmosfera en el conjunt de la imatge. La correcció topogràfica disminueix l’efecte del relleu a les radiàncies utilitzant un Model Digital d’Elevacions (MDE). En aquest estudi s’han calculat dos mètodes; l’empíricoestadístic de Teillet de l’any 1989 i el de Teillet del 1982, afegint els coeficients C que ajusta més les reflectàncies reals de cada objecte. Els resultats d’aquesta fase són: els punts de control distribuïts per tota l’illa asseguren la validesa de la correcció, resultant un RMS entre 0,82 i 1,96m, per sota del costat de cel·la. La correcció topogràfica presenta canvis estadístics acceptables.

A la segona fase, es presenten un conjunt de mapes de les cobertes de l’illa d’El Hierro amb el classificador per nombre dels veïns més propers (kNN), amb imatges dels satèl·lits l’SPOT-5 HRG, Geoeye-1 (GE-1) i Sentinel-2 MSI (S-2). El procés digital de les imatges s’ha realitzat a través del programari: ArcGIS 10.5, Idrisi Selva 17.00 i MiraMon v8.0. El pla de treball inicial contemplava quatre algorismes diferents però els resultats obtinguts van ser poc encertats. La població no tenia una distribució normal, per això, es va seleccionar el kNN perquè és “no paramètric”, és a dir, no es regeix per paràmetres estadístics. Per classificar imatges es necessiten unes àrees d’entrenament elaborades a partir de les ortofotografia PNOA dels anys 2005, 2012 i 2015, i aquestes àrees són les referències per assignar els valors de reflectància a cada objecte. A posteriori de les classificacions, les imatges han estat sotmeses a filtres de millora per optimitzar el procés de classificació i reduir l’efecte *sal i pebre*. També algunes imatges del GE-1 s’han classificat el Model Digital D’Altures de la Cobertura Vegetal (MDACV). La classificació de l’SPOT-5 mostra un nivell d’encert del 80%, mentre que el Sentinel-2 és al voltant del 80% i GeoEye-1 és al voltant del 60-75%.

Finalment, en la tercera fase, s’ha analitzat l’estructura del paisatge i la seva dinàmica entre l’any 2006 i 2016 amb els índexs de paisatge, calculats amb el software Fragstats v4.2.1. La comparativa del patró del paisatge mostra els canvis produïts per la resolució espacial i espectral dels diferents sensor. Els índexs calculats són: total àrea, densitat de marge, nombre de taques, riquesa de taques, densitat de la riquesa de taques la mitjana de proximitat i índex de *Shannon*. Segons els índexs de paisatge, l’any 2006 l’illa estava més fragmentada que el 2016, tot i que la diversitat continua sent aproximadament la mateixa.

Finalment s’ha calculat el MDACV de La Dehesa per observar els canvis entre la densitat del savinar vell i el jove. A més, s’ha calculat un conjunt de perfils de vegetació per representar les comunitats vegetals més característiques del paisatge de l’illa d’El Hierro.

ABSTRACT

The thesis "Methods for the satellite image classification and data LIDAR applied to the analysis of the landscape of El Hierro" aims to analyse the vegetation of the island through of the cartography obtained from the image classifications of satellite and LIDAR data and the calculation of landscape metrics. The study is developed in three phases: the first one is pre-processing of the images, the second one is classification to obtain the cartography and the third one is the analysis of the landscape with the calculation of the metrics.

This previous processing is a set of geometric and radiometric corrections. The geometric rectification corrects the deformations of the territory with the aim of assigning coordinates and adjusting as much as possible the location of the objects. Radiometric corrections eliminate the effect of particles from the atmosphere and the sensor captures errors. Radiometric corrections are divided in two types: atmospheric and topographical. The most well-known atmospheric correction is that of the dark object method of Chavez (1988) detecting the lowest radiation because they are bodies that do not rebound energy and absorb it, if these are subtracted from the set of cells, the effect of the atmosphere on the whole image. The topographical correction reduces the effect of relieving radiation using a digital elevation model (MDE). In this study two methods of Teillet have been calculated: the 1989 one and the one of the year 1982, adding coefficients that adjust more to the real reflections of each object. The results of this phase are the control points distributed throughout the island, ensure the validity of the correction, resulting in a RMS between 0.82 and 1.96m, below the cell side. The topographical correction shows statistical changes.

In the second phase, a battery of maps of the covers of the island El Hierro with the classifier by k- nearest neighbours (kNN) with images of the l'SPOT-5 HRG, Geoeye-1 (GE-1) and Sentinel-2 MSI (S-2) satellites . The digital process of the images has been done through the software ArcGIS 10.5, Idrisi Selva 17.00 and MiraMon v8.0. The initial plan of work contemplated four different algorithms but the results obtained were not right. The population does not have a normal distribution, therefore, kNN was selected because it is non-parametric. That is, it is not defined by statistical parameters. To classify images the workout areas developed using PNOA orthophotographs in the years 2005, 2012, 2015 are the reference to assign the values of reflectance to each object. A posteriori of the classifications, some have been subjected through the improvement filters to check the effectiveness of this method and reduced the salt and pepper effect. Additionally, some images of GE-1 are classified with heigh coverage vegetation digital model. The results of the Kappa Index of l'SPOT-5 show a level of success of 80%, while Sentinel-2 and Geoeye-1 are slightly lower: 60-75%.

Finally, the structure of the landscape and the dynamics between 2006 and 2016 with the landscape index have been analysed, using Fragstats v4.2.1 software. To comparison of the landscape pattern shows the changes produced by the spatial and spectral resolution of the different sensors. The calculated index are total area, edge density, number of patches, patch density richness, proximity mean and Index of Shannon. According to the landscape indices, in 2006 the island was more fragmented than in 2016, although the diversity is still approximately the same.

Finally, it has calculated the height coverage vegetation digital model to observe the change between density of old savinar and young savinar. In addition, the vegetation profile is calculated to represent a vegetal characteristic community of El Hierro's island.

1. INTRODUCCIÓ	27
1.1. INTRODUCCIÓ GENERAL.....	27
1.2. ELS OBJECTIUS.....	28
2. MARC GEOGRÀFIC D'EL HIERRO	31
2.1. SITUACIÓ I LÍMITS.....	31
2.2. TOPOGRAFIA I RELLEU	32
2.3. GEOLOGIA I GEOMORFOLOGIA.....	32
2.4. CLIMATOLOGIA.....	34
2.5. BIOGEOGRAFIA.....	41
2.5.1. <i>Vegetació</i>	41
2.5.2. <i>Fauna</i>	45
2.6. POBLACIÓ.....	46
2.7. POLÍTIQUES DE PROTECCIÓ.....	46
3. PRINCIPIS DE TELEDETECCIÓ.....	51
3.1. PRINCIPIS FÍSICS.....	51
3.1.1. <i>Conceptes bàsics</i>	51
3.1.2. <i>La radiació i l'espectre electromagnètic</i>	52
3.1.3. <i>L'atmosfera</i>	55
3.1.4. <i>Teledetecció i vegetació</i>	55
3.2. SATÈL·LITS I SENSORS.....	56
3.2.1. <i>Sensors passius</i>	57
3.2.2. <i>Sensors actius: el cas del Lidar</i>	66
3.3. CLASSIFICACIONS D'IMATGE DE SATÈL·LIT	68
3.3.1. <i>Àrees d'entrenament i de test</i>	70
3.3.2. <i>Classificador</i>	72
3.3.3. <i>Validació d'exactitud (accuracy assessment)</i>	80
4. ECOLOGIA DEL PAISATGE.....	84
4.1. MODEL FRAGMENT-CORREDOR-MATRIU.....	84
4.2. CONCEPTES I TEORIES DE L'ECOLOGIA DEL PAISATGE	85
4.2.1. <i>Els conceptes bàsics de l'ecologia del paisatge</i>	85
4.2.2. <i>Processos ecològics en el paisatge</i>	86
4.3. LES MÈTRIQUES DEL PAISATGE	87
4.3.1. <i>Les mètriques per quantificar l'heterogeneïtat del paisatge</i>	90
4.3.2. <i>Sensibilitat de les mètriques del patró de paisatge en les classificacions</i>	91

5. METODOLOGIA.....	95
5.1. DADES DELS SENSORS PASSIUS	96
5.1.1. <i>Les correccions de l'SPOT-5</i>	96
5.1.2. <i>Les correccions del S-2</i>	98
5.1.3. <i>Les correccions del GE-1</i>	98
5.2. CLASSIFICACIÓ.....	103
5.2.1. <i>Les àrees d'entrenament i de test</i>	103
5.2.2. <i>Filtre de convolució Sharpen a les bandes abans de classificar</i>	106
5.2.3. <i>La classificació de les imatges de l'SPOT-5, S-2 i GE-1 de l'illa d'El Hierro</i>	107
5.2.4. <i>Filtres postclassificació</i>	108
5.2.5. <i>Validació d'exactitud (accuracy assessment)</i>	108
5.3. LES MÈTRIQUES DE PAISATGE.....	110
5.4. DADES LIDAR	112
6. RESULTATS I DISCUSSIÓ.....	117
6.1. CORRECCIONS	117
6.1.1. <i>Correccions geomètriques</i>	117
6.1.2. <i>Correcció radiomètrica</i>	119
6.2. CARTOGRAFIA DE LA COBERTA DE L'ILLA D'EL HIERRO.....	124
6.2.1. <i>Mapa de la coberta de l'illa d'El Hierro amb l'SPOT-5</i>	124
6.2.2. <i>Mapa de coberta de l'illa d'El Hierro amb Sentinel-2</i>	125
6.2.3. <i>Mapa de coberta de l'illa d'El Hierro amb GeoEye-1</i>	142
6.3. LES MÈTRIQUES DEL PAISATGE DE L'ILLA D'EL HIERRO.....	158
6.4. LIDAR	166
6.4.1. <i>A nivell exploratori</i>	166
6.4.2. <i>El cas concret de La Dehesa: el savinar vell i el jove</i>	167
6.4.3. <i>Els perfils de vegetació</i>	174
7. CONCLUSIONS	183
8. REFERÈNCIES	189
ANNEXOS.....	207

Índex de figures

Figura 1. Mapa de situació de l'illa d'El Hierro amb el Model Digital d'Elevacions (MDE) i el model d'ombres	31
Figura 2. Mapa geològic i una mostra representativa d'El Hierro (Carracedo <i>et al.</i> , 2015).....	33
Figura 3. Mapa geomorfològic d'El Hierro (Fernández-Pello, 1985).....	34
Figura 4. Mapa d'isohietes de les precipitacions d'El Hierro (Marzol, 2000).....	35
Figura 5. Histograma de les precipitacions i temperatures de l'illa d'El Hierro (Marzol, 2000). La sèrie d'El Hierro-Aeropuerto és del 1974 al 2014, en canvi, la resta d'estacions són del 2009 al 2014.....	36
Figura 6. Localització de la regió macaronèsica (Fernandes <i>et al.</i> , 2015).....	37
Figura 7. Mapa del clima d'El Hierro. La zona de la costa és un clima càlid, a mesura que augmenta l'altitud fins a arribar al cim va esdevenint més fresc o fred (Marzol, 2000).....	38
Figura 8. Cartografia de la vegetació actual a l'illa d'El Hierro.....	43
Figura 9. Imatges de la vegetació d'El Hierro: a- <i>tabaiba dulce</i> (<i>Euphorbia balsamifera</i>), b- el <i>cardón</i> (<i>Euphorbia canariensis</i>), c- <i>savina canària</i> (<i>Juniperus turbinata</i> subsp. <i>canariensis</i>), d- <i>jaral</i> (<i>Cistus monspeliensis</i>). i e- pi canari (<i>Pinus canariensis</i>) (Boratynski & Salvà-Catarineu).....	44
Figura 10. El llangardaix gegant (M.A. Rodríguez).....	45
Figura 11. Evolució de la població de l'illa d'El Hierro durant el període 1998-2017 (Font: INE)	46
Figura 12. Esquema de l'ona electromagnètica (Chuvieco, 2010)	52
Figura 13. L'espectre electromagnètic (Ruiz, 2000).	53
Figura 14. Característiques del <i>Multi Spectral Instrument</i> (MSI) del Sentinel-2. El nom de la banda i la corresponent resolució espacial (m) s'indica a l'eix de les abscisses (Immitzer <i>et al.</i> , 2016).....	58
Figura 15. Satèl·lit GE-1(© Digital Globe).....	58
Figura 16. Direcció de l'escaneig del GE-1. A. Directe i B. Invers (Saldaña, 2013).	59
Figura 17. Nom, rang espectral i resolució espacial de l'SPOT-5, Sentinel-2 i GeoEye-1. L'eix de les X representa la resolució espectral en nanòmetres. L'eix de les y representa la resolució espacial i quin satèl·lit capta les diferents bandes (Drusch <i>et al.</i> , 2012; Podger i Colwell, 2011; SPOT IMAGE, 2010)	59

Figura 18. Els resultats de les transformacions de primer, segon i tercer ordre (Esri, 2018).....	62
Figura 19. Efecte de la topografia (Riaño <i>et al.</i> , 2003).....	64
Figura 20. Esquema comparatiu dels angles de reflexió del dosser vegetal entre una superfície horitzontal i una inclinada (Shepherd i Dymond, 2003).....	64
Figura 21. Angles que es formen amb la irradiació solar i reflexa (Reese i Olsson, 2011).....	66
Figura 22. Núvol de punts d'un bosc (Melin, 2017).....	67
Figura 23. Esquema de la il·luminació de la vista d'una cel·la mixta incloent un arbre, l'ombra del sol i sol assolellat (Jones i Vaughan, 2010).....	71
Figura 24. Diagrama de dispersió de la relació entre la reflectància de l'infraroig proper i del vermell per a l'illa d'El Hierro de les imatges de S-2. A l'eix de l'abscissa és la banda 8, és a dir, la reflectància de l'infraroig proper, i l'eix de les X, representa la banda 4, és a dir, la banda del vermell. Marca una recta on es representa aquelles cel·les de sol i el cúmul a la part superior del gràfic són totes aquelles cel·les de vegetació densa.....	71
Figura 25. Representació en un diagrama de dispersió de la banda vermella en el eix de les X i la banda infraroja en l'eix de les Y. Visualment, s'aprecia com s'agrupen, per similitud espectral, les cel·les. (Jones i Vaughan, 2010).....	74
Figura 26. Esquerra imatge de satèl·lit <i>QuickBird</i> a la dreta la classificació no supervisada (Everitt <i>et al.</i> , 2007).....	79
Figura 27. Grandària de les tessel·les.....	88
Figura 28. Flux de treball de la metodologia de la classificació de les imatges de l'SPOT-5, S-2 i GE-1. Aquest diagrama s'estructura en tres fases: una fase inicial, d'elaboració de les àrees d'entrenament, una segona fase, de classificació, i la tercera, de validació dels resultats.....	95
Figura 29. Combinació fals colors de imatges del SPOT-5, el Sentinel-2 i el GeoEye-1. L'aproximació és a La Dehesa.....	96
Figura 30. Subdivisions a la imatge original de GE-1 per corregir geomètricament, de manera més acurada, cada part del relleu de l'illa. PNOA cedit per © <i>Instituto Geográfico Nacional</i>	99
Figura 31. Representació dels angles del model d'il·luminacions (Riaño <i>et al.</i> , 2003).....	101
Figura 32. Savinar sec de <i>Juniperus turbinata</i> i plantació de pi insigne a La Dehesa. A l'esquerra la imatge PNOA i a la dreta la imatge NDVI. Les vores de les plantacions de pi insigne, el classificador el confon amb les vores de les savines.....	104
Figura 33. Pineda de <i>Pinus canariensis</i> , a l'esquerra Sentinel-2 (10 m) i a la dreta PNOA (0,25 m).....	105

Figura 34. Composició de bandes sense el filtre <i>Sharpen</i> (esquerra). Composició de bandes amb el filtre <i>Sharpen</i> (dreta).....	106
Figura 35. Itineraris del vol Lidar	112
Figura 36. La distribució dels GCP sobre l'illa d'El Hierro. Les subescenes del nord amb 381 punts i les subescenes del sud amb 236 punts.....	118
Figura 37. Les zones d'ombra de l'illa. A l'esquerra és El Golfo (N) i a la dreta és Las Playas (SE).....	120
Figura 38. Ampliació de Las Playas amb les reflectàncies atmosfèriques (A), la correcció empíricoestadística (B) i la correcció C (C).	121
Figura 39. Ampliació de La Dehesa amb les reflectàncies atmosfèriques (A), la correcció empíricoestadística (B) i la correcció (C).	121
Figura 40. Resultats de la classificació kNN per k=8 veïns més propers de l'àrea d'estudi amb l'SPOT-5.....	125
Figura 41. Comunitat de la pineda de pi insigne classificada com a <i>fayal-breza</i> . A l'esquerra és la classificació del S-2 i a la dreta l'ortofotografia del PNOA cedit per © l' <i>Instituto Geográfico Nacional</i> . El polígon amb els marges de color blau és de la cartografia de referència Del Arco <i>et al.</i> (2006).	127
Figura 42. La cartografia de la coberta d'El Hierro a partir d'imatges del S-2. La primera (A) correspon a la classificació de k=2 de les bandes espectrals i l'NDVI. La segona (B) correspon a la classificació de k=2 de les bandes espectral, l'NDVI i filtre de millora <i>majority</i>	130
Figura 43. La cartografia de la coberta d'El Hierro a partir de les imatges del S-2. La primera correspon (C) a la classificació de k=4 de les bandes espectrals i l'NDVI. La segona (D) és la classificació per k=8 veïns de les bandes espectrals-.....	131
Figura 44. La cartografia de la coberta d'El Hierro a partir de les imatges del S-2. La primera (E) és la classificació per k=8 veïns de les bandes espectrals, el filtre de <i>Sharpen</i> , i l'NDVI. La segona (F) és la classificació per k=8 veïns de les bandes espectrals, el filtre <i>Sharpen</i> , l'NDVI i filtre <i>Majority</i>	132
Figura 45. Continua les classificacions del S-2. La primera (F) correspon a la classificació per k=8 veïns de les bandes espectrals, filtre <i>Sharpen</i> , l'NDVI i filtre <i>majority</i> . La segona (H) és l'ortofotografia del PNOA del 2015 cedit per © l' <i>Instituto Geográfico Nacional</i>	133
Figura 46. Ampliació del savinar sec, <i>tabaibal amargo</i> i <i>jaral</i> a la Dehesa.	135
Figura 47. Ampliació del savinar amb pins canaris a El Julan.	137
Figura 48. Ampliació del <i>fayal-breza</i> , conreus i del nucli de Valverde	139
Figura 49. Ampliació del savinar humit a El Golfo.	141

Figura 50. La Villa de Valverde.....	146
Figura 51. Zona de la Dehesa a l'extrem oest de l'illa d'El Hierro. Aquesta àrea es destaca pel savinar, el <i>jaral</i> , el <i>tabaibal amargo</i> i les pastures amb conreus intensius.....	149
Figura 52. Comparativa entre les classificacions del GE-1 a El Julan. La primera és la classificació de les bandes espectrals, de l'índex de vegetació NDVI i el model digital d'altures de la cobertura vegetal (MDACV), la segona és la de les bandes espectrals i l'NDVI, la tercera és la de les bandes espectrals i el MDACV, la quarta és la de les bandes espectrals, l'NDVI, el MDACV i a més, el filtre <i>Majority</i> i la cinquena és el la de les bandes espectrals, el MDACV i el filtre <i>Majority</i> . El sisè és el mapa de vegetació del Del Arco <i>et al.</i> (2006). Per últim és l'ortofotografia del PNOA cedida de l' <i>Instituto Geográfico Nacional</i>	153
Figura 53. La primera és la classificació kNN per k=8 de les bandes espectral del GE-1, l'índex de vegetació NDVI i el model digital de l'altura de la cobertura de la vegetal (MDACV). La segona és classificació kNN per k=8 de les bandes espectral del GE-1 i l'índex de vegetació NDVI, sense el model digital de l'altura de la cobertura de la vegetal (MDACV). El tercer és el mapa del Del Arco <i>et al.</i> (2006). Per últim és l'ortofotografia cedida per l' <i>Instituto Geográfico Nacional</i>	155
Figura 54. Classificacions de la part d'El Golfo. La primera classificació és de les bandes espectrals, l'NDVI i el MDACV, la segona és la classificació de les bandes espectrals i l'NDVI, la tercera és el mapa de vegetació del Del Arco <i>et al.</i> (2006) i l'últim és el PNOA cedit per © l' <i>Instituto Geográfico Nacional</i>	157
Figura 55. Mapa d'intensitats i densitats de polsos de les dades Lidar de l'any 2009.....	166
Figura 56. Mapa de primers retorns, intensitats i densitats de polsos de les dades Lidar de l'any 2015.....	166
Figura 57. Model digital d'altura de la cobertura vegetal (MDACV) de les dades Lidar de l'any 2015.....	167
Figura 58. Les diferències entre les altures del savinar vell i el savinar jove localitzat a la Dehesa. A la part superior és l'ortofotografia PNOA cedida per © l' <i>Instituto Geográfico Nacional</i> (A). El model digital d'altures de la vegetació del savinar vell (B) i el model digital d'altures del savinar jove (C). La taula inferior són les estadístiques de les altures (m) de les dues comunitats.	169
Figura 59. L'estructura de la savina <i>Juniperus turbinata</i> ocupa diferents altures degut a la distribució de les branques. Aquesta imatge mostra les espècies que componen el savinar: <i>tabaiba amarga</i> o la <i>jara</i>	170
Figura 60. Model digital de les altures de la vegetació de la Dehesa. Elaboració pròpia a partir de les dades Lidar-PNOA cedit per © <i>Instituto Geográfico Nacional</i>	171
Figura 61. El núvol de punts de les dades Lidar (esquerra) i ortofotografia PNOA (dreta). Aquesta comunitat vegetal és el savinar de La Dehesa, on destaca la savina, la <i>jara</i> i la <i>tabaiba amarga</i>	172

Figura 62. Ampliació de la zona de La Dehesa. A l'esquerra és la imatge que es genera de la intensitat de polsos de les dades Lidar. A la dreta és l'ortofotografia del PNOA.....	172
Figura 63. Ampliació de la zona de El Golfo. A l'esquerra és la imatge que es genera de la intensitat de polsos de les dades Lidar. A la dreta és l'ortofotografia del PNOA.....	173
Figura 64. Els punts de d'alta vegetació del <i>fayal-brezal</i> sobre l'ortofotografia PNOA cedida per © l' <i>Instituto Geográfico Nacional</i>	174
Figura 65. Perfil de vegetació del <i>fayal-brezal</i> . L'estrat arbori mostra una gran coberta per la quantitat d'individus que el formen.....	174
Figura 66. Els punts de d'alta vegetació del pi canari sobre l' ortofotografia PNOA cedida per © l' <i>Instituto Geográfico Nacional</i>	175
Figura 67. Perfil de vegetació del pi canari.....	175
Figura 68. Els punts d'alta vegetació del savinar sec sobre l'ortofotografia imatge PNOA cedida per © l' <i>Instituto Geográfico Nacional</i>	176
Figura 69. Perfil de vegetació del savinar sec.....	176
Figura 70. Els punts d'alta vegetació del savinar sec de la Dehesa sobre l'ortofotografia PNOA cedida per © l' <i>Instituto Geográfico Nacional</i>	177
Figura 71. El perfil de vegetació del savinar sec envoltat de <i>tabaiba amarga</i> de la Dehesa.	177
Figura 72. La savina emblemàtica de l'illa d'El Hierro (Salvà-Catarineu).	178
Figura 73. <i>Tabaiba amarga</i> i <i>jara</i> que envolta la savina seca de la Dehesa. L'estrat arbustiu i herbaci del savinar sec amb reflectàncies similars a la savina obliguen a l'ús de dades complementaries, com ara, les dades Lidar.	179
Figura 74. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R1C2.	216
Figura 75. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R1C3.	217
Figura 76. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R1C4.	222
Figura 77. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R2C1.	224
Figura 78. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R2C2.	225
Figura 79. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R2C3.	226
Figura 80. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R2C4.	226
Figura 81. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R1C1.	239
Figura 82. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R1C2.	240

Figura 83. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R1C3.	240
Figura 84. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R2C2.	241
Figura 85. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R2C3.	242
Figura 86. Perfil de vegetació del savinar humit de la part nord de l'illa a la ortofotografia PNOA.....	245
Figura 87. Perfil de vegetació del savinar humit de la part nord de l'illa. A l'esquerra el model 3D i a la dreta el perfil 2D.	245
Figura 88. Els conreus de secà propers a la Vila de Valverde sobre la ortoimatge PNOA.....	246
Figura 89. Perfil de la Villa de Valverde en un model de tres dimensions	246
Figura 90. Perfil del savinar sec de la Dehesa.....	247
Figura 91. Els punts d'alta vegetació del savinar sec de la Dehesa sobre l'ortofotografia PNOA.....	247

Índex de taules

Taula 1.	Intervals del pendent de l'illa (Santana i Villalba, 2000).	32
Taula 2.	El Hierro/Precipitació mitjana mensual i anual (mm). Dades procedents AEMET elaborades pel projecte JUNITUR.....	40
Taula 3.	Classificació per classes i comunitats de l'illa d'El Hierro (Del Arco <i>et al.</i> , 2006).....	42
Taula 4.	Els mètodes de correcció topogràfica més utilitzats.	64
Taula 5.	Les tècniques de la classificació d'imatge (Jones i Vaughan, 2010):	73
Taula 6.	Les mètriques de paisatge més utilitzades són (Uuemaa <i>et al.</i> , 2013):	92
Taula 7.	Característiques de les imatges de l'SPOT-5, el Sentinel-2 i del GeoEye-1.	96
Taula 8.	Classes de vegetació a les àrees d'entrenament i test.	103
Taula 9.	Resum de les diferents classificacions.....	108
Taula 10.	Descripció de les mètriques del paisatge per quantificar les classificacions de la vegetació.....	110
Taula 11.	Distribució de la superfície (%) segons densitat de punts.....	113
Taula 12.	Nombre de GCP segons cada zona i l'error RMS corresponent de la correcció geomètrica.....	117
Taula 13.	Els valors seleccionats dels objectes foscos del SPOT-5.....	119
Taula 14.	Els valors seleccionats dels objectes foscos del S-2.....	119
Taula 15.	Els valors seleccionats dels objectes foscos del GE-1.....	120
Taula 16.	La reducció del SD en % de les imatges Sentinel-2.....	122
Taula 17.	Descripció de les classes estudiades a la correcció topogràfica.....	122
Taula 18.	Les reduccions de les desviacions estàndard de les imatge del Sentinel-2, en percentatges, per cada tipus de classe després de la correcció topogràfica per cada banda. Totes les classes han disminuït les desviacions estàndard.....	123
Taula 19.	La reducció del SD en % de les imatges Sentinel-2.....	123
Taula 20.	Les reduccions de les desviacions estàndard de les imatge del GE-1, en percentatges, per cada tipus de classe després de la correcció topogràfica per cada banda. En negreta es destaca aquell valor que ha augmentat després de la correcció topogràfica. (veure taula 8: 1. Fayal-brezal; 2. Savinar humit; 3. Savinar sec; 4. Pi insigne; 5. Pi canari; 6. Tabaibal amargo; 7. Matollar sobre colada recent; 8. Jaral; 9. Matollar de brezo i tomillar; 10. Pastures; 11. Conreus de secà; 12. Conreus de regadiu; 13. Urbà).....	123

Taula 21.	Discriminació de la diferència entre les mitjanes de les reflectàncies de les classes entre l'SPOT-5 i el S-2, entre l'SPOT-5 i el GE-1 i el S-2 i el GE-1. Els verds clars indiquen una semblança entre valors i els verds més foscos mostren diferències notòries. Les columnes de color fosc sense valors són per l'absència de la banda blava del satèl·lit l'SPOT-5. Els valors del 1 al 13 corresponen a la taula 14.	124
Taula 22.	Matriu de confusió de la classificació de la imatge de l'SPOT-5.....	124
Taula 23.	Encerts globals (EG) i índex Kappa (IK) de les classificacions del S-2.....	126
Taula 24.	Matriu de confusions de la classificació k=2 veïns de les bandes espectrals (2-8a) i l'NDVI (a), de la classificació K=2 veïns de les bandes espectrals (2-8a) i l'NDVI més el filtre <i>Majority</i> (b), de la classificació de k=4 veïns de les bandes espectrals (2-8a) i l'NDVI (c), de la classificació de k=8 veïns amb bandes espectrals (2-8a) únicament (d), de la classificació k=8 veïns amb les bandes espectrals (2-8a) i el NDVI (e), de la classificació amb el filtre de millora <i>Sharpen</i> a les bandes espectrals (2-8a) i l'NDVI (f) i de la classificació amb el filtre de millora <i>Sharpen</i> a les bandes espectrals (2-8a) i l'NDVI més el filtre <i>Majority</i> (g).	128
Taula 25.	Matriu de confusió de la classificació de La Dehesa, on es troba savinar sec, <i>tabaibal amargo</i> , <i>jaral</i> i pastures. La primera (a) és de les bandes espectrals i l'NDVI sense el Model Digital d'Altures de la Cobertura Vegetal (MDACV) i la segona (b) és amb les bandes espectrals, l'NDVI i el MDACV. ECo = Error de comissió, EUs= Exactitud d'usuari, EOs= Error d'omissió, EPr= Exactitud de productor, EG = Encert global i IK= Índex Kappa.	142
Taula 26.	Matriu de confusió de la classificació d'El Julan: la part del savinar junt al pi canari i el <i>tabaibal amargo</i> . La primera (a) és de les bandes espectrals, l'NDVI i Model Digital d'Altures de Cobertura Vegetal (MDACV), la segona (b) és classificació de les bandes espectrals i l'NDVI, la tercera classificació (c) de les bandes espectrals i el MDACV, la quarta classificació (d) de les bandes espectrals, l'NDVI, el MDACV, i a més el filtre de millora <i>Majority</i> , la cinquena (e) és la classificació de les bandes espectrals, el MDACV i el filtre de millora <i>Majority</i> . ECo = Error de comissió, EUs= Exactitud d'usuari, EOs= Error d'omissió, EPr= Exactitud de productor, EG = Encert global i IK= Índex Kappa.....	143
Taula 27.	Matriu de confusió de la classificació de la Villa de Valderde La primera (a) és amb les bandes espectrals, l'NDVI i sense el Model Digital d'Altures de la Cobertura Vegetal (MDACV) i la segona (b) és de les bandes espectrals, l'NDVI i sense MDACV. ECo = Error de comissió, EUs= Exactitud d'usuari, EOs= Error d'omissió, EPr= Exactitud de productor, EG = Encert global i IK= Índex Kappa.	145
Taula 28.	Matriu de confusions d'El Golfo, on s'identifica el savinar humit. La primera (a) és de les bandes espectrals, l'NDVI i sense model digital d'altures de la cobertura vegetal (MDACV) i la segona (b) és amb el MDACV. ECo = Error de comissió, EUs= Exactitud d'usuari, EOs= Error d'omissió, EPr= Exactitud de productor, EG = Encert global i IK= Índex Kappa.	146

Taula 29.	Comparativa de mètriques de fragmentació i <i>core-edge</i> del S-2 i l'SPOT-5.....	159
Taula 30.	Comparativa de les hectàrees de les classes entre el mapa de referència del Del Arco <i>et al.</i> 2006 i les classificacions del S-2 i GE-1 de La Dehesa.	160
Taula 31.	Les mètriques de les classificacions de imatge S-2 i GE-1 a La Dehesa.	161
Taula 32.	Les mètriques de la classificació S-2 a El Julan.	162
Taula 33.	Comparativa de les hectàrees de les classes entre el mapa de referència i les classificacions d'El Julan.....	162
Taula 34.	Les mètriques de S-2 i GE-1 a la Villa de Valverde.....	163
Taula 35.	Comparativa de les hectàrees de les classes entre el mapa de referència i les classificacions de la Villa de Valverde.....	163
Taula 36.	Les mètriques de S-2 i GE-1 a la part d'El Golfo	164
Taula 37.	Comparativa de les hectàrees de les classes entre el mapa de referència i les classificacions de la Villa de Valverde.....	165
Taula 38.	Resum de les estadístiques de les dades Lidar de La Dehesa.....	168

Índex d'acrònims

BOA: *Bottom Of Atmosphere*

GCP: *Ground Control Points*

GE-1: GeoEye-1

ha: hectàrees

Ifov: *Instantaneous Field Of View* o camp de visió instantani

Lidar: *Laser Detection And Ranging*

m: metres

MDACV: Model Digital d'Altures de la Cobertura Vegetal.

NDVI: Normalized difference vegetation index – índex de vegetació de diferència normalitzada.

PNOA: *Plan Nacional de Ortofotografia Aèria*.

RGB: *Red, Green, Blue*.

RMS: *Root Mean Square Error* o error quadràtic mitjà.

S-2: Sentinel-2

TOA: *Top Of Atmosphere*

CAPÍTOL 1

Introducció

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Introducció general

Les illes són entorns naturals amb una biodiversitat importants que cal estudiar i conservar. Aquestes extensions terrestres són de gran interès perquè han evolucionat sense interrupció pel seu aïllament. Per tant, els processos geomorfològics, bioquímics i hidrològics donen com a resultat unes comunitats singulars i de caràcter únic amb patrons particulars de biodiversitat i alt grau d'endemisme (Fernandes *et al.*, 2014).

L'illa d'El Hierro (Canàries), és la més jove geològicament de l'arxipèlag, posseeix una àmplia diversitat bioclimàtica a causa de la seva considerable altitud. Pertany al grup d'illes amb els cims més elevats i inclús es veu desbordada per les boires dels alisis del NE. Els seus pisos bioclimàtics acullen comunitats vegetals característiques de l'arxipèlag. Aquesta illa forma part de la regió macaronèsica, definida per una gran biodiversitat i paisatges característics per endemismes (Gaisberg i Stierstorfer, 2005). Les condicions ecològiques, una orografia complexa i un rang altitudinal bastant elevat permet que es desenvolupin comunitats vegetals diverses (Salvà-Catarineu i Romo-Díez, 2008; Santos, 2000).

Les comunitats vegetals potencials de l'illa són: *tabaibal dulce* (*Euphorbia balsamifera*). El *cardonal* (*Euphorbia canariensis*), el savinar de *Juniperus turbinata* subsp. *canariensis*, el monteverde (o laurisilva) amb les seves variants i la pineda de *Pinus canariensis*. Tanmateix la transformació humana del paisatge ha fet que proliferin diverses comunitats de substitució, com ara, el *tabaibal* amarg (*Euphorbia lamarckii*) o el *fayal-brezal* (*Erica arborea*) (Del Arco, 2006). Obtenir un mapa de qualitat de la vegetació de l'illa és un repte per què presenta un paisatge fragmentat i complex.

Alguns sectors d'El Hierro són inaccessibles i la combinació de les imatges de teledetecció amb els classificadors estadístics han millorat la cartografia de vegetació. La teledetecció fa possible l'observació i el seguiment en el temps a distància on l'home no pot arribar. A més, les campanyes de treball de camp d'aquest projecte se'ls hi destina una gran part del pressupost i de temps. Per aquest motiu, la proposta d'aquest estudi és l'ús de diferents resolucions espacials i espectrals de les imatges de satèl·lit per observar el grau d'influència sobre la cartografia del paisatge d'El Hierro per millorar la seva qualitat.

La selecció de les imatges de satèl·lit depèn de la resolució espacial i espectral necessària per observar l'objecte d'estudi, i en el cas d'El Hierro compta amb un afegit: la nuvolositat. Aquesta selecció es limitada pel cost de la imatge. De molt alta resolució és un nivell de detall adequat per estudiar a nivell d'individu però els costos econòmics són elevats. Per tant, el pressupost disponible és clau per definir l'escala de treball.

En general, els sensors passius en l'espectre òptic són més potencials a l'hora de separar les espècies d'arbres que en els sensors actius, sobretot aquelles amb variacions de fenologia, en aquests casos, és imprescindible l'adquisició i processament multitemporal d'imatges (Fassnacht *et al.*, 2016; Immitzer *et al.*, 2018). Les dates d'anàlisi han de ser de la mateixa època estacional, sobretot si s'estudia la vegetació (Serra *et al.*, 2003) per aquest motiu el cicle fenològic de l'espècie és clau per la seva identificació (Fassnacht *et al.*, 2016).

La realització de de classificacions d'imatges preses en diferents dates, i per tant, sota diferents condicions d'il·luminació (principalment per diversos valors de la posició solar) poden portar a l'assignació de classes temàtiques diferents a un mateix punt del territori. Aquest fenomen es pot evitar mitjançant l'ús de les imatges corregides radiomètricament, en les quals els nombres digitals de cada cel·la han estat convertits a reflectàncies. Les classificacions realitzades mitjançant imatges corregides ha donat més encerts perquè es disminueix el canvi d'il·luminacions (Salvador *et al.*, 1996).

La tecnologia ha avançat en els darrers anys i actualment es disposa de les dades Lidar. Aquestes són la font de dades mitjançant l'anàlisi amb el programari de SIG dona com a resultat, el perfil de vegetació acurat d'una comunitat vegetal. Els sensors passius, com ho són les imatges de satèl·lits del GeoEye-1, Sentinel-2 o l'SPOT-5, ofereixen dades bidimensionals mentre que les dades Lidar permeten definir patrons espacials de la vegetació en tres dimensions. A més, augmenta l'exactitud de les mesures biofísiques i l'extensió de l'anàlisi espacial, proveint de mapes topogràfics d'alta resolució i més exactitud, disminuint els inconvenients de les confusions de certes cobertes.

1.2. Els objectius

L'objectiu de la tesi és classificar les imatges de satèl·lit SPOT-5, Sentinel-2 i GeoEye-1 per obtenir cartografia de la vegetació de l'illa d'El Hierro. Quantificar el patró paisatgístic i comparar els canvis de resolució espacial i de satèl·lit amb el càlcul de les mètriques de paisatge. Obtenir resultats més encertats de les comunitats vegetals de l'illa mitjançant l'ús de les dades Lidar.

Els objectius específics de la tesi són:

- Corregir geomètricament les imatges de satèl·lit del GeoEye-1.
- Corregir radiomètricament les imatges dels satèl·lits de l'SPOT-5, del Sentinel-2 i del GeoEye-1.
- Classificar les bandes espectrals amb el classificador kNN per delimitar les comunitats vegetals d'El Hierro.
- Quantificar les diferències de les classificacions derivades de les imatges de satèl·lits de resolucions espacials i espectrals diverses per conèixer els trets característics que influeixen en l'anàlisi de la vegetació.
- Utilitzar dades Lidar i l'índex de vegetació de diferència normalitzada per aconseguir classificacions més exactes a les dades de referència.

CAPÍTOL 2

Marc geogràfic d'El Hierro

2. MARC GEOGRÀFIC D'EL HIERRO

2.1. Situació i límits

L'illa d'El Hierro, a l'extrem sudoccidental de l'arxipèlag de les illes Canàries és la més petita de les vuit illes principals amb 267,68 km². El Hierro es troba a 14 km a S de La Palma i a 10 km al SW de La Gomera. És la més jove, formada volcànicament en tres etapes d'entre 1,1 Ma i 2,5 ka (Carracedo *et al.*, 2001). Es caracteritza per una marcada diversitat morfològica i paisatgística, amb altitud màxima de 1.500 metres a Malpaso (1.502 m) (Fernández-Pello, 1989). L'any 2000, va ser declarada Reserva de la Biosfera per la UNESCO (Programa Hombre y Biosfera, MAB) (Del Arco *et al.*, 2006; Nogales *et al.*, 2009; Salvà-Catarineu *et al.*, 2012).

A finals de 1634, els cartògrafs europeus van acordar adoptar com a meridiana de referència el que passa per la occidental de l'illa, 18°08'49.42" a l'oest de Greenwich. L'any 1884 es va adoptar el meridiana de Greenwich com a meridiana de referència a nivell internacional.

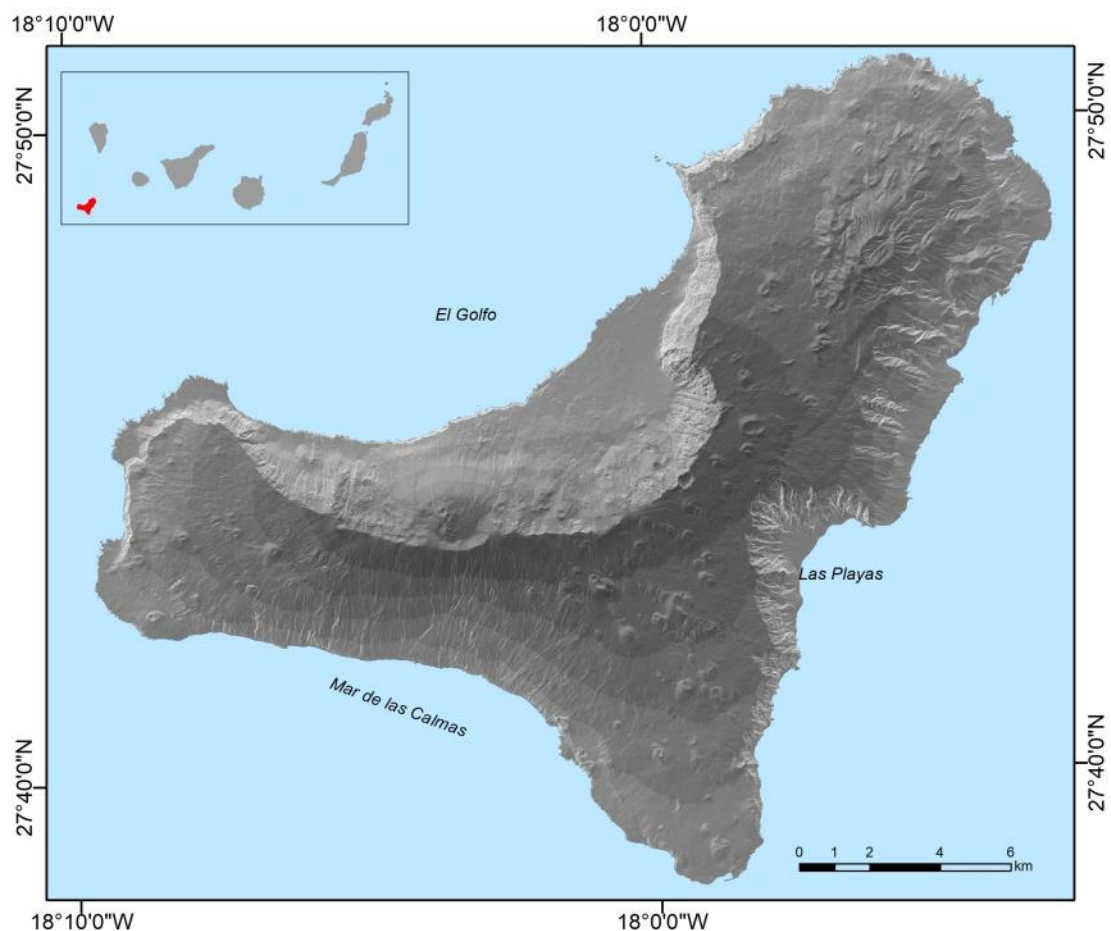


Figura 1. Mapa de situació de l'illa d'El Hierro amb el Model Digital d'Elevacions (MDE) i el model d'ombres.

2.2. Topografia i relleu

L'illa d'El Hierro està formada a partir de tres eixos o dorsals (rifts) de direcció NE, NW i S, que són resultat de l'activitat volcànica (figura 1). Les formes que se'n deriven són els massissos, entesos com a blocs interfluvis més o menys compactes, amb extrems ben definits pels forts penya-segats, blocs que culminen en una cresta central o una superfície més o menys planera, generant un desnivell considerable i pendents elevades des del centre fins a la zona de la costa (taula 1). La forma de l'illa és triangular, retallada pels barrancs d'escassa profunditat i penya-segats. Un element morfològic molt significatiu de l'illa són els grans lliscaments, els més pronunciats dels quals són el d' "El Golfo" al nord, i el de "Las Playas", a la part est (Carracedo *et al.*, 2015).

Taula 1. Interval·ls del pendent de l'illa (Santana i Villalba, 2000).

Graus	km ²	%
0-3	11,7	4,3
3-6	34,3	12,8
6-12	85,9	31,9
12-24	86,0	32,0
24-36	39,7	14,8
36-48	9,8	3,6
> 48	1,6	0,6
TOTAL:	269,0	100,0

2.3. Geologia i geomorfologia

El Hierro té forma de piràmide triangular amb alternança de dorsals (o rifts) i depressions calderiformes originades pels lliscaments gravitatoris massius. El paleomagnetisme dels materials que formen l'illa ha proporcionat valuosa informació sobre l'edat de les diferents formacions volcàniques, que es correlacionen amb la polaritat magnètica de les laves i l'escala de les inversions paleomagnètiques. Aquesta informació geocronològica s'associa amb les observacions de la relació entre les diferents formacions volcàniques i la composició de les laves. Les dades paleomagnètiques, la cartografia geològica de detall i la datació radiomètrica han permès una àmplia reconstrucció de la història volcànica de l'illa (Carracedo, 2008; Carracedo *et al.*, 2015).

El Hierro va ser originat per tres grans episodis volcànics successius de diferent localització: Tiñor, El Golfo i els Rifts (Carracedo, 2008). Tots van créixer fins a nivells inestables, col·lapsant lateralment i generant grans depressions calderiformes. L'illa actual és fruit de l'explosió del magma que va trencar l'escorça, i va generar una fractura triple. El volcà Tiñor va començar al NE i és el més antic dels tres. El volcà d'El Golfo es va implantar a la conca de lliscament del volcà Tiñor i va estendre l'illa cap a l'oest. Gran part de les erupcions d'aquest volcà van precipitar a l'oceà. Aquesta activitat volcànica va despendre materials silícis i d'alt contingut en alcalins típics de la zona canària. Els processos geològics produïts pel sistema triple de rift varen afavorir la concentració de les erupcions en el centre de l'illa, augmentant-ne l'altura i la inestabilitat gravitatòria. El cos central de l'illa presenta restes d'una cresta més antiga, datada del període Cretaci (133 Ma) (figura 2). A més, els esforços tensionals de les injeccions de dics en els eixos dels rifts provoquen col·lapses laterals. Els lliscaments produïts a l'illa són diversos, tot i que, el més conegut és el d'El Golfo, que és el resultat d'un lliscament amb 1.400 m de

desnivell i gairebé amb un escarpat vertical. Probablement és el lliscament gegant més jove de l'arxipèlag canari, que pot anar d'entre els 130 - 39 ka, o bé tan recent com 13 ka (Carracedo, 2008; Carracedo *et al.*, 2015).

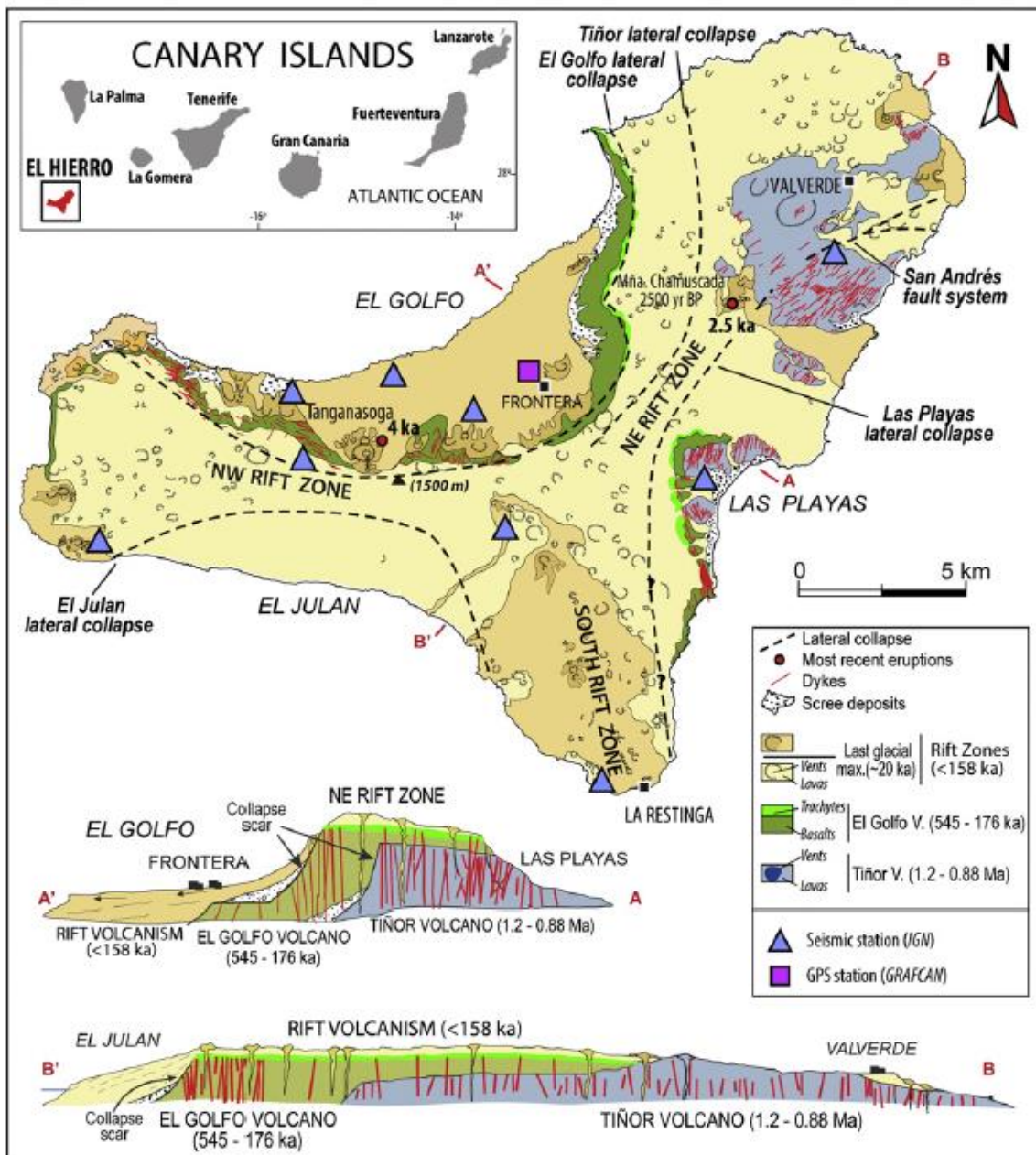


Figura 2. Mapa geològic i una mostra representativa d'El Hierro (Carracedo *et al.*, 2015).

Els elements estructurals més significatius de l'illa són les dorsals o rifts i els lliscaments gravitatoris massius. En el context volcànic, els sistemes de rift donen lloc a nombrosos centres eruptius amb un elevat nombre de cons volcànics i extensos camps de colades de lava de les més diverses morfologies, especialment a les plataformes costaneres. Els tubs i canals volcànics van ser eficaços en el transport de lava a grans distàncies (figura 3) (Fernández-Pello, 1985). També els dics van ser clau, en la morfologia de l'illa, com a conductes d'alimentació dels centres eruptius (Carracedo, 2008).

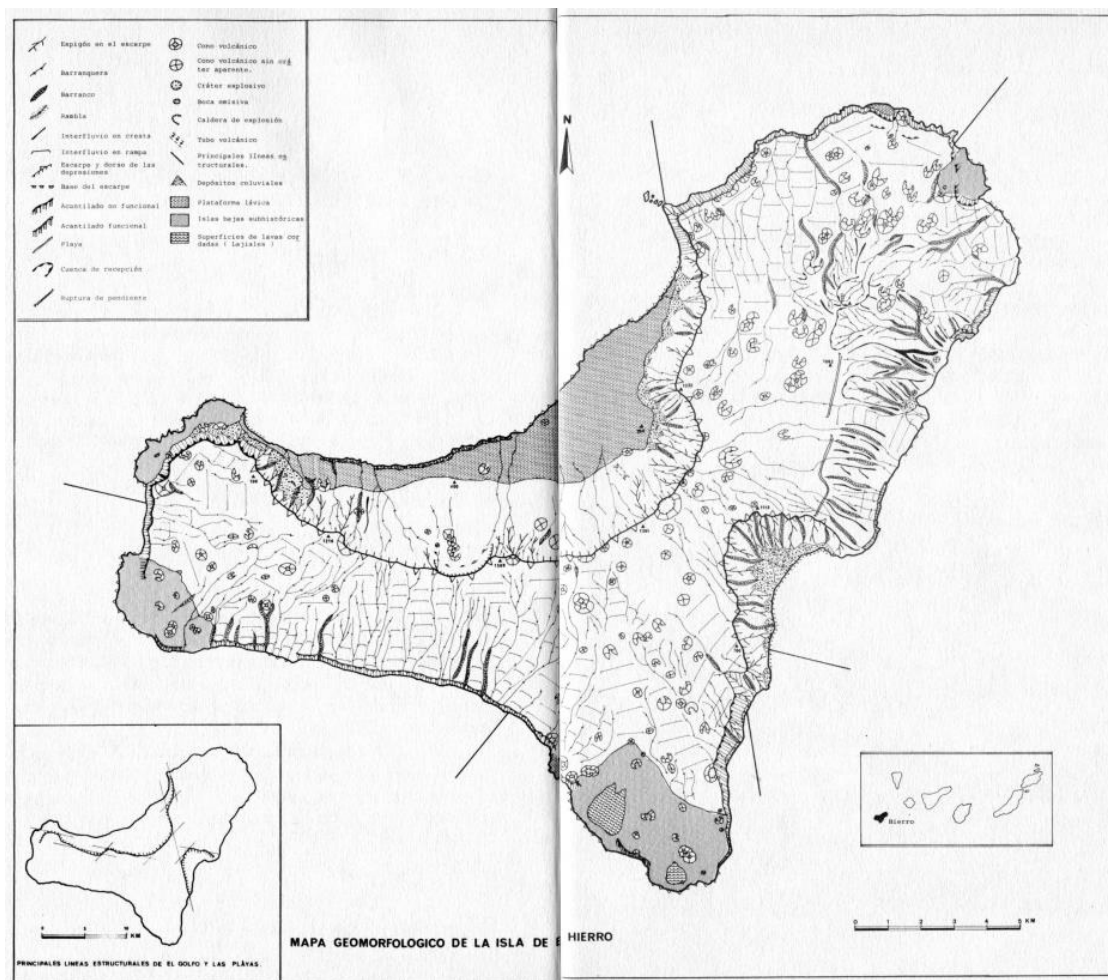


Figura 3. Mapa geomorfològic d'El Hierro (Fernández-Pello, 1985).

2.4. Climatologia

Les illes Canàries es localitzen, des del punt de vista de la dinàmica atmosfèrica, a la transició de la latitud temperada a la tropical. Els vents predominants a la latitud tropical són els alisis a nivell de superfície. Aquests vents s'originen a l'extrem de l'anticicló de les Açores i són més freqüents a l'estiu (gairebé el 90% dels dies) que la resta de l'any. Aquest anticicló s'intensifica per l'acció dels corrents oceànics de Canàries, i en capes mitjanes i altes per la subsidència de l'aire superior. Aquest fenomen evoluciona cap a una estabilitat atmosfèrica, que afavoreix una inversió tèrmica de subsidència al voltant dels 1.000 metres d'altitud, que impedeix el desenvolupament vertical de núvols i només permet el mantell de núvols estratiformes (Marzol, 2000).

Els factors geogràfics claus per entendre el clima d'El Hierro a tres escales espacials són: la situació latitudinal de l'arxipèlag canari, el conjunt format per les vuit illes principals i l'orografia específica de l'illa d'El Hierro marcada per un relleu i orientacions complexes que es converteix en una gran diversitat climàtica.

Els corrents oceànics freds produïts pel sorgiment d'aigües profundes fan que les màximes d'estiu siguin suaus i a l'hivern les mínimes siguin temperades. Aquests corrents són responsables dels trets tèrmics i higromètrics de l'aire, que són determinants en el potencial de les precipitacions que afecten l'illa. En canvi, les masses d'aire procedents d'Àfrica determinen els dies més calorosos i secs a les illes.

L'altitud i disposició del relleu marquen la tendència de la precipitació, la temperatura i la nuvolositat. A més, l'orografia permet l'estancament de nuvolositat al vessant nord, dona lloc a un marcat contrast entre la cara septentrional, més humida i la cara meridional, més seca. Es generen tres zones altitudinals segons els volum d'aigua: la costanera (amb valors <200 mm, inclús <100 mm anuals), les altituds mitjanes (entre 200 i 600 mm anuals) i els sectors de carena i cims més elevats (valors >600 mm, fins a 900 mm anuals). Pel que fa a la temperatura, en sentit vertical, es donen canvis ràpids. La mitjana anual, a la costa es situa entre 20 i 22°C, decreix progressivament fins als 12°C als sectors intermedis i pot assolir valors poc inferiors a 10°C als punts més elevats de l'illa (figures 4, 5 i 7, taula 2).

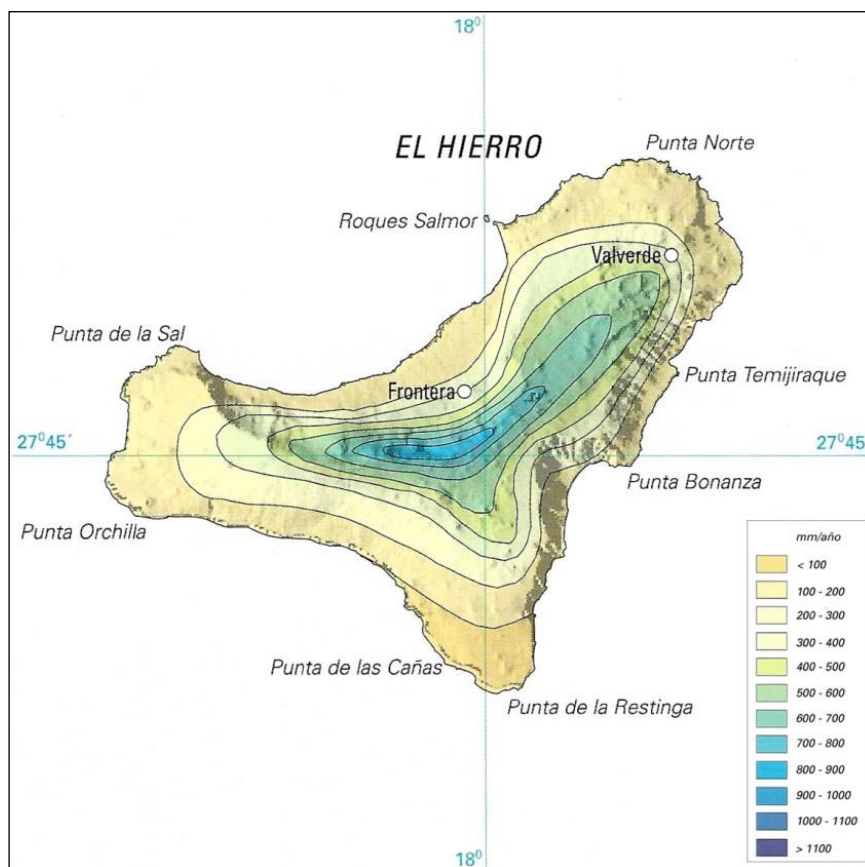


Figura 4. Mapa d'isohietes de les precipitacions d'El Hierro (Marzol, 2000).

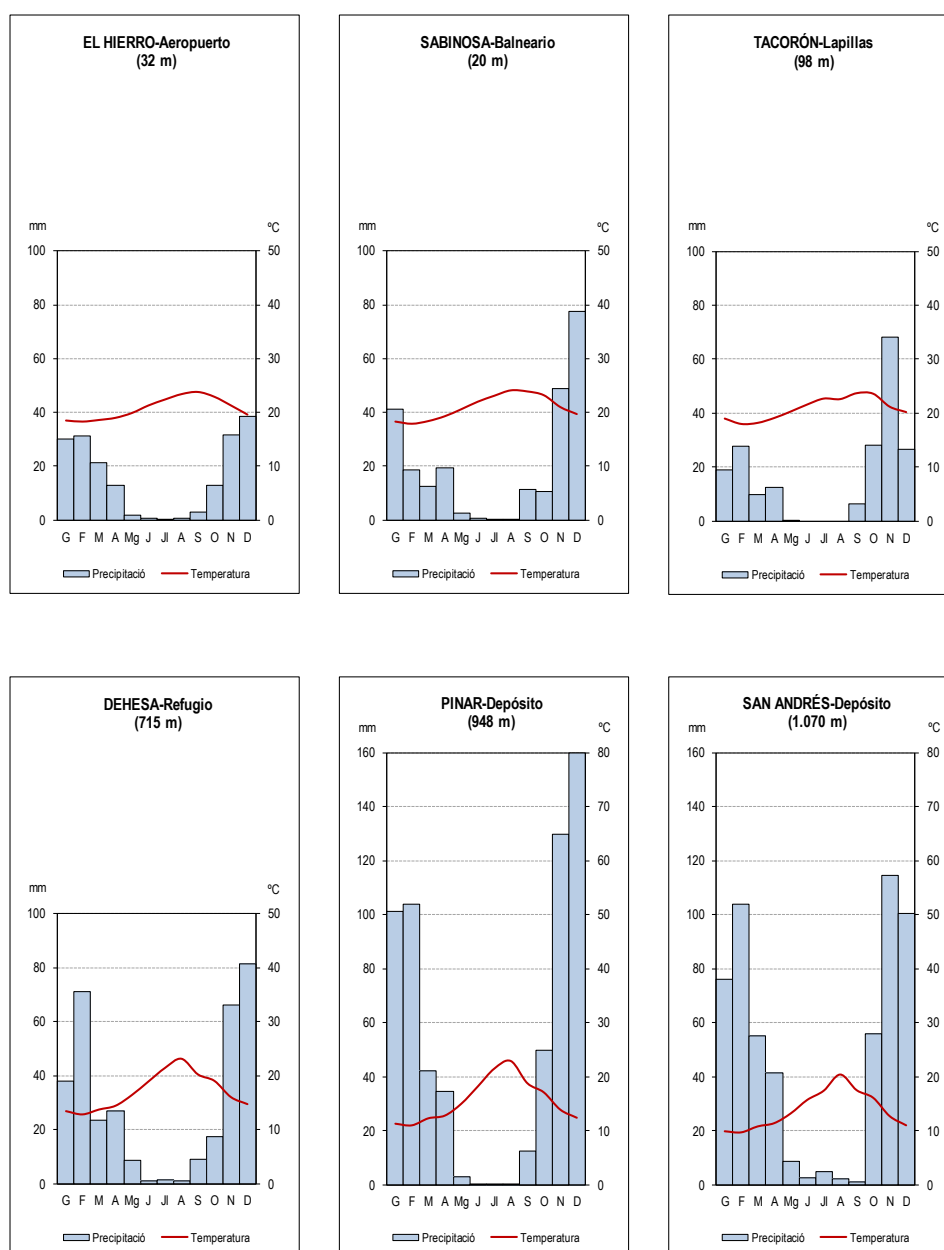


Figura 5. Histograma de les precipitacions i temperatures de l'illa d'El Hierro (Marzol, 2000). La sèrie d'El Hierro-Aeropuerto és del 1974 al 2014, en canvi, la resta d'estacions són del 2009 al 2014.

Els corrents oceànics freds de Canàries influeixen a la massa d'aire més freqüent a l'Arxipèlag, que és la tropical marítima amb una humitat relativa elevada, al voltant del 70%, i unes temperatures fresques entre els 18-20°C. D'aquesta massa d'aire se'n deriva l'anticicló de les Açores. De vegades, també arriba un aire polar marítim procedent de l'Atlàntic N, que deriva en precipitacions i una disminució de la temperatura. Quan l'aire que arriba a les illes és el tropical continental del Desert del Sàhara, les temperatures augmenten i l'ambient es torna més sec. Aquest aire transporta partícules que produeix el fenomen conegut com *calima*.

El Hierro, juntament amb la resta de les illes Canàries, són de les més riques i diverses biològicament de la regió macaronèsica (figura 5). La regió macaronèsica esta composta principalment per illes centrals atlàntiques, incloent els arxipèlags de les Açores, Madeira, les

illes Canàries i Cap Verd (Fernandes *et al.*, 2015). Existeixen un gran nombre d'hàbitats degut a l'intercanvi que es produeix entre els vents occidentals, frescos i humits, i els secs i calorosos d'origen saharià provocant una gran quantitat de contrastos.

Aquest relleu abrupte dibuixa una diversitat topoclimàtica amb canvis tèrmics acusats formant cúmuls al voltant de les muntanyes, a les altituds d'entre 900 m i 1.500 metres, en un espai reduït del territori. El resultat d'aquests processos meteorològics són ambients bioclimàtics (figura 6) contrastats amb paisatges i la composició biogeogràfica ben diferenciada. El clima (figura 6) és resultat d'una interacció de les corrents marines del banc saharià i els vents alisis, que bufen moderats a forts, fan que sigui suau i uniforme. Les temperatures costaneres oscil·len entre els 19 i 23°.

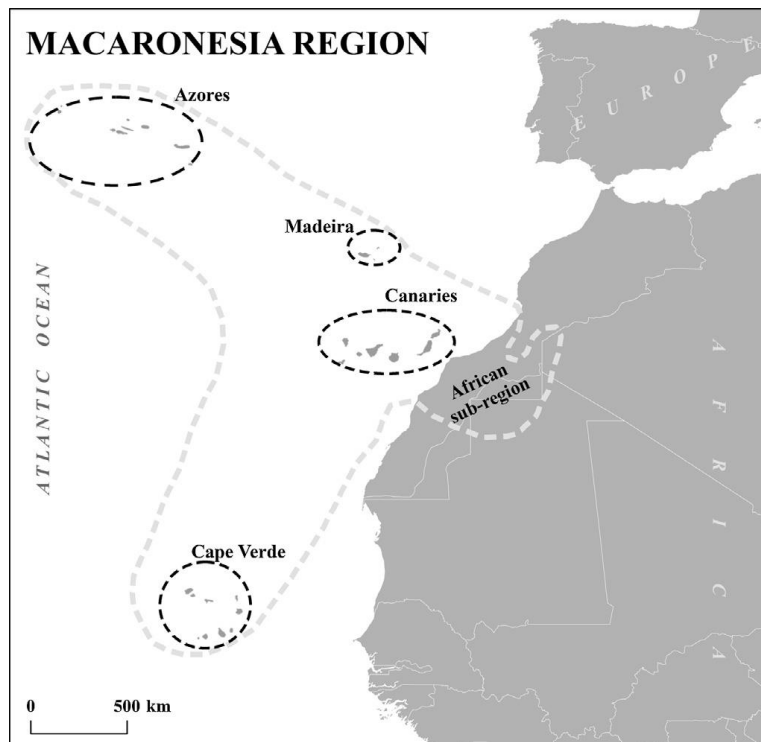


Figura 6. Localització de la regió macaronèsica (Fernandes *et al.*, 2015).

Els pisos bioclimàtics són cadascú dels tipus o espais termo-ombroclimàtics que succeeixen en una serralada altitudinal o latitudinal i mostren una correlació amb els canvis de vegetació que es produeixen. Són espais físics, definits per característiques climàtiques, que s'associen amb comunitats vegetals. No confondre's amb els pisos de vegetació, els quals estan definits per la seva fisiognomia concordant de diverses comunitats vegetals.

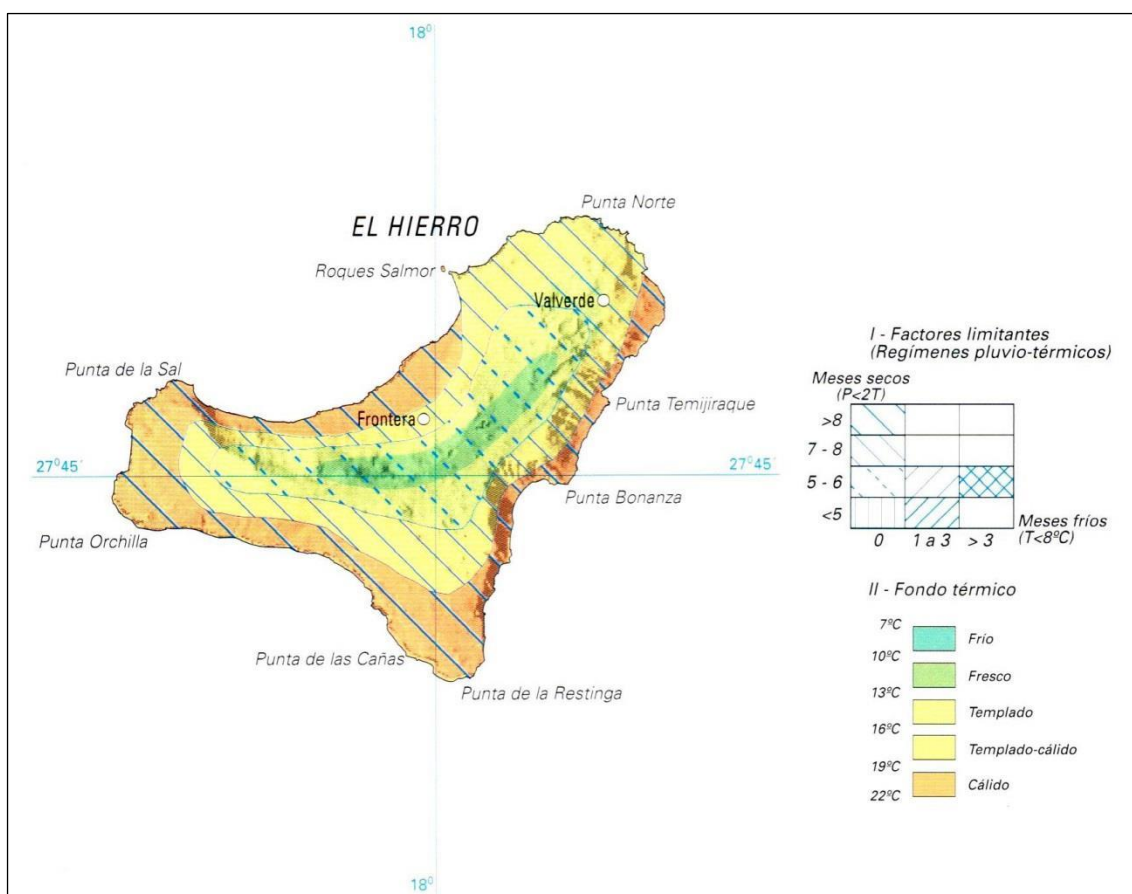


Figura 7. Mapa del clima d’El Hierro. La zona de la costa és un clima càlid, a mesura que augmenta l’altitud fins a arribar al cim va esdevenint més fresc o fred (Marzol, 2000).

A la taula pluvio-termomètrica (taula 2) es presenten les dades d’AEMET disponibles de la precipitació i temperatura en diferents indrets de l’illa durant els darrers anys (5 anys), excepte la sèrie de l’aeroport d’El Hierro que constitueix la sèrie de referència (40 anys). Les darreres 3 estacions termomètriques de la taula, corresponen a les observacions realitzades pel projecte JUNITUR (3 anys) i s’ubiquen plenament, a diferència de les anteriors, enmig d’àrees ocupades per savinars. La distribució de columnes esta pensada per a representar els mesos de més precipitació a la part central de la taula i els més secs als extrems. La darrera columna correspon als valors mitjans anuals de temperatura i precipitació de l’illa. Les estacions estan ordenades de menys a més altura.

S’observa una marcada coincidència en el ritme pluvio-termomètric entre totes les estacions de l’illa, així com els contrastos esperats d’acord amb la bibliografia precedent (Fernández-Pello, 1989; Marzol, 2000; Salvà-Catarineu *et al.*, 2014) tant altitudinals (augment de la precipitació, disminució tèrmica) com entre vessants oposats (nord lleugerament més plujós i fresc, sud més càlid i eixut, amb període de sequera més acusat) (figura 6). La precipitació es concentra a finals de tardor i a inici de l’hivern. Els valors tèrmics són suaus tot l’any, amb escassa oscil·lació i absència total de glaçades.

L'anàlisi de les dades diàries de tres cicles anuals en l'àmbit dels savinars (des de setembre 2012-agost 2015), ha permès constatar que els contrastos més acusats en la termo-higrometria de l'aire, entre el nord (Sabinosa i La Dehesa, a sobrevent) i el sud (Julan, a sotavent) de l'illa es donen els mesos d'estiu, mentre que durant l'hivern és major el contrast en la termo-higrometria del sòl (Salvà-Catarineu *et al.*, 2014, 2016).

Taula 2. El Hierro/Precipitació mitjana mensual i anual (mm). Dades procedents AEMET elaborades pel projecte JUNITUR.

EL HIERRO / Precipitació mitjana mensual i anual (mm). Dades procedents AEMET																
estació (codi AEMET)	alt m snm	sèrie	% dds disp	St	Oc	Nv	Ds	Gn	Fb	Mr	Ab	Mg	Jn	Jl	Ag	PPT anual
estació de referència per a l'illa																
EL HIERRO-Aeropuerto (C929I)	32	1974-2014	100,0	2,8	12,9	31,8	38,5	30,2	31,1	21,5	13,1	1,8	0,8	0,1	0,6	185,2
estacions automàtiques d'AEMET																
SABINOSA-Baleario (C939T)	20	2009-2014	77,9	11,5	10,5	48,9	77,6	41,1	18,7	12,4	19,6	2,6	0,5	0,4	0,4	244,2
TACORÓN-Lapillas (C919K)	98	2010-2014	92,4	6,4	28,3	68,2	26,5	18,9	27,7	9,9	12,3	0,2	0,0	0,0	0,0	198,2
DEHESA-Refugio (C917E)	715	2009-2014	94,8	9,1	17,2	66,1	81,2	37,9	71,2	23,3	26,8	8,6	1,0	1,4	1,0	344,7
PINAR-Depósito (C916Q)	948	2009-2014	93,8	12,6	49,7	129,8	160,0	101,1	103,7	42,1	34,4	3,1	0,2	0,1	0,1	636,8
SAN ANDRÉS-Depósito (C925F)	1.070	2009-2014	93,0	1,0	55,8	114,7	100,4	76,2	103,8	55,2	41,5	8,5	2,6	4,8	2,1	566,5
EL HIERRO / Temperatura mitjana mensual i anual (°C). Dades procedents AEMET i Projecte JUNITUR																
estació (codi AEMET)	alt m snm	sèrie	% dds disp	St	Oc	Nv	Ds	Gn	Fb	Mr	Ab	Mg	Jn	Jl	Ag	T anual
estació de referència per a l'illa																
EL HIERRO-Aeropuerto (C929I)	32	1974-2014	100,0	23,8	22,9	21,3	19,6	18,5	18,3	18,6	19,0	19,9	21,3	22,4	23,4	20,8
estacions automàtiques d'AEMET																
SABINOSA-Baleario (C939T)	20	2009-2014	77,9	23,9	23,2	21,0	19,7	18,3	17,9	18,4	19,3	20,6	22,0	23,1	24,1	20,9
TACORÓN-Lapillas (C919K)	98	2010-2014	92,4	23,7	23,6	21,2	20,2	19,0	18,0	18,2	19,1	20,3	21,6	22,7	22,6	20,9
DEHESA-Refugio (C917E)	715	2009-2014	94,8	20,2	19,0	16,0	14,7	13,4	12,8	13,7	14,4	16,4	18,9	21,4	23,1	17,0
PINAR-Depósito (C916Q)	948	2009-2014	93,8	18,8	17,1	13,9	12,4	11,3	11,0	12,3	12,8	15,0	18,2	21,5	22,9	15,6
SAN ANDRÉS-Depósito (C925F)	1.070	2009-2014	93,0	17,5	16,1	12,7	11,0	9,9	9,7	10,8	11,4	13,2	15,7	17,4	20,4	13,8
estacions del Projecte Junitur																
SABINOSA	258	2012-2015	100,0	22,7	21,7	19,0	17,5	16,2	15,7	16,3	17,7	18,8	20,0	21,8	22,5	19,2
EL SABINAR DE LA DEHESA	528	2012-2015	100,0	20,7	19,9	17,0	15,6	14,1	13,6	14,4	15,8	17,0	17,4	20,2	21,1	17,2
EL JULIAN	996	2012-2015	100,0	19,4	17,8	14,3	13,3	12,1	11,7	13,2	14,5	17,5	18,0	22,9	23,7	16,5

2.5. Biogeografia

Els pisos bioclimàtics altitudinals de l'illa donen lloc a comunitats vegetals endèmiques i de gran diversitat, el savinar de *Juniperus turbinata ssp canariensis* és un exemple. Aquests estatges vegetals són l'hàbitat d'un conjunt d'espècies animals peculiars com ara el *Lagarto Gigante* d'El Hierro.

2.5.1. Vegetació

L'extensió reduïda de l'illa i la seva orografia han condicionat el desenvolupament òptim de la seva vegetació, alterada com a tot l'arxipèlag, per l'ocupació d'una població aborigen i en particular la seva explotació intensiva a partir del S. XV.

L'heterogeneïtat observada a la distribució de la vegetació està fortament influenciada per les relacions a distància entre les illes i entre les illes-continents, que forma una barreja entre neo-paleoendemismes que caracteritza la flora de Macaronesia (Fernandes *et al.*, 2015).

Per una banda, l'estructura de la vegetació de Canàries és el model altitudinal bioclimàtic amb cinc estatges: inframediterrani, termomediterrani, mesomediterrani, supramediterrani i oromediterrani. En el cas d'El Hierro, s'identifiquen els tres primers estatges. Les principals comunitats a l'inframediterrània és el *cardonal-tabaibal* i en al termomediterrani, els savinars. El *fayal-brezal* ocupa els cims humits, especialment l'altiplà de Nisdafe, ben desenvolupat, extens fins a la zona d'Isora. Els vents alisis perden força/intensitat quan arriben al vessant sud de l'illa, on predomina l'ambient sec i disposa de menys recursos hídrics. Aquests factors coincideixen amb les condicions òptimes de la pineda que ocupa 2445,39 ha (M.-J. del Arco Aguilar, González-González, Garzón-Machado, & Pizarro-Hernández, 2010). La pineda herrenya amb presència de savina és a cotes inferiors, al voltant de les cotes 450 – 500 m. La vegetació costanera de les zones més àrides amb el *tabaibal*, *cardones* i altres espècies de l'illa, és ben representada entre el Savinar i el Faro de Orchilla (Santos, 2000).

Per l'altra banda, la vegetació potencial de l'illa des de la costa fins al cim es caracteritza per les següents comunitats vegetals: el *tabaibal dulce* on destaca la *tabaiba dulce* (*Euphorbia balsamifera*) (figura 9a), a l'oest el *cardonal* caracteritzat pel *cardón* (*Euphorbia canariensis*) (figura 9b) propi del pis inframediterrani semiàrid inferior, que ocupa l'anell fragmentat a la costa del vessant nord. El savinar, explicat més endavant, es caracteritza pel *Juniperus turbinata ssp. canariensis* (savina canària) (figura 9c), es troba en els pisos infra i termomediterrani semiàrid superior i semiàrid inferior (sense boires o ocasionals), la zona de transició amb el pi és el termomediterrani sec inferior. El monteverde (laurisilva) és al pis termomediterrani i mesomediterrani al vessant nord. La pineda destacada pel pi canari (*Pinus canariensis*) (figura 9e) és al vessant meridional fora de la influència de les boires. Es pot parlar de pi canari o pi de canàries, però la majoria d'autors de les flors de canàries utilitzen el nom vernacle de pi canari i per aquest motiu s'utilitza així a la tesi.

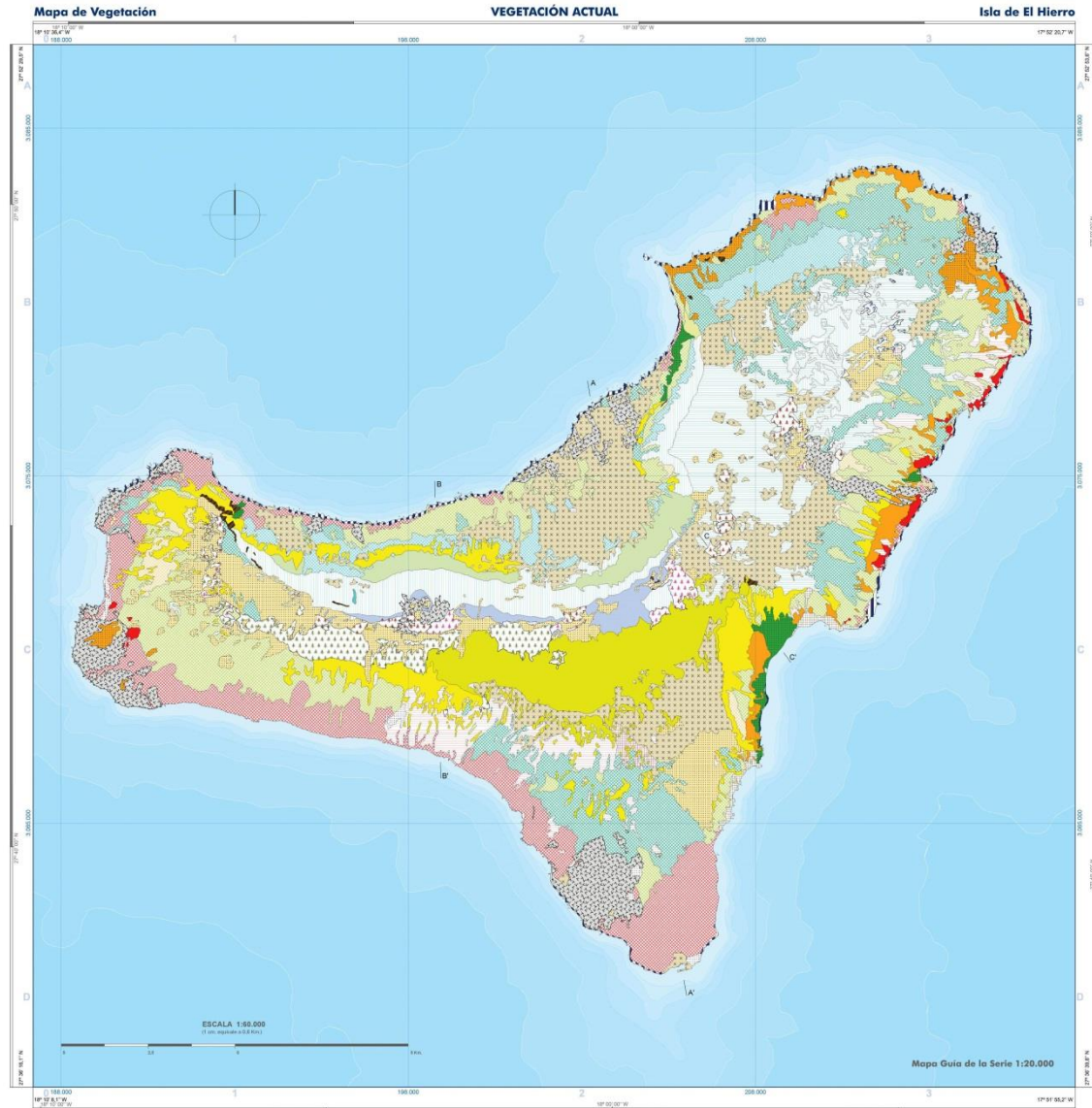
La vegetació potencial no correspon a l'actual per l'existència d'una gran quantitat de *malpaises*, *sorres* i *lapillis* volcàniques, també d'altres medis que afavoreixen la vegetació potencial edàfica. Les comunitats de substitució per transformació humana del paisatge són les següents:

- Cinturó halòfil costaner de roca: *Astydamia latifolia*, *Frankenia ericifolia* i *Limonium pectinatum*.
- Iramal: *Schizogyne sericea* (irama)

- Comunitat permanent de ajinajo i farigola
- Comunitats rupícoles
 - *Roquedos y acantilados*
 - *Malpaíses recents*
- *Tabaibal amargo: Euphorbia lamarckii*
- Matollar *espinoso* i *granadillo: Rhamnus crenulata* i *Hipericum canariense*
- *Fayal-brezal: Erica arborea.*
- Incienso y vinagrera: *Artemisia thuscula* i *Rumex lunaria.*

Taula 3. Classificació per classes i comunitats de l'illa d'El Hierro (Del Arco *et al.*, 2006).

Nº	Classes	Comunitats	Nº	Classes	Comunitats
1	Bosc Natural	· Savinar · Laurisilva · Pineda · Pineda-Savinar	5	Matollars potencials	· Comunitats de camèfits hemicriptòfits eurihalins · Matollar potencial incipient · <i>Retamar blanco</i> (també de substitució) · <i>Tabaibal-Cardonal</i> · <i>Cardonal</i> · <i>Iramal</i> . Com. Salina (també de substitució) · <i>Tabaibal dulce</i> · <i>Verodal</i>
2	Bosc Plantació	· Coníferes · Diverses espècies arbòries			
3	<i>Herbazales</i> Pastures	· Pastures perennes · <i>Anuales</i>			
4	Matollars de substitució	· Comunitat nitròfila frutescent · <i>Cornical</i> · <i>Fayal-Brezal</i> · <i>Jaral</i> · Matollar d' <i>espineros</i> i <i>granadillos</i> · <i>Tabaibal amargo</i> · Matollar de <i>tajinaste</i> i <i>tomillo</i> · Matollar de <i>tasaigo</i> · <i>Tunerales</i> i <i>piteraless</i>	6	Altres	· Àrees urbanes, rurals, industrials i altres àrees antròpiques d'escassa vegetació vascular · Vegetació escassa o nul·la
		7	Vegetació rupícola	· Complexos de vegetació i comunitats liquèniques de <i>malpaíses</i> recents · Vegetació de <i>malpaíses</i> , esqueis i penya-segats	



RESTOS DE LA VEGETACIÓN POTENCIAL

- Cinturón halófilo costero de roca semiárido: matorral de tomillo marino y servilleta. *Frankenio ericifoliae-Asydamietum latifoliae* [1]
- Tabaibal dulce. *Rubio fruticosae-Euphorbietum balsamiferae* [5]
- Cardonal. *Aeonio valverdensis-Euphorbietum canariensis* [2]
- Comunidad de calcosas (vegetación de malpaisas y lapillis inframediterráneos semiáridos). Comunidad de *Rumex lunaria* [34]
- Comunidad de cornical (vegetación de gieras inframediterráneas). Comunidad de *Periploca laevigata* [35]
- Comunidad de ajinajo y tomillo (vegetación de lapillis infra-terromediterráneos seco-subhúmedos). *Echio aculeati-Micromerietum hyssopifoliae*. * Alternativamente también de sustitución [7]
- Sabinar. *Rubio fruticosae-Juniperetum canariensis* [6]
- Retamar blanco. *Echio hiemensis-Retametum rhodorhizoidis*. * Alternativamente también de sustitución [8]
- Monteverde seco. *Vaseo mocanerae-Arbutetum canariensis* [15]
- Monteverde húmedo. *Lauro novocanariensis-Perseetum indicae* [12]
- Fayal de altitud. *Pericalidio murrayi-Myricetum fayae pericalidetosum murrayi* [14]
- Pinar. *Bystropogono ferrensis-Pinetum canariensis* [17]
- Comunidades de cerrajas y beroles infra-terromediterráneas. *Soncho-Aeonio*; *Aeonietum longithyrsii*. *Soncho-Greenovietum diplocyctae* [20] [18] [21]
- Complejos de vegetación y comunidades líquénicas de malpaisas recientes. *Soncho-Aeonio*; *Chellantion pulchellae*; líquenes; etc. [20] [19] [25] [27] [28] [29] [30] [31] [32]
- Mosaico de acantilados. Pioneros de *Kleinio-Euphorbietalia*, fragmentos de *Euphorbio-Schizogynietum sericeae*. *Echio-Retametum rhodorhizoidis* y *Frankenio-Asydamietum latifoliae* [26] [(4), (5), (1)]

VEGETACIÓN DE SUSTITUCIÓN: matorrales

- Tabaibal amargo. *Euphorbietum lemarchii* s.l. [3]
- Jaral. *Micromerio hyssopifoliae-Cistetum monspeliensis* [9]
- Espinal y granadilla. *Rhamno crenulatae-Hypericetum canariensis* [10]
- Fayal-brezal. *Myrica fayae-Ericetum arboreae* [13]
- Matorral nitrófilo desértico: irama. *Euphorbio lemarchii-Schizogynietum sericeae*. * Alternativamente comunidad permanente de lapillis recientes inframediterráneos áridos y desplomes costeros [4]
- Matorral nitrófilo vírico: vinagrenal, incienal, magarzal, etc.. *Artemisia thusculae-Rumicetum lunariae* [36]
- Pteral y tuneral. Plantaciones de *Agave* spp. y *Opuntia* spp. [47] [48]
- Cañaveral, juncal, etc. Comunidad de *Arundo donax*; *Scirpo globiferi-Juncetum acuti* [22] [24]
- Matorrales nitrófilos de tartagueros y veneneros. *Nicotiano glaucae-Ricinon communis* [37]

VEGETACIÓN DE SUSTITUCIÓN: herbazales

- Cerrillal-panascal. *Cencho ciliaris-Hyparrhenietum sinaicae* [23]
- Herbazal subnitrófilo de medianías y cardales. *Echio plantaginei-Galaction tomentosae*; *Urtico-Silybion mariani* [43] [46]
- Hinojal y altabacal. *Bromo-Piptatherion milliae* [39]
- Herbazal nitrófilo. *Chenopodietalia muralis* [50]

PLANTACIONES FORESTALES

- Plantaciones de *Pinus canariensis* [49]
- Plantaciones de *Pinus radiata* [50]
- Plantaciones de *Pinus pinea* [51]
- Plantaciones mixtas de *Pinus* spp. [52]
- Plantaciones varias [53] [54]

MEDIO URBANO, RURAL (CULTIVOS Y CASERÍOS), INDUSTRIAL, ÁREAS DE SERVICIO Y ÁREAS SIN VEGETACIÓN APARENTE

- Medio urbano, rural, industrial y áreas de servicio [55] [56] [57]
- Desprovisto de vegetación [58]

Figura 8. Cartografía de la vegetació actual a l'illa d'El Hierro (Del Arco et al., 2006).



a- *tabaiba dulce* (*Euphorbia balsamifera*)



b- *cardón* (*Euphorbia canariensis*)



c- *savina canària* (*Juniperus turbinata* subsp. *canariensis*)



d- *jaral* (*Cistus monspeliensis*)



e- *pi canari* (*Pinus canariensis*)

Figura 9. Imatges de la vegetació d'El Hierro: a- *tabaiba dulce* (*Euphorbia balsamifera*), b- el *cardón* (*Euphorbia canariensis*), c- *savina canària* (*Juniperus turbinata* subsp. *canariensis*), d- *jaral* (*Cistus monspeliensis*) i e- *pi canari* (*Pinus canariensis*) (Boratynski & Salvà-Catarineu).

En el cas del savinar és una formació de bosc termòfil-esclerofíle que constitueix un pis vegetal situat per sobre del matollar costaner. La savina canària (*Juniperus turbinata* ssp. *canariensis*) és un microfaneròfit¹, arbust que pot arribar als 10 metres d'altura. Va ocupar gairebé la totalitat de la zona costanera, envoltat d'altres boscos més diversificats, reconeguts en zones més altes amb espècies com ara; el *acebuche*, el *macano* canari i el *madroño*.

El savinar és una formació que va ser degradada paulatinament per l'acció humana especialment després de la conquesta del segle XV per la seva fusta molt forta, la qual es va utilitzar per construir les cases i armes, i també per la necessitat de crear sòl agrícola. Tant és així que només el 7% (19.383 ha) aproximadament persisteix dels 291.623 ha de savinar potencial calculat. El Hierro és l'illa on es troba la millor representació d'aquesta formació vegetal i el savinar és l'endemisme protegit per la llei: l'article 2.17 de la Normativa General que prohibeix la pastura a la superfície ocupada pel *Monte Consorciado de El Sabinar*¹ (Fernández-Pello, 1989).

2.5.2. Fauna

L'illa és l'hàbitat de moltes espècies representatives de les Illes Canàries, moltes d'elles amenaçades, es destaquen dues en perill crític: l'àguila pescadora i el Lagarto Gigante (figura 10).



Figura 10. El llangardaix gegant (M.A. Rodríguez).

El Lagarto Gigante d'El Hierro (*Gallotia simonyi*) mesura uns 70 centímetres i es va descobrir l'any 1999, on hostejava als penya-segats de l'illa (figura 10). L'espècie es va traslladar altres àrees per la destrucció del seu hàbitat i l'activitat depredadora (Sundseth, 2010).

Els endemismes de fauna protegits per la llei són: el Lagarto Gigante d'El Hierro i les Palomas de la Laurisilva.

¹ I.C.O.N.A.: Inventario abierto de espacios naturales objeto de Protección Especial. Normativa General. Santa Cruz de Tenerife, 1975.

2.6. Població

Al gràfic de línies de la població de l'illa (figura 11) es presenten les dades del *Instituto Nacional de Estadística* (INE) disponibles del nombre d'habitants des del 1998 al 2017. La línia blava representa la població masculina i la vermella mostra la població femenina, mentre que la línia negra és la població total. Durant els darrers 20 anys, el nombre d'habitants total ha augmentat més 2000 persones. La població total de l'any 2017 era 10679; 5426 homes i 5253 dones.

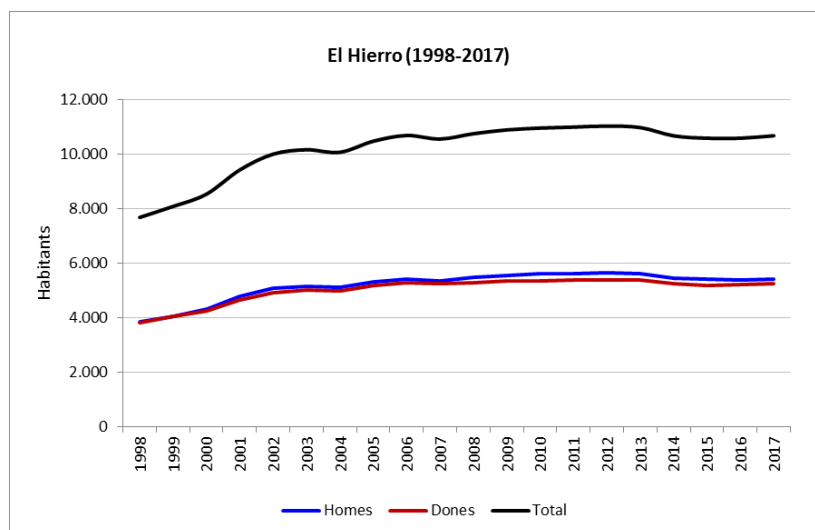


Figura 11. Evolució de la població de l'illa d'El Hierro durant el període 1998-2017 (Font: INE).

2.7. Polítiques de protecció

L'any 2000 va ser proclamada com a *Reserva de la Biosfera*, així queda emparada per la Llei d'Espais Naturals de Canàries, el Pla Insular i les lleis estatals respectives. L'aplicació d'aquesta normativa es defineix dins del *Programa de Desenvolupament Sostenible del Cabildo Insular*.

L'instrument polític de referència d'aquesta illa és el *Plan Insular de Ordenación de El Hierro*. Aquest es desenvolupa en diferents figures de planejament: pla general municipal, pla territorial (parcial i especial), pla i instrument sobre els Espais Naturals i altres plans o programes sectorials i especials. El *Plan* és el que fa de paraigües del Pla d'ordenació dels Recursos Naturals en l'àmbit insular i enuncia les determinacions generals sobre la gestió i la conservació dels recursos naturals de l'illa. Per tant, els Plans i instruments d'ordenació dels Espais Naturals Protegits afecten a la totalitat dels recursos biòtics i abiòtics.

L'any 2011 es va aprovar definitivament aquest *Plan Insular de Ordenación de El Hierro* mitjançant el *Decret 307/2011, de 27 d'octubre, pel que s'aprova definitivament el Pla Insular d'Ordenació d'El Hierro*. De manera que els recursos naturals de l'illa definits pel Pla Insular d'ordenació són: l'atmosfera, les aigües terrestres i marines, els sols, la vegetació, la flora i la fauna silvestres terrestres i marines.

Els objectius bàsics a l'ordenació, gestió, ús i aprofitament dels recursos naturals i culturals són protegir, conservar i restaurar la flora, la fauna, la geologia i el paisatge com elements

característics dels valors naturals de l'illa. Promoure les mesures preventives que disminueixin les mesures correctores i fomentar la investigació científica i els estudis dels processos ecològics de l'illa. L'ús del sòl amb finalitats agrícoles, ramaderes i forestals respectin el potencial biològic del medi i la seva capacitat productiva, entre d'altres objectius.

Les mesures de la coberta vegetal natural inclouen totes les espècies arbòries, arbustives i herbàcies amb capacitat de créixer i desenvolupar-se en qualsevol dels pisos bioclimàtics de l'illa. La protecció d'aquesta coberta va molt lligada a la protecció del sòl i del paisatge. Per això, els programes d'actuació específics es van elaborar, tenint en compte la superfície vegetal natural afectada de manera directa i indirecta, amb una àmplia proposta de millores correctores i que minimitzin l'afecció, per restaurar les zones de les àrees afectades en les condicions similars a l'estat original.

El paisatge és un element complex que tots els òrgans de l'Administració implicats vetllen pel seu manteniment i la millora de la seva qualitat. Per exemple, la instal·lació d'infraestructures que puguin generar impacte visual, s'han d'aplicar les mesures preventives, correctores i compensatòries per minimitzar els possibles efectes. Així mateix, si es localitzen en entorns naturals, es disposaran de pantalles vegetals. A més, les maquinaries de les obres hauran de ser d'acord amb el seu entorn cromàtic.

CAPÍTOL 3

Principis de teledetecció

3. PRINCIPIS DE TELEDETECCIÓ

El tercer capítol s'ha destinat a aclarir alguns conceptes i mètodes teòrics de la teledetecció: els principis físics per entendre la influència de la radiació registrada de les diferents superfícies; els sensors i els satèl·lits, que són els instruments en moviment que capten els valors a diverses longituds d'ona que l'usuari ha d'analitzar *a posteriori*; i, per últim, s'hi expliquen els mètodes de classificació més emprats en els estudis de teledetecció.

3.1. Principis físics

Aquest apartat es dedica a definir: els conceptes bàsics relacionats amb els principis físics, què és la radiació i l'espectre electromagnètic i el paper de l'atmosfera a l'hora d'analitzar una imatge de satèl·lit.

3.1.1. Conceptes bàsics

La **teledetecció** és una ciència i conjunt de tècniques que permeten obtenir dades remotes de la superfície terrestre des de sensors aeris o espacials en captar l'intercanvi energètic entre el sòl i el satèl·lit, sigui per la reflexió de l'energia solar o d'un feix de llum energètica artificial. (Chuvienco 2010; Pons i Arcalís 2012).

De manera que, el sistema de teledetecció espacial es defineix pels següents elements:

1. Font d'energia
2. Coberta terrestre
3. Sistema sensor
4. Sistema de recepció
5. Intèrpret
6. Usuari final

Hi ha tres factors claus en aquest sistema: l'atmosfera com a medi on es propaga l'energia i és captada; la radiació com a objecte d'estudi; i la vegetació com a objecte d'estudi d'aquesta tesi. Els següents apartats defineixen els tres elements.

L'ús d'imatges de satèl·lit ha augmentat en els darrers anys de manera notable, tant a nivell públic com privat. El coneixement de la teledetecció a les comunitats científiques han desenvolupat metodologies vegada més fiables, consistents i robustes per captar la dinàmica dels sols i satisfer les necessitats d'informació (Olofsson *et al.*, 2014). L'increment de les dades adquirides i el progrés de la tecnologia espacial amb nous sensors més sofisticats han fet possible molts estudis d'investigació centrats en els avantatges i els reptes de les imatges de gran resolució espacial (Pacifich *et al.*, 2014; Sola *et al.*, 2016).

3.1.2. La radiació i l'espectre electromagnètic

L'energia solar il·lumina la superfície terrestre que la reflecteix segons el tipus de coberta. El sensor capta la intensitat de l'energia emmagatzemada en forma de nombres digitals (ND) dins de les cel·les d'una imatge. Entre la superfície i el sensor s'interposa l'atmosfera, que dispersa i absorbeix part del senyal original. Les tres maneres d'obtenir dades a partir d'un sensor remot són per reflexió, per emissió i per emissió-reflexió.

Els sensors capten de dues maneres aquesta energia: de manera passiva, en la que registren l'energia solar; o de manera activa, en la que el sensor emet un feix de llum per recollir posteriorment la resposta procedents de les cobertes.

Aquesta energia, també coneguda com a radiació electromagnètica, es transportada pel medi i es explica a partir de dues teories: la del feix ondulatori, de Huygens i Maxwell, i una altra, de Planck i Einstein, que la considera com una successió d'unitats discretes d'energia, fotons o quants, amb massa igual a zero. Les teories són igual de vàlides perquè s'ha demostrat que totes dues poden explicar el mateix fenomen (Jones i Vaughan 2010).

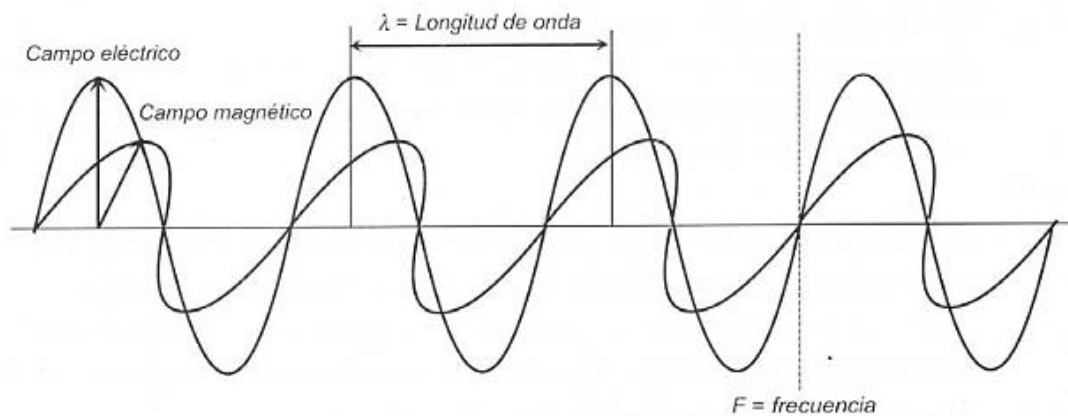


Figura 12. Esquema de l'ona electromagnètica (Chuvienco, 2010).

La teoria ondulatoria es basa en la transmissió de l'energia electromagnètica, caracteritzada pel model harmònic i continu, que conté dos camps de forces ortogonals entre si: l'elèctric i el magnètic (figura 12). Les característiques d'aquest flux energètic poden descriure's per dos elements: longitud d'ona i freqüència. La primera és la distància entre dos pics successius d'una ona, mentre que la segona és el nombre de cicles que passen per un punt fix en una unitat de temps. Ambdós elements són inversament relacionats, és a dir, quan la longitud d'ona és llarga, la freqüència és menor, i al revés. Per tant, només s'indicarà una mesura per caracteritzar el flux d'energia.

El conjunt de totes aquestes radiacions es coneix com espectre electromagnètic (figura 13). Cadascuna de les agrupacions d'energia de comportament similar se l'anomena com banda espectral. L'espectre va des de les ones més curtes (raig gamma i X) fins les quilomètriques (telecomunicacions). Les bandes es mesuren per la seva longitud d'ona: les més curtes s'utilitzen els micròmetres (μm) mentre que les més llargues s'utilitzen els centímetres o metres (cm o m). Les més llargues també es designen per la seva freqüència en Gigahertz (GHz). Aquesta energia és inversament proporcional a la freqüència de la radiació de la longitud d'ona.

Molts mecanismes proveeixen aquesta energia, per exemple, el moviment d'àtoms i molècules quan guanyen temperatura. Cada font de radiació emet una longitud i intensitat d'ona característica de l'espectre, és important perquè absorbeix el mateix rang de radiació. D'aquest procediment, se n'ha originat un concepte teòric: el cos negre és l'emissor perfecte, és a dir, el total d'energia emesa és igual a l'absorbida. S'han formulat teories sobre el comportament d'aquest cos negre:

1. Llei de *Stefan-Boltzmann* relacionada amb la quantitat total d'energia emesa per unitat de temps, per àrea d'un cos i la seva temperatura absoluta.
2. Llei *Kirchhoff*: mesura l'emissivitat, com l'eficiència de l'absorció de la radiació d'un cos real. Quan resulta 1, es tracta d'un cos negre, mentre que si és 0, és un cos blanc.
3. Llei de distribució de *Planck*: es basa en l'emissivitat variarà en funció de la longitud d'ona electromagnètica i per tant, la corba de la emitància no és regular com la del cos negre.
4. Llei de desplaçament de *Wien*; en el pic de màxima emitància de la llei de la distribució *Planck*, correspon a la funció inversa de la temperatura, K .

El pic de la longitud d'ona disminueix amb la pujada de temperatura, però la quantitat total d'energia (intensitat) augmenta a mesura que la quarta potència de la temperatura incrementa. Per tant, conèixer l'energia de l'objecte d'estudi, orienta a quina banda de l'espectre és idònia per a la seva discriminació (Chuvieco, 2010).

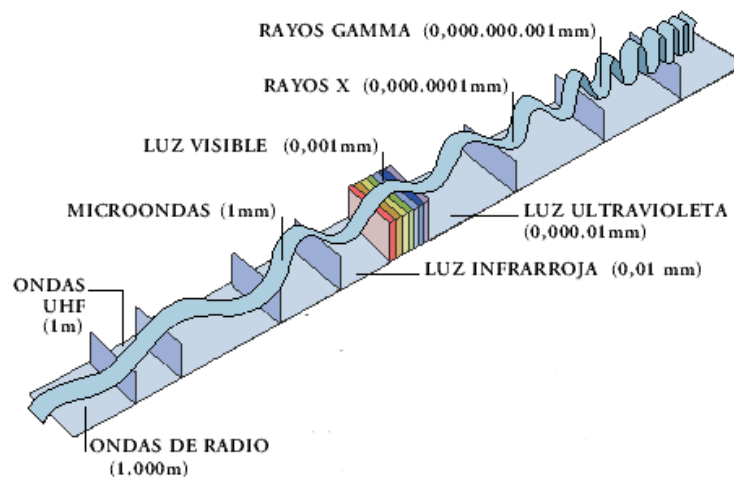


Figura 13. L'espectre electromagnètic (Ruiz, 2000).

Actualment, les bandes electromagnètiques més utilitzades són:

1. L'espectre visible (0,4 a 0,7 μm): es coneix amb aquest nom perquè és la longitud d'ona que és capaç de captar l'ull humà. Dins d'aquest rang, es distingeixen tres tipus: la banda blava (0,4 a 0,5 μm), la verda (0,5 – 0,6 μm) i la vermella (0,6 – 0,7 μm).
2. L'infraroig proper (0,7 a 1,2 μm): aquesta banda s'utilitza per a la distinció de cobertes vegetals i concentracions d'humitat.
3. L'infraroig mitjà: en aquesta franja hi ha una barreja entre els efectes de la reflexió solar i de l'emissió de la superfície terrestre. Dins d'aquesta sèrie es distingeix el grup del SWIR o *Short Wave Infrared*, que va d'entre 1,2 a 2,5 μm , que és adient per estimar la quantitat d'humitat de la vegetació dels sòls. L'altra grup és l'infraroig mitjà, que va d'entre 2,5 a 8 μm , utilitzat per detectar focus d'alta temperatura i quantificar alguns gasos atmosfèrics.
4. L'infraroig llunyà o tèrmic (IRT: 8 a 14 μm): inclou la porció emissiva de l'espectre terrestre.
5. Les microones (> 1mm): és un tipus d'energia bastant transparent a la coberta nuvolosa.

La teledetecció mesura la intensitat d'aquest flux energètic, en una unitat de superfície i una direcció concreta. Els següents paràmetres corresponen als tipus d'unitats que quantifiquen aquesta energia:

- Irradiància (E): és el total d'energia radiada sobre una unitat d'àrea i de temps. La unitat de mesura és: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.
- Nivell digitals (ND): són aquells nombres registrats pel sensor i representats en una xarxa de cel·les d'una imatge que apareixen en una imatge sense processar. No té unitat. L'amplitud de valors es determinarà segons el rang dinàmic del satèl·lit, és a dir, el màxim de capacitat d'emmagatzematge.
- Reflectància per sobre de l'atmosfera (TOA - *Top of Atmosphere*): fa referència a aquella proporció d'energia relativa que es calcula sense corregir els efectes de la topografia. Les unitats són: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$.
- Reflectància de superfície (BOA - *Bottom of Atmosphere*): és la proporció d'energia relativa que resulta un cop aplicades les transformacions corresponents als factors atmosfèrics i topogràfics. La unitat és la mateixa que la Reflectància TOA: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$.
- Radiància espectral ($L \lambda$): és la mateixa energia que el concepte anterior, però delimita a una determinada ona electromagnètica. La unitat és: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$.

El medi on es transporta aquesta energia és l'atmosfera, aquesta capa gasosa que recobreix tota la Terra. L'apartat següent descriu la seva estructura i la distribució de la radiació.

3.1.3. L'atmosfera

A l'hora de captar la intensitat de la energia solar reflectida per la superfície terrestre es produeixen dos moviments previs: l'emissió de la llum solar cap a la Terra i la reflexió de la Terra cap al sensor. A més, les partícules de l'atmosfera dispersen l'energia del Sol. L'energia que es troba per l'atmosfera mai ha tingut contacte amb la Terra. Per tant, la els nombres digitals s'han de corregir per disminuir l'efecte de l'atmosfera i, mesurar l'energia procedent de l'objecte d'estudi.

Per corregir el senyal del sensor, s'ha de tenir en compte que l'atmosfera és un mixt de gasos, dels quals el 99% correspon a oxigen (O_2) i nitrogen (N_2), a més hi ha partícules solides i líquides (aerosols i núvols). L' O_2 i els altres components són gasos distribuïts de manera uniforme al voltant de la Terra. El vapor d'aigua (H_2O_g), el diòxid de carboni (CO_2), l'ozó (O_3), el metà (CH_4) i els aerosols sumen el 1%. La disposició d'aquests últims és molt variable, depèn dels mecanismes de creació i destrucció. El vapor d'aigua es troba a la part inferior de l'atmosfera, coneguda com la troposfera, i també a baixes latituds i sobretot, al llarg dels oceans. El diòxid de carboni tendeix a dispersar-se en sentit vertical, però és més notori en les regions on hi ha una alta activitat humana.

Per tant, els processos de distribució de la radiació solar a l'atmosfera són: l'absorció (*absorption*), la dispersió (*scattering*) i l'emissió (*emission*). L'absorció consisteix en l'energia que ve de la llum solar, la qual queda "retinguda" en un cos o a l'atmosfera i es converteix en energia tèrmica i de vegades és emesa a longituds d'ona llarga. La dispersió és el procés de l'ona electromagnètica que interacciona amb un medi i la seva trajectòria és desviada. Aquesta dispersió es causada pels components atmosfèrics: àtoms, molècules i aerosols. Existeixen tres tipus de dispersió: la primera, la dispersió de Rayleigh provocada per les partícules de l'atmosfera de grandària més petita que la longitud d'ona de la radiació; la segona, la dispersió de Mie es produeix quan les partícules són del mateix ordre de magnitud que la longitud d'ona; i per últim, la dispersió no selectiva té lloc quan el diàmetre de les partícules és molt més gran que la longitud d'ona. Per últim, el darrer efecte de l'atmosfera sobre la radiació solar, l'emissió, és l'alliberament de l'energia en un indret determinat i es transmet a l'espai d'ones electromagnètiques.

Només hi ha una part de la radiació que es veu afectada per aquests processos de dispersió i absorció de l'atmosfera. De manera que, hi ha grans àrees de l'espectre que són atenuades amb lleugeresa, aquestes àrees són conegudes com les finestres atmosfèriques. Són oportunitats d'observació terrestre i s'acostuma a configurar els sensors en aquestes parts de l'espectre.

3.1.4. Teledetecció i vegetació

La signatura espectral és el patró de distribució de freqüències de radiació reflectida o emesa de cada objecte (Pons i Arcalís 2012), que es comparen amb les de les biblioteques espectrals, per validar les correccions realitzades en el preprocessament. També, en el cas de la vegetació, les signatures i els ràtios de banda donen a conèixer les condicions biofísiques de la vegetació i la discriminació de cobertes de les classificacions (Jones i Vaughan, 2010).

La signatura espectral i les noves tecnologies de la teledetecció són la font de dades dels estudis de canvi de cobertes que són pràctics i econòmics (Xie *et al.*, 2008). Per aquest

motiu, existeixen projectes, com ara els de la ESA per obtenir informació en el temps sobre l'observació terrestre, com per exemple, el del Sentinel-2.

En l'actualitat, la majoria d'estudis de vegetació són elaborats amb imatges hiperespectrals i multiespectrals de diferents resolucions espacials: de la resolució espacial mitjana (Landsat i Hyperion), a l'alta (SPOT, RapidEye) i molt alta (IKONOS, WorldView, sensors aeris) són la base de les anàlisis de les dinàmiques terrestres. Molts d'aquests treballs es complementen amb les dades Lidar (Fassnacht *et al.*, 2016). La disponibilitat de recursos de diferents resolucions espacials i espectrals ha donat lloc a aquesta tesi. En el següent apartat es descriuen les característiques principals dels satèl·lits escollits per estudiar el paisatge de l'illa d'El Hierro.

3.2. Satèl·lits i sensors

Des de fa mig segle, les imatges de teledetecció són adquirides per un rang variat de plataformes espacials que compten amb diversos sensors, que van des de multiespectrals a hiperespectrals. Les amplituds d'ona són diferents, des del visible a les microones, de les resolucions espacials per sota del metre fins a kilòmetres i les freqüències temporals des dels 30 minuts a setmanes o mesos (Chuvieco, 2010; Fassnacht *et al.*, 2016; Lillesand *et al.*, 2015). A continuació s'explicarà l'estat de la qüestió de les teories del processament de les dades per cada tipus de sensor.

A l'hora d'elaborar un mapa de coberta és molt important tenir en compte les característiques del sensor: espectrals, radiomètriques, temporals i espacials. La selecció d'imatges depèn de quatre factors: de l'objectiu del mapa, el cost de les imatges, les condicions meteorològiques de l'àrea d'estudi (coberta de núvols) i els problemes tècnics per interpretar la imatge (Fassnacht *et al.*, 2016; Xie *et al.*, 2008).

L'indicador de qualitat d'un instrument s'anomena resolució, fa referència a l'habilitat d'un sensor per registrar i discriminar la informació de detall (Chuvieco, 2010). Des de la teledetecció, existeixen diferents tipus de resolució (Xavier Pons & Arcalís, 2012): Des del punt de vista de la resolució espacial o *Ground Sample Distance* (GSD) designa l'objecte més petit que es pot distingir sobre una imatge. Aquesta es mesura en unitats de longitud i depèn de la longitud focal de la càmera i de la seva altura sobre la superfície. Existeixen quatre tipus: resolució baixa o grollera (superior als 30 metres), de resolució mitjana (el seu GSD és entre els 2 a 30 metres), resolució alta (entre els 0,5 als 2 metres) i per últim, de resolució molt alta (inferior als 0,5 metres). Les imatges de molt alta resolució s'escullen per un mapa de coberta de detall, mentre que les de baixa resolució són adequades per aquelles zones comunitàries vegetals extenses homogènies que s'identifiquen fàcilment (Xie *et al.*, 2008). De fet, el nombre de plataformes espacials amb satèl·lits de molt alta resolució està augmentant ja que les imatges que produeixen són útils per estudis específics, com ara, el monitoreig, a nivell individu, dels arbres (Aguilar *et al.*, 2013; Solano-Correa *et al.*, 2018).

Els satèl·lits s'acostumen agrupar per les característiques espectrals (Xie *et al.*, 2008). Aquelles plataformes destinades a l'observació i seguiment de la vegetació capten dades de la banda vermella i de l'infraroig proper. Per aquest motiu, els índex de vegetació són la relació de les bandes de l'espectre visible i de l'infraroig proper, que és el rang espectral per quantificar la radiació activa e la fotosíntesi.

3.2.1. Sensors passius

Aquests tipus de sensors no envien un senyal físic a l'objecte d'estudi, sinó que el reben d'un focus extern (ex. Radiació solar), i el transforma en un senyal analògic o digital (Pons i Arcalís 2012).

Aquests sensors capten la senyal de la radiació electromagnètica, que pot haver estat reflectit per l'objecte a partir de la irradiància solar o per fluorescència induïda per la radiació solar (Pons i Arcalís 2012).

3.2.1.1. Descripció de les dades de l'SPOT-5, Sentinel-2 i GeoEye-1.

a) Característiques del satèl·lit l'SPOT-5 i les seves imatges

La família SPOT és un programa de teledetecció que neix en 1978 a França amb col·laboració de Bèlgica i Suècia. Aquesta constel·lació de satèl·lits, que van ser llençats des de Kourou (Guiana Francesa), té la capacitat de captar qualsevol indret terrestre cada dia.

L'SPOT-5 formava part de l'Agència Espacial Francesa (CNES). L'any 2002, aquest satèl·lit es va llançar amb dos sensors; l'HRG (*High-Resolution Geometric*) i HRS (*High-Resolution Stereoscopic*) amb la resolució espacial de 5 metres. La seva òrbita heliosincrona, a una altitud de 822 km a l'Equador amb un temps de revisita de 26 dies. La seva dallada de 60 fins a 80 km cap al Nadir i, el rang dinàmic de les imatges són de 8 bits, és a dir, 1-256 nivells de grisos. La resolució espacial de 2,5 metres a la banda del pancromàtic i de 10 m a les bandes multiespectrals. La resolució espectral va des del espectre visible (verd; 0,5 µm – 0,59 µm, vermell; 0,61 µm – 0,68 µm) fins a l'infraroig proper, captant una part de l'infraroig mitjà (NIR *Near Infrared* + SWIR *Short wave infrared*; 0,5 µm a 1,75 µm). Aquest satèl·lit va disposar d'un sensor destinat a la captura dels diferents trets de la vegetació. La inclinació de l'aparell varia fins a 31,06°. Les metadades es presenten en format DIMAP i el format de les imatges és TIFF. Finalment, l'SPOT-5 va ser funcional fins a la tardor del 31 de maig del 2015, que el van desorbitar² (ESA, 2015).

Una de les avantatges d'aquests dos projectes, SPOT-5 i Sentinel-2, és la correspondència de les bandes espectrals del satèl·lit de la CNES amb algunes del de l'ESA a la mateixa resolució espacial, excepte la banda pancromàtica que es podria utilitzar per afinar a 5 m (o 2,5 m) (Radoux *et al.*, 2016).

b) Característiques del satèl·lit Sentinel-2 (S-2) i les seves imatges

El Sentinel-2 (S-2) va ser llançat el dia 23 de juny del 2015 (Immitzer, *et al.*, 2016), dissenyat dins d'aquesta iniciativa, amb tres propòsits; continuar amb l'herència de les imatges de l'SPOT (*Satellite Pour l'Observation de la Terre*), facilitar les adquisicions globals sistemàtiques de les imatges multiespectrals i d'alta resolució espacial amb una gran freqüència de revisita i oferir les observacions per a les següents generacions de productes operacionals, com ara, mapes de coberta del sòl o mapes de detecció de canvis en el sòl. El monitoreig global pel medi ambient i la seguretat (*Global Monitoring for Environment and Security*, GMES) és una iniciativa compartida entre la Comissió Europea i la Agència Espacial

² Treure un satèl·lit de la seva òrbita de manera programada (Pons i Arcalís, 2012).

Europea (ESA), creada per proporcionar informació precisa, puntual i d'accés fàcil per millorar la gestió del medi ambient i garantir la seguretat civil (ESA, 2012).

El S-2 compta amb un sensor que capta 13 bandes de l'espectre visible i l'infraroig proper (figura 14). Les 4 bandes de 10 metres: blau (0,49 μm), verd (0,56 μm), vermell (0,66 μm) i infraroig proper (0,842 μm). A més, 6 bandes de 20 metres: 4 bandes del vermell a la màxima absorció de la vegetació (0,70 μm , 0,74 μm , 0,77 μm , 0,86 μm) i 2 bandes del SWIR dedicades a la detecció de neu, gel i núvols i a l'avaluació de l'estrès de la humitat de la vegetació (1,61 μm i 2,19 μm). Per últim, les 3 bandes de 60 m pensades per a la correcció atmosfèrica (0,44 μm pels aerosols i 0,94 μm pel vapor d'aigua) i a la detecció de cirrus (1,380 μm) (Drusch *et al.*, 2012).

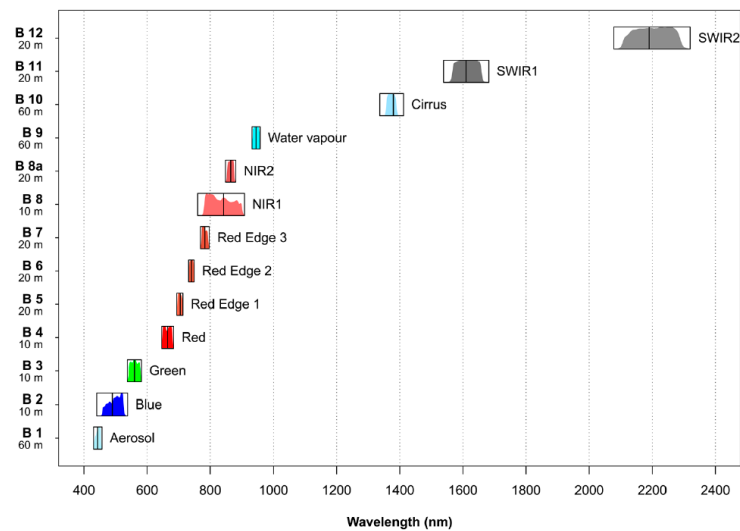


Figura 14. Característiques del *Multi Spectral Instrument* (MSI) del Sentinel-2. El nom de la banda i la corresponent resolució espacial (m) s'indica a l'eix de les abscisses (Immitzer *et al.*, 2016).

Aquest satèl·lit té una òrbita heliosíncrona a una altitud de 786 km descendint a les 10:30 a.m., per la coberta mínima de nuvolositat i unes garantint la il·luminació solar (Drusch *et al.*, 2012).

c) Característiques del satèl·lit GeoEye-1 (GE-1) i les seves imatges

El 6 de setembre del 2008 va ser llançat el GeoEye-1 a *Vandenberg Air Force Base* (Califòrnia). GE-1 és un satèl·lit comercial estatunidenc VHR (figura 15), és el tercer del *ranking* amb més alta resolució (darrera de WorldView – 4 amb 0,31 m i WorldView -3 amb 0,31 m).



Figura 15. Satèl·lit GE-1 (© Digital Globe).

El rang dinàmic de les imatges d'aquest satèl·lit és de 11 bits, és a dir, registra valors de grisos d'entre 1-2.048. La mida de la cel·la de 0,41 m en imatges pancromàtiques (amb un rang espectral d'entre 0,45 μm fins 0,80 μm) i 1,65 μm a imatges multiespectrals formada per quatre bandes: blau (0,45 – 0,51 μm), verd (0,51 – 0,58 μm), vermell (0,65 – 0,69 μm) i infraroig proper (0,78 – 0,92 μm). La seva tecnologia és una de les més sofisticades, utilitzada en un sistema de teledetecció comercial. Aquest sensor capta al voltant de 350.000 km^2 d'imatges *pansharpen* cada dia i registra fins a 300 km per 50 km seguits. Una escombrada només fa 15,2 km, l'explicació dels 50 km és per l'angle de visió lateral del sensor que arriba fins a 30 graus. A més, el sentit de l'escaneig pot ser directe o a la inversa (figura 16) (*Satellite Imaging Corporation, 2007; Aguilar, 2013*).

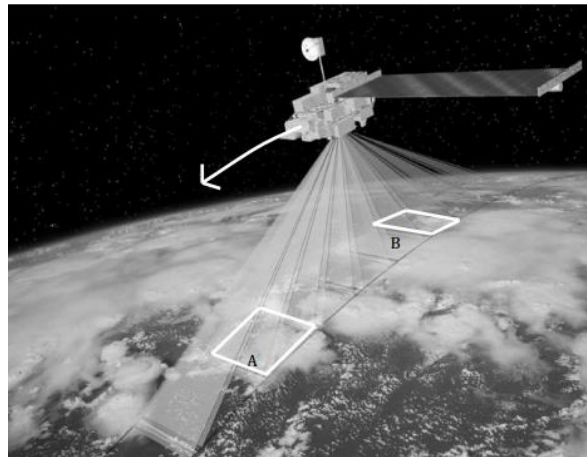


Figura 16. Direcció de l'escaneig del GE-1. A. Directe i B. Invers (Saldaña, 2013).

La resolució temporal és de 98 minuts cada volta. El temps de revisita és de menys de 3 dies. A més ofereix la possibilitat de captar un objecte a 3 m de la ubicació física.

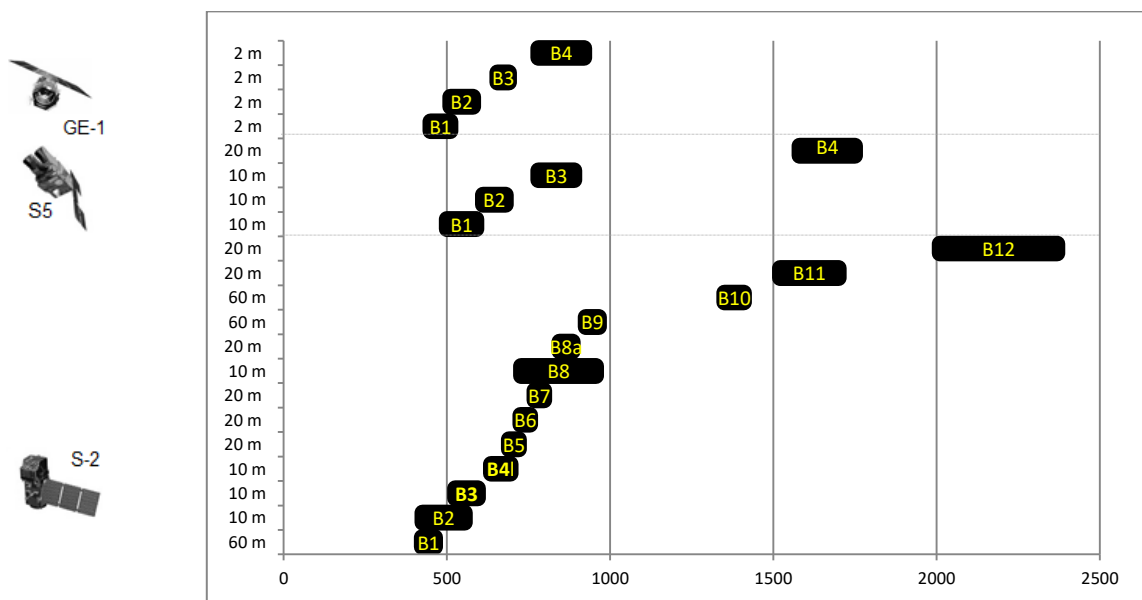


Figura 17. Nom, rang espectral i resolució espacial de l'SPOT-5, Sentinel-2 i GeoEye-1. L'eix de les X representa la resolució espectral en nanòmetres. L'eix de les y representa la resolució espacial i quin satèl·lit capta les diferents bandes (Drusch *et al.*, 2012; Podger i Colwell, 2011; SPOT IMAGE, 2010).

La figura 17 destaca les diferències entre l'amplitud espectral per cada banda dels satèl·lits òptics. Per aconseguir una relació de *Signal-To-Noise* (SNR), el rang espectral disminueix, mentre augmenta la mida de la cel·la (Radoux *et al.*, 2016). Per tant, la resposta espectral de la superfície de la terra està relacionada amb la resolució espacial del satèl·lit.

Les imatges definides per la multitemporalitat i la multispectralitat es combinen per assolir una millora qualitativa de la gestió de les zones de vegetació (Hagolle *et al.*, 2015).

3.2.1.2. Les deformacions de les imatges de teledetecció.

La complexitat de les característiques del sistema sensor-Terra es mostren a les imatges amb un conjunt de deformacions geomètriques i radiomètriques produïdes per la rotació, la curvatura terrestre, etc. Els objectes de la imatge s'observen amb una radiància, posició, forma i mida diferents a la realitat. Per tant, els orígens d'error de la imatge són produïdes per: el satèl·lit, l'atmosfera i el territori (Chuvieco, 2010; Pala i Pons, 1995).

Les principals fonts de distorsió geomètriques són degudes a la curvatura de la Terra, el relleu (fins i tot les construccions humanes i la vegetació en imatges d'alta resolució), el moviment simultani de la rotació terrestre, de la plataforma i l'actitud del satèl·lit en l'espai (no sempre té una visió perpendicular, ni tan sols al centre de la imatge, ni orientada al nord de la projecció desitjada) (Aguilar *et al.*, 2013; Jensen i Lulla, 1987; Kardoulas *et al.*, 1996; Richards i Jia, 2006; Toutin, 2004). Els moviments d'oscil·lació provocats pel mateix sensor són: primer, el capcineig (*pitch*) és el desplaçament de rotació d'una aeronau o una plataforma al voltant de l'eix horitzontal perpendicular a la direcció de vol. El segon, el balanceig (*roll*) és la rotació respecte de l'eix del vol i del pla horitzontal. El tercer, la deriva (*yaw*) és la desviació cap a un costat del seu rumb per l'efecte d'una causa externa, sovint pel vent. Aquestes distorsions se'ls hi ha de sumar, les produïdes per l'altitud i la velocitat de la plataforma a la qual es instal·lat el sensor (Palà i Pons, 1995; Toutin, 2003).

Les distorsions radiomètriques són per la presència d'artefactes no desitjats derivats dels efectes de l'atmosfera o a la il·luminació diferencial provocada per l'hora del dia, època estacional, el lloc de la Terra, el relleu (zones més o menys il·luminades, ombres projectades...) (Cristóbal, 2008). Les diferents condicions d'il·luminació provocades per les orientacions i els pendents del relleu mostren múltiples respostes espectrals d'un mateix tipus de formació vegetal o de coberta del sòl, que influeix de forma considerable la variància interna de la seva signatura (Salvador *et al.*, 1996; Vanonckelen *et al.*, 2013).

Per corregir aquestes distorsions, en el següent apartat s'expliquen els mètodes dels estudis de referència.

3.2.1.3. Processament de les dades de teledetecció

El tractament o processament de les imatges fa referència a un conjunt de correccions: la correcció geomètrica, el calibratge del sensor, la correcció atmosfèrica i la topogràfica (Ambrosio *et al.*, 2002; Chavez, 1988; Chuvieco 2010; Pons i Pesquer, 2010; Van der Werff i Van der Meer, 2015). En els estudis multitemporals d'imatges procedents de sensors diferents s'ha d'aplicar el co-registre, és a dir, convertir dues o més imatges de la mateixa

escena o d'una zona geogràfica en imatges superposables des d'un punt de vista cartogràfic (Pons i Arcalís, 2012). Tanmateix, no tots els estudis que combinen les imatges de diferents satèl·lits apliquen aquesta tècnica, com ara, Immitzer *et al.* (2018) amb WorldView-2 i Landsat, Donmez *et al.* (2015) amb Landsat TM i GeoEye-1, IKONOS i Landsat ETM+ de Metzler i Sader, (2005), entre d'altres. La gran avantatge de combinar imatges de diferents resolucions espacials és la detecció de les cobertes a diferents nivells de detall. Les imatges de molt alta resolució utilitzades mostren zones d'extensió més reduïda que l'àrea d'estudi perquè el seu cost és elevat i no és assumible en moltes ocasions pels pressupostos dels projectes (Immitzer *et al.*, 2018; Xie *et al.*, 2008).

En tot cas, la processament és un pas necessari quan s'analitza el territori a una escala multitemporal. Les reflectàncies de superfície és una relació entre el flux energètic reflectit per una superfície i el flux energètic incident (Pons i Arcalís 2012), que donen lloc a comparatives entre les radiacions de les imatges de diferents dates (Pons i Solé-Sugrañes, 1994; Salvador *et al.*, 1996; Pacifici *et al.*, 2014). L'exactitud de les classificacions de les imatges corregides respecte les no corregides és notable, sobretot a l'hora de discriminar les espècies arbòries (Vanonckelen *et al.*, 2013).

La necessitat d'un protocol de les tractament de les imatges s'ha solucionat per El *Pla Nacional de Teledetecció* (PNT) de l'*Instituto Geográfico Nacional* (IGN), mostra un calibratge i processament per treballar amb un volum elevat de dades, aportades per les imatges de satèl·lit (Hantson i Chuvieco, 2011).

L'any 2018, va ser publicada una metodologia per homogeneïtzar les dades radiomètriques, espectrals i geomètriques de les imatges de molt alta resolució per a la detecció de canvis, mitjançant l'ús de funcions basades en transformacions lineals. Els resultats mostren la informació dels multisensors en un espai homogeneïtzat (Solano-Correa *et al.*, 2018).

No hi ha un únic protocol a seguir que pugui resumir l'exactitud de totes les possibles situacions. La precisió dels mètodes de correcció depenen de diversos factors: el calibratge del sensor, la qualitat del registre geogràfic i geomètric de les bandes espectrals, l'algorisme per l'ortorectificació basant-se en la informació auxiliar, com ara, els punts de GPS, escollir correctament els paràmetres introduïts a la correcció atmosfèrica, el tipus de terreny i la coberta del sòl (Richter i Schläpfer, 2002). A continuació s'explica els mètodes de correccions més freqüents a la literatura de teledetecció.

→ Correcció geomètrica

Les deformacions geomètriques de les imatges de satèl·lit suposen un error quadràtic de fins l'ordre de quatre vegades la mida de la cel·la, és a dir, un objecte de la superfície es representa més gran que a la realitat i desplaçat de la seva ubicació original. A més, si l'IFOV és constant, la visió lateral de la imatge condueix a diverses alteracions a la geometria de la imatge. La curvatura terrestre és apreciable a grans distàncies de la superfície terrestre i per posicions allunyades del nadir. La distància entre centres de dues cel·les consecutives és més gran quan s'està més lluny del nadir, per tant, les deformacions són més desproporcionades als extrems de la imatge, i aquestes queden registrades en cel·les de les uniformes d'un *grid*. Per això, la correcció geomètrica és un dels processos imprescindibles del tractament de les imatges de satèl·lit per reassignar a l'espai de referència disminuint l'error de les deformacions morfològiques dels objectes registrats a la imatge i elaborar una cartografia específica i de detall.

Els punts de control (*Ground Control Point – GCP-*) són entitats o ubicacions localitzats de manera precisa en una imatge, que es vol georeferenciar en un altre imatge, que es coneixen les coordenades en un sistema de referència geogràfic. (Pons i Arcalís, 2012). Per a la correcció geomètrica s'utilitza un conjunt de punts de control que han d'estar distribuïts de manera uniforme per garantir el mínim d'error (Pala i Pons, 1995; Toutin, 2004).

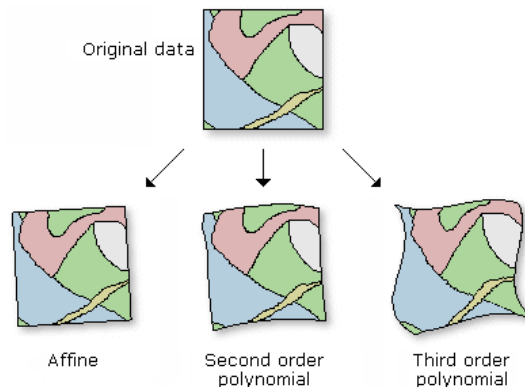


Figura 18. Els resultats de les transformacions de primer, segon i tercer ordre (Esri, 2018).

Convé distingir els dos mètodes més habituals en teledetecció: la rectificació geomètrica i l'ortorectificació. Per una banda, la rectificació geomètrica és el càlcul de funcions d'ajustament entre dos espais de referència. Les funcions polinòmiques de segon o tercer grau són ajustades (figura 18) per mínims quadràtics. Aquest mètode és el més habitual perquè els estudis de teledetecció analitzen zones de relleu escarpat. Per una altra banda, l'ortorectificació és el segon mètode que inclou el model digital d'elevacions (MDE). Per tant, és un procés més complex que la rectificació geomètrica (Cuartero i Felicísimo, 2003).

Un dels models matemàtics més utilitzats a les imatges de satèl·lit molt d'alta resolució és el de les funcions racionals³ a través dels coeficients de polinomis racionals (*Rational Polynomial Coefficient - RPC*) que apareixen a les metadades, que descriuen l'orientació d'aquestes imatges (Poli, 2012; Tao i Hu, 2001). Com per exemple; Fraser i Ravanbakhsh, (2009) van georeferenciar als inicis de l'ús de les imatges de GE-1, la banda del pancromàtic, Aguilar *et al.* (2013) amb les imatges del mateix satèl·lit, les van rectificar geomètricament amb el programa *OrthoEngine Geomàtica*. També Poli *et al.* (2015) aplica coeficients de polinomis a les imatges de GE-1, WorldView-2 i Pléiades-1A. Massetti *et al.* (2016) va tractar les imatges de *RapidEye* (resolució espacial de 5 metres) a l'illa de Madeira (742 km²). Les va rectificar geomètricament aplicant els RPC però el resultat no va ser l'òptim i va calcular polinomis de segon grau amb 30 GCPs. Różycki *et al.* (2016) aplica els coeficients de polinomis racionals a IKONOS 2, GE-1, WorldView-2 i *Pleiades*. L'exactitud d'una imatge estereoscòpica de GeoEye-1 és de 0,25 m per Fraser i Ravanbakhsh (2009), igual que Mitchell i MacNabb (2010), inclòs quan s'utilitza el MDE calculat de les dades Lidar en una àrea de 50 km².

³ En el model de funció racional, les coordenades de les cel·les de la imatge (r,c) s'expressen com les proporcions de polinomis de coordenades terreny (X,Y,Z) (Tao i Hu, 2001).

→ Correcció atmosfèrica

Els efectes produïts per l'atmosfera sobre la radiància rebuda per la llum l'*scattering*, absorbida i reflectida cap al satèl·lit; els guanys i les pèrdues, la irradiació solar, els angles zenitals del sol han d'estar inclosos en aquestes correccions radiomètriques (Baraldi *et al.*, 2010; Chavez, 1988; Pacifici *et al.*, 2014; Pons i Solé-Sugrañes, 1994). Aquestes correccions minimitzen l'efecte del vapor d'aigua, aerosols, i altres factors, sobretot en les superfícies anisotròpiques, és a dir, aquelles que la seva reflectància varia en funció de la il·luminació o el tipus de geometria dels objectes.

Alguns estudis ofereixen els models matemàtics com si fos aplicable a qualsevol data i satèl·lit o bé només contempen la variable temporal. Tanmateix, els paràmetres físics (angles d'azimut i zenit) són clau per dur a terme aquesta correcció, sobretot en imatges VHR (Pacifici *et al.*, 2014). Baraldi *et al.* (2010) descriu la fase entre el calibratge radiomètric i la correcció atmosfèrica en tres fases: primer es transforma de ND a radiàncies (*at-sensor radiance*) a través dels guanys i les pèrdues, mesurades en $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$. Després es calcula no linealment a reflectàncies TOA (0 a 1), on es corregeixen els efectes atmosfèrics amb l'angle del zenit solar i la distància del sol a la Terra, com per exemple, el mètode d'objecte fosc (Chavez, 1988).

Hi ha models de correcció que contempen tots els factors possibles, com ara, LOWTRAN (Kneizys *et al.* 1988), MODTRAN (Berk *et al.*, 1998; Gomes *et al.*, 2015), 6S (Vermote *et al.*, 1997; Zhao *et al.*, 2001), entre d'altres. Els models simplificats, com el que s'ha utilitzat en aquest estudi, són una aproximació possibilista en un gran nombre de casos; DOS (Chavez, 1988) i el model de correcció radiomètrica (Pons i Solé-Sugrañes, 1994).

DigitalGlobe va desenvolupar una sèrie de correccions atmosfèriques automatitzades completes per a les imatges VHR del *QuickBird*, *WorldView-1* i *WorldView-2* conegudes com els mètodes de FLAASH i QUAC (*Quick Atmospheric Correction*) (Pacifici, 2012). En concret, el FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*) és una correcció atmosfèrica basada en el model MODTRAN. Aguilar *et al.* (2014) utilitza aquesta correcció a les imatges *Aster*, *RapidEye*, *SPOT-2* i *Landsat 8*.

La ESA va proposar un algoritme per a les imatges de S-2 anomenat SEN2COR (Vuolo *et al.*, 2016). Sola *et al.* (2018) va aplicar tres mètodes de correcció diferents a les imatges S-2: MAJA, 6S i iCOR. Les diferències són baixes entre els quatre mètodes, per a cada banda espectral i les cobertes.

A nivell avançat, el model matemàtic *Bidirectional Reflectance Distribution Function* (BRDF) és una funció matemàtica que relaciona la irradiància incident des d'una direcció donada i la radiància reflectida contribuïda cap a una altra direcció (Pons i Arcalís, 2012; Richter i Schläpfer, 2002).

→ Correcció topogràfica

La correcció o normalització topogràfica té per objectiu compensar els canvis produïts pel relleu exposat a la llum solar directe (figura 19) (Baraldi *et al.*, 2010; Teillet *et al.*, 1982). Segons Riaño (2003), l'orientació i el pendent d'una superfície anisotròpica influeixen en les radiàncies registrades en una imatge (figura 20) (Salvador *et al.*, 1996; Shepherd i Dymond,

2003; Teillet *et al.*, 1982). Per aquest motiu, les zones de muntanya acusen amb més intensitat aquestes variacions, en conseqüència el grau d'encert d'una classificació serà menys alt (Zhu i Liu, 2014). Per tant, aquesta correcció és clau, on el territori mostra un relleu complex perquè reduirà la variabilitat interna de cada classe de vegetació i millorarà l'exactitud de la classificació.

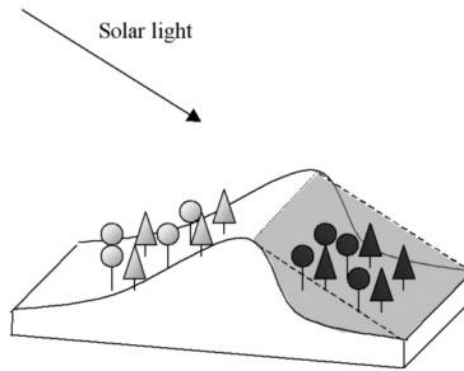


Figura 19. Efecte de la topografia (Riaño *et al.*, 2003).

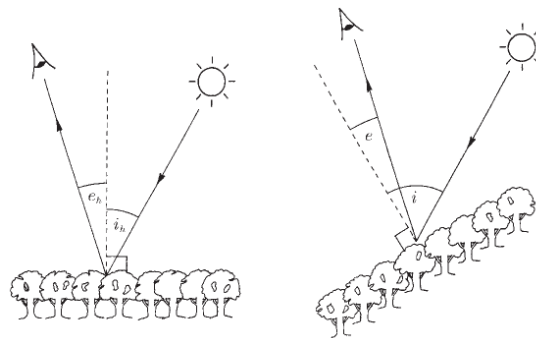


Figura 20. Esquema comparatiu dels angles de reflexió del dosser vegetal entre una superfície horitzontal i una inclinada (Shepherd i Dymond, 2003).

Taula 4. Els mètodes de correcció topogràfica més utilitzats.

Correcció	Autor	Estudis aplicats	Àrea d'estudi	Satèl·lit
Rati de banda	(Colby, 1991)	(Ono <i>et al.</i> , 2007)	Península d'Indoxina	ADEOS-II/GLI 250m
Minnaert	(Minnaert, 1941)	(Bishop i Colby, 2002)	Nanga Parbat (8125m, Pakistan)	SPOT-3 HRV
Cosinus	(Teillet <i>et al.</i> , 1982)	Assumeix la llei Lambert de reflexió i els models de variació d'il·luminació (Shepherd i Dymond, 2003)		
C	(Teillet <i>et al.</i> , 1982)			
Empiricoestadístic	(Civco, 1989)			
ATCOR 3 (ATCOR 2 + DEM)	(Richter, 1997)	(Broszeit i Ashraf, 2013)		GeoEye-1 RapidEye

Altres mètodes incorporen totes dues correccions, com per exemple, la correcció radiomètrica de Pons i Solé-Sugrañes, (1994) basada en àrees pseudoinvariants (Pons i Pesquer, 2010). Aquest mètode s'avalua en l'estudi de Padró *et al.* (2017), que es comparen entre les dades de camp presses amb espectroradiòmetre i les dades de les imatges corregides de Landsat-7 (ETM+), Landsat-8 (OLI) i Sentinel-2A (MSI) amb resultats significatius ($r^2 > 0.9$). A més, es compara amb altres mètodes com ara, 6S, SEN2COR i ATCOR3. El mètode PIA de MiraMon va donar millors resultats en quatre de les sis bandes de S-2 mentre que SEN2COR, es va ajustar més a la banda del NIR i el SWIR2. En un altre estudi, Balthazar *et al.* (2012) analitza el comportament de les correccions topogràfiques en àrees muntanyoses i el mètode més senzill computacional és l'ATCOR3 perquè requereix relativament poques dades d'entrada i una base física-estructural. Aquest mètode el va utilitzar Immitzer *et al.* (2018) a les imatges de satèl·lit de Landsat i IKONOS.

Per una altra banda, la correcció C de Teillet (1982) consisteix en la relació lineal entre les dades espectrals i el cosinus de l'angle d'incidència solar respecte a la superfície normal més un factor C específic per a cada banda. El cosinus de i (figura 21) es calcula com una funció del pendent, l'orientació i l'angle d'il·luminació solar del terreny d'estudi sota les condicions de la presa de les imatges. La regressió lineal s'utilitza per estimar el pendent (m) i l'ordenada d'origen (b), mitjançant el cosinus d'il·luminació com a variable independent i el conjunt de les bandes de reflectàncies com a variable dependent. El factor C és la simulació de l'efecte de la radiància difusa, tot i que l'analogia no és exacta. Reese i Olsson (2011) van suggerir correccions separades per a les cobertes forestals i les no forestals. De fet, cap fórmula de correcció específica és aplicable per millorar els diferents tipus de boscos alhora (Balthazar *et al.*, 2012; Riano *et al.*, 2003; Teillet *et al.*, 1982).

També, la classificació de vegetació es veu influenciada per la reflectància del fons de cel·la, la vegetació vigorosa i per l'ombra que projecta. A mode de detall, altres mètodes s'aproximen amb paràmetres que tenen en compte la interacció sol-dosser-sensor, com ara, els SCS i SCS + C. Tanmateix, la majoria de models semi-empírics són definits per cada imatge en específic. Tots els factors del model modifiquen el resultat final de la correcció (Balthazar *et al.* 2012).

Per validar les correccions topogràfiques es calcula una anàlisi quantitativa: les estadístiques espectrals para cada imatge o objectes seleccionats (mitjana, desviació estàndard, coeficients de variació, coeficients de correlació o les signatures espectrals), o bé, la baixa correlació entre l'angle d'il·luminació amb les reflectàncies corregides. O bé, l'exactitud de la classificació per a les classes de les cobertes individuals. La correcció topogràfica serà acceptada, si la signatura espectral d'una classe és similar en diferents tipus de relleu (Balthazar *et al.*, 2012; Riaño *et al.* 2003).

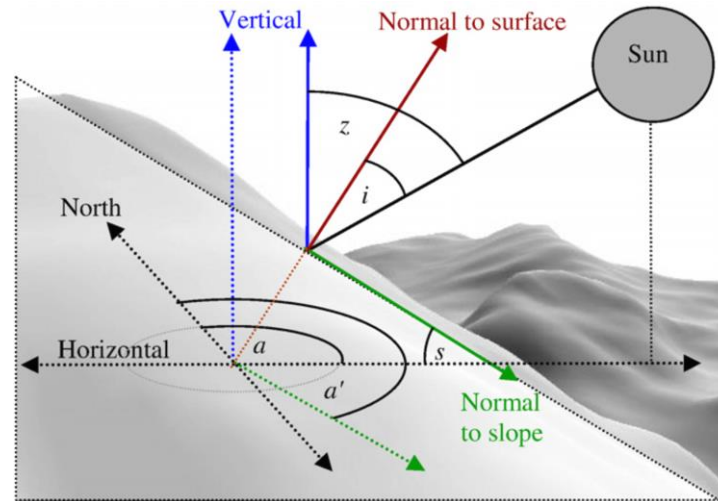


Figura 21. Angles que es formen amb la irradiació solar i reflexa (Reese i Olsson, 2011).

Per tant, les correccions geomètrica, atmosfèrica i la topogràfica són obligatòries, sobretot en el cas d'El Hierro. Una illa que es destaca pel seu relleu abrupte, que dibuixa zones d'ombra, de pendents i d'orientacions, que modifiquen la direcció de la radiació solar. Els valors obtinguts pels tres satèl·lits d'aquest estudi són modificats pels factors atmosfèrics i topogràfics de manera que, els valors registrats pel sensor presenten variàncies altes a les reflectàncies reals de la vegetació.

3.2.2. Sensors actius: el cas del Lidar

L'altimetria de làser o Lidar (*Light Detection and Ranging*), també coneguda com *Airborne Laser Scanning* (ALS), és una tecnologia de teledetecció remota emergent amb un potencial (Lim *et al.*, 2003) per elaborar cartografia, monitoreig i avaluació de recursos forestals (Gatzolis i Andersen, 2008). El Lidar permet obtenir més densitat de dades, l'increment de l'exactitud de les mesures biofísiques i l'anàlisi espacial extens en tres dimensions (Lefsky *et al.*, 2002). Les dades Lidar o núvol de punts (figura 22) proporcionem la informació geogràfica, extensa, continua, d'alta precisió i, mitjançant el càlcul de fórmules estadístiques es defineix l'estructura del bosc, és a dir, l'organització espacial (vertical i horitzontal) dels seus components.

El funcionament del Lidar consisteix en què el làser envia un conjunt de polsos curts (feix de llum) cap a la superfície en una determinada banda electromagnètica. El temps entre l'emissió del pols (*echo* o *beam*), i la detecció del senyal reflectit (*backscattered*), es produeix el que es coneix com la *durada del echo*. Mitjançant els càlculs matemàtics es coneix l'altitud dels objectes de la superfície. El primer retorn descriu la part més alta de la vegetació o qualsevol objecte que intercedeixi en el senyal o bé, és el sòl però això significa que és l'únic registre.

Hi ha dos tipus d'adquisició dels *echos*: *waveform* Lidar, l'energia reflectida torna al sensor registrada com una senyal contigua o *discrete-return*, *small footprint*, l'energia reflectida és quantificada per intervals d'amplitud i es registrada com un punt de referència en un temps i

espai determinats. L'amplitud energètica de cada retorn es coneguda com *intensitat*, dependrà de l'altura del vol.

En aplicacions de cartografia topogràfica i forestal, la longitud d'ona dels polsos es troba a la part de l'infraroig proper, entre els 1,04 i 1,06 μm . Aquest sistema es pot utilitzar per gestionar la vegetació, per perfilar un tipus de bosc i obtenir informació de l'altitud de la coberta i les capes vegetals (Jones i Vaughan, 2010). En concret, les dades Lidar són l'origen dels models tridimensionals de l'estructura de la vegetació. Així com, classificar el núvol de punts defineix les entitats de la superfície terrestre escanejada (Kolecka *et al.*, 2015).

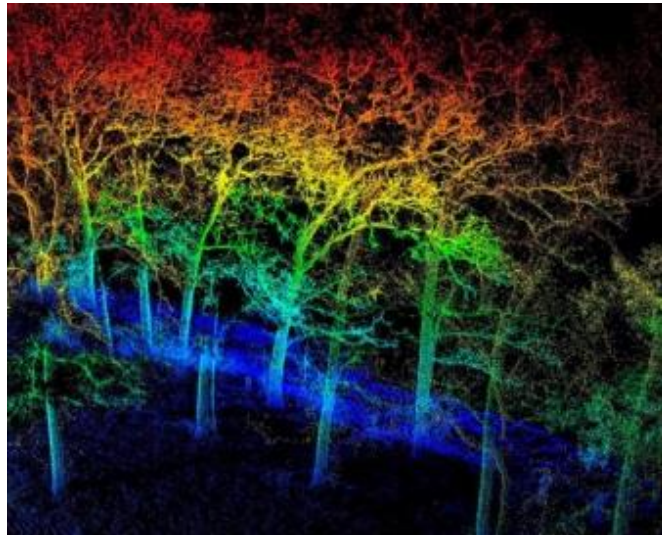


Figura 22. Núvol de punts d'un bosc (Melin, 2017).

La densitat dels polsos marcarà una diferència en els models digitals del terreny. El mínim acceptable són 0,5 punts per m^2 per garantir bons resultats a 2 metres resolució. El model digital del terreny i el model digital de superfícies són variables necessàries per calcular el model digital de l'altitud de la vegetació, és a dir, per definir l'estructura del bosc. A més, existeix una alta correlació entre l'estructura de la vegetació i les variables biofísiques, molt utilitzades a l'hora de classificar imatges de satèl·lit. Una de les mesures de l'estructura del bosc és la coberta de la vegetació o fracció de cabuda coberta (FCC). Aquesta es calcula amb els primers retorns i ens indica la distribució horitzontal del bosc. Els boscos naturals tenen una distribució més uniforme d'altura que els boscos plantats.

En concret, la *skewness* i *kurtosis* són dues variables estadístiques per conèixer la distribució de la probabilitat del núvol de punts. Les dues mostren la desviació des d'una distribució normal de punts, l'anàlisi de la distribució de les dades permet separar les poblacions i delimitar entre classes. *Skewness* mesura la simetria, és a dir, conèixer on es localitza el núvol de punts respecte del centre de tendència. Si és lluny es considera que està distorsionada. *Skewness* es defineix per la següent fórmula.

$$Skewness = \frac{k_4}{k_2^{3/2}} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2)^{3/2}}$$

La *kurtosis* mesura la forma de la distribució en relació a una distribució normal, es centra a les cues laterals. La fórmula és la següent:

$$Kurtosis = \frac{k_4}{k_2^2} - 3 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2)^2} - 3$$

Des dels 2000, els estudis que utilitzen aquest tipus de dades va *in crescendo*. La tecnologia Lidar proporciona informació vertical i horitzontal de les resolucions espacials de les altures. D'aquestes dades s'obté coneixements dels atributs forestals com ara l'altura de les copes dels arbres. La fusió de les dades Lidar i multiespectrals encerta l'exactitud de les classificacions de la vegetació complexa, com és el cas de l'Aspen Parkland de l'oest de Canada (Bork i Su, 2007). identificar i classificar amb precisió els diferents tipus de boscos i les edats de cada un (Antonarakis *et al.* 2008), generar un model d'altura de l'estructura de la vegetació mitjançant el programa FUSION (Gaulton i Malthus, 2010), classificació d'imatge multispectral i les dades Lidar per conèixer les altituds dels arbres (Bork i Su, 2007; García *et al.*, 2011; García *et al.*, 2018), com a complements de dades RADAR o de imatges hiperespectrals. Fins i tot, per caracteritzar l'estat intern d'un individu d'arbre (Li *et al.*, 2013).

A nivell teòric, Kolecka *et al.* (2015) presenten un marc de treball conceptual per obtenir un mapa dels patrons forestals utilitzant la informació de l'estructura de la vegetació derivat de les dades Lidar. Aquest estudi és a la comuna de Szczawnica en el Carpats polonesos. El mètode de classificació esta basat en objectes, distingint entre els segments de no vegetació, baixa, mitjana i alta vegetació.

Molts estudis classifiquen les imatges multiespectrals i les dades Lidar: Ke *et al.* (2010) classifiquen per segmentació les imatges multiespectrals de *QuickBird* (2,4m) i les dades altimètriques, la integració dels dos tipus de dades millora la precisió dels resultats amb 91,6% de l'índex de Kappa. Per un altra banda, García *et al.* (2011) tracta les dades multiespectrals i Lidar conjuntament per discriminar tipus de combustibles executant una classificació *Support Vector Machine* (SVM). L'ús de les dades altimètriques va permetre superar la limitació de dades multiespectrals per distingir certs tipus de superfícies que presenten una resposta espectral similar. Més tard, García *et al.* (2018) desenvolupen un algorisme per extrapolar les estimacions de l'altitud dels boscos amb les dades Lidar en regions més extenses utilitzant dades del satèl·lit SAR (RADAR) i altres regions de l'espectre electromagnètic. En el cas del *Juniperus*, Sankey i Glenn, 2011 van cartografiar la superfície de la coberta de *Juniperus* amb imatges Landsat-5 TM i dades Lidar, individualment i fusionades. La classificació de la fusió de les dades multiespectrals i les de Lidar dona com a resultat un mapa de les cobertes del *Juniperus* ($R^2 = 0,80$) però s'ha de disposar de les dades espectrals del *Juniperus* joves dispersos entre els arbustos alts perquè difereixen a les signatures dels *Juniperus* més vells.

3.3. Classificacions d'imatge de satèl·lit

Classificar les imatges és una tècnica essencial per a moltes aplicacions de teledetecció a on l'usuari li interessa reduir la complexitat de les dades de la imatge de satèl·lit a un nombre limitat de classes homogènies que poden representar, per exemple, diferents vegetacions o

tipus de cobertes (Heydari i Mountrakis, 2018; Jones i Vaughan, 2010; Lu i Weng, 2007). La classificació de cel·les en unes classes determinades es basa en el reconeixement de les seves característiques espectrals, expressades en **signatures espectrals**. El procés de la classificació produeix un mapa temàtic, que mostra la distribució espacial d'un fenomen específic com ara, un tipus de sòl o camps de conreus (Foody, 2002).

Actualment, els mapes temàtics de les cobertes de sòl són necessaris en totes les activitats relacionades amb l'organització, protecció i planificació del medi ambient (Gianinetto *et al.*, 2014). Una de les moltes aplicacions d'aquesta tècnica és gestionar els recursos naturals; canvis d'usos del sòl, el seguiment d'un incendi o d'inundacions (Xie *et al.*, 2008).

Les fases d'una classificació són les següents (Lillesand *et al.*, 2004):

1. Recollir les dades auxiliars i generar nova informació: (Pelletier *et al.*, 2016)
 - a. Les característiques espectrals mitjançant la combinació de bandes espectrals; per exemple, NDVI (Rouse *et al.*, 1973).
 - b. Característiques espacials utilitzant la tècnica de la segmentació a escala d'objecte (en comptes de nivell de cel·la).
2. Procés de millora de la imatge. En aquesta fase s'apliquen filtres de convolució per diferenciar millor els objectes entre ells.
Obtenir les signatures espectrals dels objectes a classificar perquè són necessàries en una classificació supervisada. És convenient normalitzar totes les variables utilitzades per evitar prioritzar una sobre la resta.
3. Definir els paràmetres del classificador, com per exemple, el nombre de veïns en una classificació kNN.
4. Refinament de resultat: són filtres modals per disminuir l'efecte sal i pebre que apareix en el resultat final de la classificació.
5. Validació de la qualitat: Es calculen les mètriques per validar la classificació amb les dades de test. Les matrius de confusions ens permeten calcular l'exactitud global del procés.

La primera fase consta de la selecció de les dates detectades de manera remota que varien segons la resolució espacial, radiomètrica, espectral i temporal. Comprendre quines són les avantatges i els inconvenients dels diferents tipus de dades és essencial per escollir les imatges que s'ajustin més a les necessitats de l'usuari, de l'escala, de l'àrea d'estudi i de la disponibilitat d'aquestes, a les restriccions de cost i temps.

Un dels primers inconvenients apareix quan es comparen dues imatges de diferents resolucions espacials, concretament, les de molt alta resolució. No existeix cap mena de protocol que dicti els passos a seguir però l'estudi del Solano *et al.* (2018) elabora una nova metodologia per comparar imatges de satèl·lits d'aquest tipus. Aquest estudi optimitza l'enfocament per la detecció de canvis de vegetació i zones urbanes mitjançant l'ús de funcions basades en transformacions lineals que demostren ser més efectives per representar la informació multisensor en un lloc físic homogeni.

L'adquisició de les imatges han de ser en èpoques similars de l'any, sobretot si s'estudia la vegetació (Serra *et al.*, 2003). El cicle fenològic de l'espècie és clau per la seva identificació (Fassnacht *et al.*, 2016). En aquest sentit, els sensors passius en l'espectre òptic tenen més potencial a l'hora de separar espècies d'arbres que en els sensors actius. Alguns estudis han combinat imatges aèries amb les de satèl·lit de dues estacions: la primavera i la tardor

(senescència) amb una alta exactitud de la classificació (Fassnacht *et al.*, 2016; Immitzer *et al.*, 2018).

La resolució espectral ofereix un rang ampli de radiàncies per classificar la vegetació (Vidal-Macua *et al.*, 2017). El procés d'extracció de la vegetació des de les imatges de teledetecció es basa en la interpretació d'elements, com ara, el color de la imatge, la textura, el to, informació del patró i associacions, etc.

3.3.1. Àrees d'entrenament i de test

Les àrees d'entrenament (*training fields*) són aquelles zones delimitades per l'usuari que associen les característiques espectrals d'un objecte amb la imatge. La diferència entre les àrees d'entrenament i de test és la seva finalitat. Les d'entrenament s'utilitzen per designar les classes en el classificador mentre que les de test són per validar. La fase de creació de les àrees d'entrenament i de test a l'hora de classificar una imatge, és clau per assegurar uns encerts alts (Jones i Vaughan, 2010). La distribució de les àrees d'entrenament ha de ser homogènia i equitativa per a totes les classes, de manera independent al tamany de la mostra de cadascuna (Heydari i Mountrakis, 2018). Una opció per elaborar les àrees d'entrenament més acurades són les imatges dels satèl·lits de molt alta resolució (*Very High Resolution*) per la identificació exacte dels objectes de cada classe.

A l'hora de discriminar certes classes, la similitud espectral produeix un grau d'error de classificació més elevat. L'estratègia d'aquesta fase de Hulet *et al.* (2014) és incloure els diferents rangs de les cobertes dels *Pinus* i els *Juniperus*, variant les quantitats d'ombres i els valors influenciats pel sotabosc o sòls nus trobats a la imatge (figura 23). L'aplicació de filtres de convolució a la imatge és una solució a la confusió de cobertes. Abans de classificar, Petersen i Stringham (2008) van aplicar un filtre de convolució baix de 7 x 7 per reduir la variabilitat associada a cada classe. Aquests filtres s'utilitzen per a la millora de la qualitat de la imatge ràster. *Blur* és un filtre del tipus que produeix un efecte borrós i afavoreix la detecció de la vegetació. *Laplacian 3 x 3* genera un contrast en els marges que s'utilitza per estudiar l'heterogeneïtat del paisatge.

Per un altre banda, les característiques espectrals s'utilitzen per a la discriminació d'aquelles cobertes de sòl amb signatures espectrals similars (Pelletier *et al.*, 2016). En el cas del Vidal-Macua *et al.* (2017) treballa amb diverses dates, d'aquesta manera s'han seleccionat les àrees d'entrenament i de test coincidents. La segmentació de les imatges és un altre sistema que proporciona informació espectral i de la textura dels objectes. eCognition Developer 8 i OTB software són alguns dels programaris més freqüents per analitzar les imatges (Immitzer *et al.*, 2018; Ng *et al.*, 2017). Per exemple, Immitzer *et al.* (2018) fan us de les bandes del vermell i de l'infraroig proper per analitzar la textura de la imatge WorldView-2.

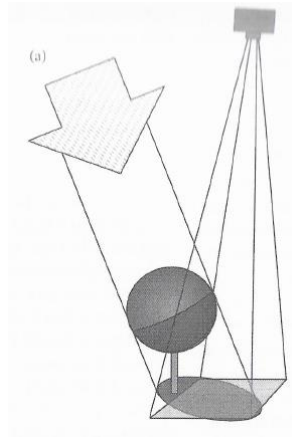


Figura 23. Esquema de la il·luminació de la vista d'una cel·la mixta incloent un arbre, l'ombra del sòl i sòl assolit (Jones i Vaughan, 2010).

A més, els ratis de bandes poden facilitar la tasca de delimitar les classes de la classificació (Jones i Vaughan, 2010). El diagrama de dispersió entre les bandes del vermell i de l'infraroig proper agrupen les cel·les de vegetació (figura 24).

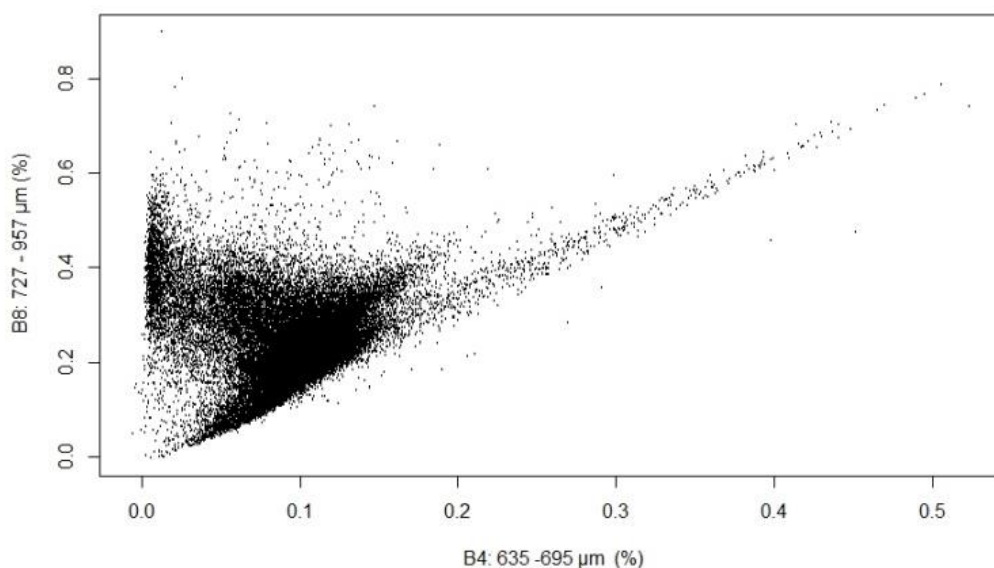


Figura 24. Diagrama de dispersió de la relació entre la reflectància de l'infraroig proper i del vermell per a l'illa d'El Hierro de les imatges de S-2. A l'eix de l'abscissa és la banda 8, és a dir, la reflectància de l'infraroig proper, i l'eix de les X, representa la banda 4, és a dir, la banda del vermell. Marca una recta on es representa aquelles cel·les de sòl i el cúmul a la part superior del gràfic són totes aquelles cel·les de vegetació densa.

La distribució de les àrees d'entrenament i de test no són establertes enlloc, de manera que cada autor selecciona un percentatge adequat pel seu estudi. García *et al.* (2011) i Heydari i Mountrakis (2018) han utilitzat el 82 % com a àrees d'entrenament i el 18% restant per a validar. Hulet *et al.* (2014) reparteixen en 20% les àrees d'entrenament i el 80% les de validació.

→ Índex de Vegetació de Diferència Normalitzada (NDVI)

L'índex de vegetació de diferència normalitzada (NDVI) va ser creat l'any 1973 (Rouse *et al.*, 1973). Aquest índex és un quocient de les bandes que dona a conèixer amb exactitud l'estat de la vegetació (Espinoza-Molina *et al.*, 2017). El principi de l'aplicació del NDVI és que la vegetació té alts valors de reflectivitat en l'infraroig i altament absorbeix a la banda del vermell. En altres paraules, l'NDVI és un paràmetre biofísic que correlaciona entre l'activitat fotosintètica de la vegetació. S'identifiquen els canvis a través de la fenologia de cada espècie vegetal (Xie *et al.*, 2008).

En el cas de la classificació del *Ashe juniper* a Oklahoma (Estats Units) mitjançant els valors del NDVI. Quan es marquen els llindars del NDVI entre espècies, els valors són més baixos significativament a l'estiu que l'hivern, en comparació als boscos caducifolis (Wang *et al.*, 2018).

3.3.2. Classificador

→ Què és una classificació?

Procés d'anàlisi digital d'imatges per agrupar píxels o segments, associar-los a un objecte o classe segons les seves característiques radiomètriques o d'altre tipus. La finalitat és elaborar un mapa categòric que representi cada una de les classes (Pons i Arcalís, 2012).

→ Què és un classificador?

És qualsevol dels mètodes, criteris o algorismes concrets que s'apliquen a les classificacions digitals d'imatges com a mecanisme d'assignació d'objectes a les classes que es decideixen que podrien contenir un mapa categòric que es vol obtenir.

Es distingeix dos tipus de classificadors: els supervisats i no supervisats (Chuvieco, 2010; Fassnacht *et al.*, 2016; Olaya, 2014; Xie *et al.*, 2008). Els supervisats són aquells que l'usuari designa les característiques de les classes a través de les àrees d'entrenament, pel coneixement previ del territori amb fotointerpretació o treball de camp. Com ja s'ha explicat a l'apartat anterior, aquestes àrees serveixen per *entrenar* al classificador per reconèixer determinades classes a la imatge de satèl·lit. En el cas dels no supervisats, qui agrupa els *clústers* és l'algoritme i genera classes espectrals homogènies en funció dels paràmetres estadístics i la distància de l'espai. Els classificadors tradicionals no supervisats són: *K-mean* i ISODATA, mentre que el supervisat més utilitzat és el de màxima versemblança. Els no supervisats són fàcils d'aplicar i la majoria de programari de processament d'imatge i estadístic en disposen. Si s'afegeixen noves mostres, com és un procés automàtic, s'ha de tornar a repetir de nou. Aquestes classificacions mostren els *clústers* de classes i faciliten la tasca de selecció d'àrees d'entrenament (Xie *et al.*, 2008).

Chuvieco (2010) distingeix entre les classes informacionals i les espectrals. Les primeres són les classes que apareixen a la llegenda mentre que les segones són les agrupacions de valors espectrals homogenis dins de la imatge. De manera que, cada classe informacional no correspon a un únic valor spectral. D'aquesta situació deriven diversos escenaris: el primer és que una mateixa classe, com ara el savinar, el que es troba a la part humida i a la part seca, tots dos són savina però tenen signatures espectrals diferents. El segon escenari pot ser que dues classes tinguin valors espectrals molt semblants, com és el cas de la savina

i el pi, que al camp es distingeixen els tons però a la imatge es produeix una confusió. Per discriminar-les, es pot recórrer a altres variables no espectrals, les derivades de la variància espacial de cada cel·la, com ara el context, en una certa àrea de proximitat, o la seva situació respecte a la resta de cel·les que formen la imatge de satèl·lit. Chuvieco (2010) proposa fer una classe més genèrica, per exemple; coníferes.

Des del punt de vista matemàtic, els mapes categòrics es poden aconseguir amb models estadístics multivariants (anàlisi de components principals, anàlisi factorial, etc.), però resulten poc encertats quan les dades segueixen una distribució gaussiana. Per tant, en aquests casos convé els classificadors no paramètrics perquè no assumeixen cap valor estadístic (mitjana, desviació estàndard, etc.), en concret, són útils els classificadors de veïns més propers per la relació espacial i no espectral (Jones i Vaughan, 2010; García *et al.*, 2011).

A la taula 5 es descriuen els classificadors agrupats en grans blocs segons el criteri que utilitzen. Els classificadors més senzills i comuns tracten cada cel·la independent per assignar-li una classe segons la seva propietat espectral mentre que els més complexos, consideren patrons de brillantor o bé la textura de la imatge amb grups de cel·les properes.

Taula 5. Les tècniques de la classificació d'imatge (Jones i Vaughan, 2010):

Context	Descripció	Exemples
No context	Utilitza una cel·la només o dades de camp mitjanes	La majoria dels mètodes entren dins aquesta classe
Mètodes contextuals	Tenen en conte les cel·les veïnes	
Els que utilitzen informació complementària	Descripció	Exemples
No utilitzen info. completa	Es basen únicament en la informació de la imatge	La majoria dels mètodes entren dins d'aquesta classe
Si us info. completa	Info compl: observacions multitemporals, MDE, barreja entre bandes òptiques i radar, i dades fusionades o assimilació de dades	En general, requereixen d'un mètode no paramètric
Dades d'entrenament	Descripció	Exemples
No supervisat	Únicament informació espectral de la imatge: el classificador necessita etiquetar i combinar les classes resultants	ISODATA, k-means, etc
Supervisat	Es basa en un conjunt d'àrees d'entrenament	Màxima versemblança,
Condicions espacials	Descripció	Exemples
Per píxel	Cada cel·la és classificada independent	
Per objecte	Utilitza els valors espectrals mitjans d'una parcel·la de les cel·les contigües	
Píxels barrejats	es poden assignar diverses classes com a proporcions d'una cel·la; se suposa que l'espectre d'una cel·la és una combinació (normalment lineal)	Mètodes <i>fuzzy</i>
Trets estadístics	Descripció	Exemples
Paramètric	Basat en les estadístiques de les dades	MLC, Mínima distància, anàlisi discriminant, etc.
No paramètric	No té en compte l'estructura de les dades; es pot introduir diversos tipus de dades	<i>k-Nearest Neighbours</i> , ANN, SVM, enfocaments de decisió d'arbres.

No existeix cap mètode ideal, per tant l'elecció de la classificació depèn dels objectius, les característiques de la imatge, el coneixement *a priori*, així com a l'experiència i preferència de l'usuari.

En relació al nombre de classes separades que es pot distingir amb èxit depèn, entre d'altres coses, de la quantitat de canals espectrals no correlacionats que l'usuari disposa (Jones i Vaughan, 2010).

Existeix la possibilitat que dues cobertes diferents tinguin valors similars en dues bandes però és poc probable que una tercera també coincideixi. Per tant, la base del procés de qualsevol classificació, es compren observant la distribució dels punts de dues bandes (figura 25). Si les dues bandes es representen en un diagrama de dispersió, passem a un espai estadístic de dos dimensions i no a un espai físic. Els punts representen els valors de les cel·les, aquelles amb respostes espectrals similars tendeixen a formar *clústers* o agrupaments, associant un *clúster* a una determinada classe. Bàsicament, el procés de classificació té per objectiu identificar aquests *clústers* de cel·les a una classe temàtica designada per l'usuari. El resultat acostuma a ser un mapa temàtic.

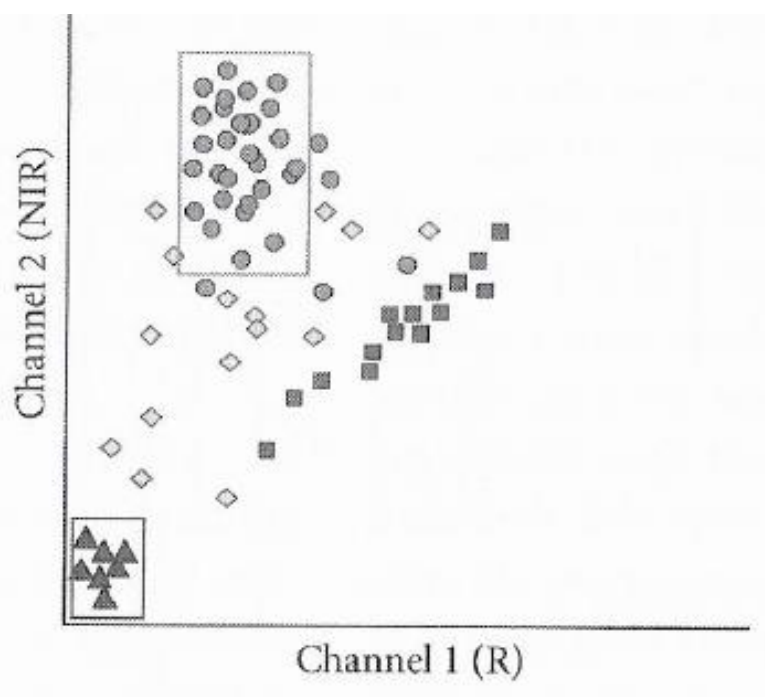


Figura 25. Representació en un diagrama de dispersió de la banda vermella en el eix de les X i la banda infraroja en l'eix de les Y. Visualment, s'aprecia com s'agrupen, per similitud espectral, les cel·les (Jones i Vaughan, 2010).

Segons Fassnacht *et al.* (2016), els classificadors més utilitzats en estudis de discriminació i classificació d'espècies arbòries dins de l'aprenentatge estadístic són:

3.3.2.1. Classificadors paramètrics

- a) Anàlisi discriminant: No requereix l'ajust de paràmetres i accepta múltiples variables d'entrada. La interpretació dels resultats és més senzilla entre classe. Assumeix una distribució gaussiana de les dades d'entrenament. Anàlisi discriminant clàssic és menys sensible als problemes mal plantejats i excepcionals.

Resultats sorollosos en paisatges complexos. Limita la capacitat per complir amb la multicol·linealitat.

- b) Màxima versemblança: és el classificador supervisat clàssic que es basa en el patró de distribució estadística. Té un enfocament coherent per a diversos problemes d'estimació. Aquest utilitza les àrees d'entrenament per predir les mitjanes i les variacions de les diferents classes i per tant, calcular la probabilitat de qualsevol cel·la propera estadísticament a la classe donada. Aquest classificador és preferible per a tipus de dades paramètriques i requereix informació de la covariància, és a dir, no treballa de manera òptima quan les àrees d'entrenament són limitades.
- c) Per angle espectral: determina la similitud espectral entre dues bandes espectrals mitjançant el càlcul de l'angle entre els espectres i entenent-los com a vectors en un espai amb dimensió igual al nombre de bandes seleccionades. És útil en aquelles imatges amb variables altament correlacionades, com ara les hiperespectrals.
- d) Bayesiana; és un classificador supervisat i una de les avantatges és que els resultats inferiors interpretables són exactes i condicionats per les variables subjacents. Per contrapartida, hi ha complicacions en com seleccionar una prioritat, com a conseqüència, els resultats es veuen afectats, té un alt cost de computació, sobretot quan s'utilitzen un gran nombre de variables.
- e) Model lineal generalitzat (en anglès, GLM): és un model de regressió lineal. GLM és adequat per modelar variables de resposta binària. S'habilita a través de distribucions binomials per dur a terme la classificació. Com a inconvenient les respostes-variables han de ser independents i la variable de selecció és necessària per evitar problemes amb la dimensió.
- f) Anàlisi espectral mixt: és ideal per l'anàlisi sub-pixel i és menys sensible al soroll o errors de les correccions atmosfèriques.
- g) Lògica difusa: aquest enfocament, cada cel·la es assignada en diverses classes, com un valor més o menys alt en funció de la semblança espectral. Aquest mètode és útil per a les àrees de classes mixtes. És més flexible que les classificacions discretes i té la capacitat d'integrar algunes regles decisives, com ara la decisió en *random forest*. Com a inconvenients: hi ha problemes en com presenta els resultats, sotmès a la sortida de l'automatisme d'aprenentatge de l'algoritme i optimitzar els paràmetres *fuzzy* en un sistema complex és impossible.

3.3.2.2. Classificadors no paramètrics

- a) Màquina de vector de suport (SVM - *Support Vector Machine*): Per aquest mètode no és necessari determinar la distribució de la població. El seu rendiment és òptim quan es disposa de moltes variables auxiliars. El conjunt d'àrees d'entrenament pot ser reduït. L'accés als valors de probabilitat és fàcil. Per contrapartida té un alt cost computacional.
- b) *Random forest* o *regression tree* (boscos aleatoris o arbre de decisió): Aquest mètode no requereix un distribució de la població específica. És menys sensible al

nombre de variables d'entrada que d'altres mètodes i no sobrecorregeix. Inglada *et al.* (2015) avaluen els mètodes de classificació supervisats en imatges d'alta resolució, entre ells, S-2 per obtenir mapes de tipus de conreus. Els resultats mostren unes precisions superiors al 80% amb el classificador *Random forest*.

- c) Xarxa neuronal artificial: És apropiat per l'anàlisi de gairebé qualsevol tipus de dades, independentment de les seves propietats estadístiques (Xie *et al.*, 2008). Els inconvenients són: la gran demanda computacional quan les bases de dades són extenses, inclús no es pot donar el cas de no disposar de cap resultat, fins i tot després d'iniciar la renderització del procés informàtic.

Els estudis que utilitzen diferents satèl·lits com a font de dades són més comuns. Alguns casos concrets, com ara, Donmez *et al.* (2015) elaboren les àrees d'entrenament a partir d'un parell d'escenes del satèl·lit GE-1. A posteriori, fan ús de l'algoritme de l'arbre de decisions per modelitzar les fraccions de diferents cobertes: *Pinus nigra*, *Cedrus libani*, *Pinus brutia*, *Juniperus excelsa* i *Quercus cerris* a través de les imatges multitemporals Landsat TM/ETM obtenen les variables de predicció i informació de coberta de sòl. Immitzer *et al.* (2018) desenvolupa un mètode que combina un mosaic de Landsat que cobreix una extensió de 26000 km² i les imatges del WorldView-2 (WV-2) de gran resolució que comprenen àrees més petites. Les imatges de molt alta resolució espacial s'utilitzen per entrenar l'algoritme de classificació *random forest*. La combinació de les imatges d'aquests dos satèl·lits redueix considerablement els costos associats a l'adquisició i processament de les dades de detall.

Per un altre banda, la millora dels algoritmes de classificació permeten elaborar cartografia a partir d'objectes, i així superar la tradicional classificació per cel·la. L'ús d'aquests nous classificadors redueixen la variació espectral local causada per textures de la copa dels arbres, buits i ombres. Yu *et al.* (2006) utilitza el classificador kNN i el *random forest* com a càlcul complementari.

→ El cas d'un classificador no paramètric: classificació per nombre de veïns més propers

El classificador per nombre de veïns més propers és un classificador supervisat no paramètric sense cap suposició estadística de la distribució de les dades (Tomppo i Halme, 2004; Yang i Yu, 2010). No parametritzar cap classe significa que compara l'objecte que ha de classificar amb els objectes d'entrenament. A l'hora de realitzar les àrees d'entrenament s'ha de recollir la màxima representació possible de cada classe.

L'increment de la freqüència d'ús es justifica per l'adaptabilitat d'aquelles poblacions de distribucions no normals, les seves característiques multivariants, la velocitat d'execució, fàcil ús, senzillesa, transparència i flexibilitat (Fernandez *et al.*, 2013; Mcinerney i Nieuwenhuis, 2009a; McRoberts *et al.*, 2007). A més, preserva millor l'estructura de covariància de les variables de camp que altres mètodes en els que la predicció és feta separatament per cada variable. El kNN agrupa valors similars amb l'ajuda de variables auxiliars. El mètode facilita l'anàlisi de variables contínues, com ara, l'àrea basal i volum, i per a una classe (Franco-Lopez *et al.*, 2001).

Requereix que els vectors de formació reals participin en cada classificació, és a dir, cada classificació ha de ser calculada amb les seves àrees d'entrenament (Yu *et al.*, 2006). Qian *et al.* (2015) mostren una certa indiferència en relació amb les dimensions de les àrees

d'entrenament però Fernández Luque *et al.* (2013) afirma que aquesta tècnica dona bons resultats quan el nombre d'àrees de mostreig no són gaire elevades.

L'ús d'aquesta tècnica ha augmentat per aplicacions forestals per cartografiar trets forestals a partir dels valors espectrals de les imatges de satèl·lit (Franco-Lopez *et al.*, 2001a; Mcinerney i Nieuwenhuis, 2009b; McRoberts *et al.*, 2007; Tomppo i Halme, 2004; Yu *et al.*, 2006).

L'únic inconvenient que presenta és el requeriment computacional per mapes de gran escala (Mcinerney *et al.*, 2009).

Hi ha un cert debat en l'entorn científic amb el nombre de k per emprar l'algoritme. El valor k resulta més efectiu quan és entre 1 i 3 (Qian *et al.*, 2015), mentre que Vidal-Macua, (2017) demostra que l'exactitud de la classificació no ha de variar en gran mesura en funció del nombre de veïns. Els valors k més petits poden preservar l'estructura de covariància donant resultats més consistents quan les variables d'origen són respostes múltiples (McRoberts *et al.*, 2007).

El kNN és un algoritme que calcula la distància, habitualment és l'euclidiana, entre el píxel objectiu i un píxel de referència (de les àrees d'entrenament). L'usuari ha de determinar el nombre de veïns per fer la classificació.

La fórmula del classificador kNN és (McRoberts *et al.*, 2007):

$$y_i = \left(\sum_{j=1}^k W_{ij} \right)^{-1} \left(\sum_{j=1}^k W_{ij} Y_j^i \right)$$

Y_j^i , $j = 1, \dots, k$, és refereix al conjunt d'observacions per k cel·les en el conjunt de referència proper a i th cel·les respecte a la mètrica de distància. D = és l'espai de covariància, W_{ij} , $j = 1, \dots, k$ = és el pes de la cel·la.

Segons Franco-López *et al.* (2001), aquest classificador procedeix de la següent manera: la distància espectral d'una categoria es calcula en l'espai estadístic des de la cel·la \mathbf{p} classificada a cada cel·la \mathbf{p}_i , pel que es coneix la mesura o classe en el territori. Per a cada cel·la \mathbf{p} , es prenen un conjunt de cel·les sobre el territori que seleccionen els veïns més propers. Per tant, el resultat s'expressa com una funció de les unitats més properes, que afegeix cada un dels valors unitaris d'acord amb una funció de distància en un espai d'aquestes característiques. Per classificar un objecte, kNN troba els k veïns més propers a la nova mostra de l'espai d'entrenament en funció d'una mètrica de similitud o de distància adequada. La classe de pluralitat entre els veïns més propers és l'etiqueta de classe de la nova mostra.

Els grups sorgits de la classificació s'associen en funció de les àrees d'entrenament assignades i les àrees no assignades. El kNN conserva l'estructura de les dades d'entrada i els seus valors, tanmateix els classificadors tradicionals no ho fan (Franco-López *et al.*, 2001).

Les prediccions amb aquest classificador són calculades com a combinacions lineals d'observacions per la designació d'unitats del nombre de veïns més propers o més similars a l'espai de les variables auxiliars. Per implementar aquest classificador hi ha quatre requisits: 1. Distància mètrica, 2. Variables de camp o dades auxiliars utilitzades amb la

distància mètrica, 3. El nombre de veïns i 4. Un esquema pel pes del veïns (McRoberts *et al.*, 2016). La configuració del kNN no és òptima per a tots els casos. Per tant, és recomanable adequar el classificador per a cada cas (Chirici *et al.*, 2016).

Yu *et al.* (2006) compara el comportament entre els classificadors MLC i kNN en un Parc natural de Califòrnia. El classificador MLC basat en píxels va aconseguir una major precisió mitjana, ja que es va realitzar millor en les aliances amb petites mides d'entrenament. Els resultats indiquen que el mètode basat en objectes kNN és més robust que el MLC basat en píxels a causa de les característiques específiques de la classificació de vegetació a la nostra àrea d'estudi. La sensibilitat de la precisió de la classificació supera substancialment el 40%.

Yang *et al.* (2010) presenten dos classificadors de diferent naturalesa; un per a l'extracció d'elements no paramètrics basat en el cosinus (CNFE) on la funció de pes (*weight function*⁴) es incorpora en les matrius de dispersió⁵ dins de la classe i entre classes, desenvolupada a partir de la distància del cosinus⁶. D'altra banda, també es desenvolupa un altre algoritme derivat de la classificació del veí més proper (KNN) basat en la mètrica de distància formada per funcions CNFE, que es denomina classificador KNN (CKNN) basat en CNFE. Els resultats experimentals sobre un conjunt de dades hiperespectrals demostren que tant el CNFE com el CKNN aconseguen classificacions notables en diversos tipus de mides d'exemple de formació, incloent-hi els casos de mostreig petit (classes de baixa representació).

Borràs *et al.* (2017) han demostrat que el classificador per veïns més propers i la combinació d'aquest amb el *Random Forest* de les imatges Sentinel-2 mostra uns bons resultats. Les classificacions de les imatges S2 mostren entre el 2% i 5% més exactitud que les imatges SPOT.

Després de la classificació, poden sorgir errors, com ara, les cel·les aïllades o petites zones de cel·les incorrectament assignades. Quan passa aquest fenomen, es coneix com a sal i pebre. Chuvieco (2010) i Serra *et al.*, (2008) presenten els polígons d'àrees d'entrenament associats a una única classe de vegetació, per tant, com es diu a l'estudi d'en Serra *et al.* (2008) les cel·les incorrectament classificades seran fruit d'errors en el procés de classificació degut a la presència de soroll a la senyal radiomètrica, a la combinació de cel·les contigües, a possibles imprecisions cartogràfiques o inclús a una mala delimitació del polígon.

⁴ Funció $p(r)$ que multiplica una altra funció $f(r)$ abans d'integrar-la a una regió de l'espai, amb la finalitat de donar a uns punts més importància que als altres.

⁵ És una estadística que s'utilitza per fer estimacions de la matriu de covariància.

⁶ És una mesura de la semblança entre dos vectors en un espai que posseeix un producte interior amb el que s'avalua el valor del cosinus de l'angle que hi ha entre els dos.

3.3.2.3. Illes i *Juniperus*.

Els estudis que identifiquen i localitzen del gènere *Juniperus* a l'illa d'El Hierro són nombrosos (Hernández, 1987; Losada *et al.*, 1984; Nogales *et al.*, 2009; Salvà-Catarineu i Romo-Diez, 2014; Santos, 1976) però els elaborats a partir de la teledetecció són els següents: Schweichel (1999) va cartografiar les cobertes del sòl amb la classificació de les imatges de satèl·lit SPOT 2 de 10 i 20 metres de resolució espacial. Més tard, Del Arco *et al.* (2006) van elaborar un mapa de vegetació d'El Hierro mitjançant treball de camp i fotointerpretació.

El gènere *Juniperus* s'identifica en altres illes, com és el cas de Madeira, que es caracteritza per uns trets biogeogràfics semblants als d'El Hierro. La classificació d'imatges de satèl·lit *RapidEye* per cel·la o per objecte ha donat com a resultat un mapa de 26 classes (Masseti *et al.*, 2016). A la regió mediterrània, l'objectiu de Tzanopoulos i Vogiatzakis (2011) era investigar els canvis de coberta terrestre i els patrons paisatgístics a l'illa Egeu de Sifnos, Grècia des de 1987 fins a 1999 mitjançant les imatges de satèl·lit. Els resultats mostren que les màquies de *Juniperus phoenicea* es van expandir en punts allunyats dels assentaments. En general, el paisatge de Sifnos es va tornar menys fragmentat i més homogeni.

Els estudis presentats mostren diverses metodologies per observar el comportament del *Juniperus*. L'ús de la imatge de satèl·lit és cada cop més freqüent per observar aquestes espècies.

Actualment, s'estudia el ginebró a nivell d'individu com a invasor a altres punts del món (Everitt *et al.*, 2007) i les infestacions del ginebre d'Ashe (*Juniperus ashei* Buchholz) (figura 26) a Texas. Els valors de reflectància són més baixos a la banda de l'infraroig que les altres espècies llenyoses i menors a l'espectre visible respecte amb altres espècies herbàcies. Els mètodes no supervisats en les imatges del *QuickBird* per identificar els individus de *Juniperus ashei* Buchholz resulten una exactitud del productor 94,1% i una exactitud del usuari del 88,1%.

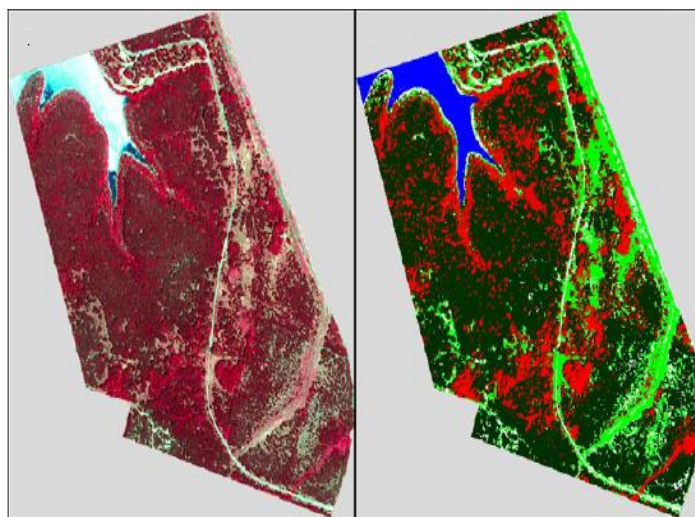


Figura 26. Esquerra imatge de satèl·lit *QuickBird* a la dreta la classificació no supervisada (Everitt *et al.*, 2007).

La creació de models a partir de les variables independents derivades de les imatges en color d'alta resolució aèries, un model d'elevació digital de 10 m, i una vegetació basada en el terreny i mesures d'humitat del sòl. Les regressions múltiples són els models que presenten millor ajust per predir la densitat o la coberta per les comunitats de matollar. De les imatges aèries (1:5000, 0,25 m) es calcula una classificació supervisada per delimitar les àrees dels ginebres amb el programa ERDAS *Imagine*. Derivat d'aquestes variables dissenyen un índex de competència del *Juniperus*. El càlcul d'aquest índex proporciona cartografia a nivell d'individu.

Thuiller *et al.* (2003) investiguen la capacitat predictiva de tres mètodes estadístics (models lineals generalitzats, models additius generalitzats i anàlisi d'arbres de classificació) utilitzant dades de distribució d'espècies a tres escales: detall (Catalunya), intermedis (Portugal) i grollera (Europa). Quatre espècies d'arbres mediterranis (*Juniperus oxycedrus*, *Pinus pinastre*, *Pinus pinea* i *Quercus suber*) són modelats per a l'anàlisi comparatiu. Les variables seleccionades per als models eren relativament coherents amb les escales i la precisió predictiva dels models varia lleugerament.

Fernández *et al.* (2010) en aquest estudi s'estudia la variabilitat especial dels patrons estacionals i anuals de diverses espècies (entre elles el *Juniperus phoenicea*) mitjançant el càlcul del NDVI, la temperatura de superfície i l'albedo amb cinc imatges de Landsat 7. Les variables són classificades a tipus funcionals ecosistèmics, que és un nou concepte ecològic relacionat amb el funcionament ecosistèmic.

3.3.3. Validació d'exactitud (accuracy assessment)

L'avaluació d'exactitud determina la qualitat de la cartografia elaborada i quantificar els errors d'un mapa. Assegura obtenir un resultat rigorós, informatiu i honest (Congalton, 1991; Foody, 2002; Olofsson *et al.*, 2014). L'objectiu és identificar aquelles cel·les del mapa que no coincideixen amb la informació de referència. Aquest procés té especial interès en aquelles cel·les dels marges de les classes perquè són susceptibles a errors. La identificació d'aquests errors de les zones de transició indica la precisió de les classificacions i així, corregir el mapa temàtic (Heydari i Mountrakis, 2018). Cal tenir en compte que les millores d'una classificació d'un estudi determinat no són universals, és a dir, la solució al cas de l'estudi més citat pot ser no sigui funcional per altres casos (Xie *et al.*, 2008).

La matriu de confusions (*error matrix*) és un dels mètodes, que forma part de la l'estadística d'aprenentatge, més utilitzats per quantificar els errors d'un mapa. Aquesta taula de dades consisteix en una base efectiva per organitzar i resumir la coincidència entre la classificació i la informació de referència (Foody, 2002). La diagonal representa les cel·les correctament classificades. La resta de valors de la matriu indiquen les confusions, és a dir, aquelles cel·les assignades a una classe que no correspon a la realitat. El conjunt de la taula expressa l'exactitud global del mapa. La suma dels errors d'assignació en columnes indica els errors d'omissió, és a dir, totes aquelles classes que deixen de representar en vers a una classe determinada, mentre que la suma dels errors d'assignació en files implica els errors de comissió, fa referència a totes aquelles classes que es sobredimensiona la seva superfície en perjudici a una classe específica (Pons i Arcalís 2012). Aquestes mesures s'han en els resultats de qualsevol classificació d'imatges de satèl·lit (Olofsson *et al.*, 2014). Aquesta matriu ens dona a conèixer altres valors que ens indiquen el valor d'exactitud del mapa, com ara, l'índex Kappa (Vanonckelen *et al.*, 2013).

L'índex Kappa és una mesura estadística que ajusta l'efecte de l'atzar a la proporció de la concordança observada pels elements qualitius (les classes del mapa). Els problemes que sorgeixen de l'ús d'aquest índex són els següents (Foody, 2002; Olofsson *et al.*, 2014):

1. La quantificació de l'encert per casualitat hipotètica produeix una mesura que no es correspon a la precisió del mapa (pot arribar a subestimar la probabilitat que una cel·la seleccionada a l'atzar estigui correctament classificada).
2. L'índex assumeix que s'ha produït una proporció de les àrees definides per encerts aleatoris i aquestes proporcions realment no han estat casualitat.
3. Kappa és altament correlacionat amb la precisió global, de manera que els valors de Kappa són redundants amb l'encert general.

CAPÍTOL 4

Ecologia del paisatge

4. ECOLOGIA DEL PAISATGE

4.1. Model fragment-corredor-matriu

L'enfocament metodològic per abordar l'objecte d'estudi d'aquesta tesi es sota el marc de treball de l'ecologia del paisatge. Aquesta disciplina considera el paisatge com un sistema integral complex i les mètriques serveixen per quantificar les seves unitats. La heterogeneïtat del conjunt de mapes de les cobertes del sòl d'El Hierro s'ha mesurat a través de les mètriques i els resultats s'han comparat, i així, determinar quin mapa s'ajusta més al paisatge real de l'illa.

L'ecologia del paisatge va sorgir a mitjans del segle XX. Carl Troll (1899-1975) va ser el primer geògraf en parlar de "*Landschaftökologie*" (en alemany, ecologia del paisatge) que la defineix com una ciència moderna interdisciplinària que es centra en l'estudi integral de la xarxa complexa de relacions causa/efecte existents entre una comunitat d'espècies (biocenosi) i les seves condicions ambientals en un determinat espai organitzat en diferents escales resultat de processos naturals i antròpics (Troll 1939; Folch i Bruc 2017).

Els pioners de la quantificació de l'heterogeneïtat espacial han suggerit que el paisatge pot ser concebut com un mosaic ambiental (Turner, 1989), aprofundir en els tipus d'ecosistemes a l'espai (Forman i Godron, 1986; Krummel, *et al.*, 1987; O'Neill *et al.*, 1988), definits per les seves dinàmiques i el seu component temporal (Fahrig, 2003). L'estudi de l'heterogeneïtat té dues finalitats: per cartografiar o per mesurar ecològicament al recurs que s'està gestionant. En aquesta tesi es pretén abordar aquesta disciplina des de el primer tipus (Gustafson, 1998).

L'ús del paisatge com a marc de treball es recolza en models conceptuals que pretenen parametritzar la seva heterogeneïtat (CREAF, 2006), i aquesta es representa en els mapes (Nogué *et al.*, 2013). Des del punt de vista funcional del paisatge, les conceptualitzacions més acceptades són les del model fragment-corredor-matriu presentat per Forman i Godron l'any 1986 (Taylor *et al.*, 1993; Marull i Mallarach, 2002). L'avantatge principal d'aquest model és quantificar el paisatge per fer l'anàlisi espacial i gestió del territori. Els fragments, corredors i matrius són les unitats bàsiques que s'identifiquen en aquest model. Els fragments o tesselles són superfícies contínues amb característiques relativament homogènies i diferents a les del seu voltant. Els corredors són elements lineals, per exemple, fer la funció de conductes que canalitzen determinats fluxos, alhora, actuar com a barreres o filtres per altres fluxos i ser l'hàbitat d'alguns organismes (Pino, Rodà, i Guirado, 2006) i finalment les matrius són aquells fragments que ocupen la superfície més gran i que presenten un grau elevat d'interconnexió amb més influència en la dinàmica del paisatge.

Un dels interessos d'aquesta ciència és el patró paisatgístic que esta relacionat amb la biodiversitat i altres valors ecològics del paisatge. Un desordre en aquest patró pot suposar el compromís de la funcionalitat integra per interferència amb els processos ecològics crítics necessaris per a la persistència de la població i el manteniment de la salut ecosistèmica. (Mas *et al.*, 2010; Neel *et al.*, 2004; Turner, 1989; Uuemaa *et al.*, 2013).

4.2. Conceptes i teories de l'ecologia del paisatge

La ciència de l'ecologia del paisatge es fonamenta en teories que modelitzen els fenòmens ecològics. En aquest apartat s'enumeren i s'expliquen els conceptes bàsics i les teories més destacades d'aquesta ciència.

4.2.1. Els conceptes bàsics de l'ecologia del paisatge

Els conceptes claus de l'estructura del paisatge són (Forman i Godron, 1981): el fragment, fa referència a les àrees discretes relativament homogènies que es distingeixen per discontinuïtats marcades amb el seu voltant. Aquest es caracteritza per l'àrea interior o *core* i els marges o *edge*. Els éssers vius que habiten a l'interior o a l'exterior es defineixen per trets biològics força diferenciats. Les espècies d'interior són aquelles que el seu hàbitat és més estable en el temps i resideixen a un mateix indret al llarg d'un període, mentre que les de marge són espècies transitòries que utilitzen aquell fragment de manera temporal. La connexió de dos fragments o més és mitjançant el corredor, quan hi ha una connexió d'aquests elements lineals, s'estableix una xarxa. L'agrupació de fragments i corredors forma la matriu, que és la percepció del paisatge com un conjunt de fragments distribuïts en un espai d'una manera determinada. Per últim, el mosaic és el que assumeix la matriu i tot el seu contingut. L'estructura del paisatge es distingeix per les relacions espacials que es produeixen pel seus components, es caracteritza per la composició i la configuració (McGarigal i Marks, 1995).

a. Composició: es refereix als camps associats amb la presència i la suma de cadascun dels fragments d'un paisatge però sense expressar la distribució espacial. En unes altres paraules, compren la varietat i abundància de cada tipus de fragment però no la seva organització o localització amb el mosaic paisatgístic.

b. Configuració: es refereix a la distribució física o de caràcter espacial dels fragments del paisatge. Alguns aspectes de la configuració, així com l'aïllament dels fragments o el contagi del fragment, són mesures de la distribució dels tipus de fragments relatius a altres tipus de fragments, els límits o altres camps d'interès. Altres aspectes de la configuració, com ara la forma o l'àrea interior, són mesures de caràcter espacial dels fragments.

La interacció entre espècies i fragments se'n deriva un conjunt de fenòmens en el paisatge i tenen relació entre ells:

a. Fragmentació: L'hàbitat és el conjunt de taques d'unes determinades característiques ambientals, on un organisme es desenvolupa. Les migracions de les espècies poden causar l'aïllament dels fragments que amenaça la diversitat biològica de les comunitats i dels serveis ambientals. Aquest procés es coneix com a fragmentació, que pot modificar la configuració d'un paisatge (Forman 1995; Fahrig 2003; Uuemaa *et al.*, 2013b). Si els fragments d'una determinada classe queden aïllats, algunes espècies que hi habiten poden arribar a desaparèixer per manca de connectivitat (Guevara *et al.*, 2004). Les causes de la fragmentació són: els factors abiòtics, els biòtics i els usos antròpics (Turner, 1989). Per registrar els efectes d'aquests factors en el patró paisatgístic, les mètriques mesuren la mida, la forma i la distribució dels fragments (Forman i Godron, 1986; Krummel *et al.*, 1987; McGarigal i Marks, 1994; O'Neill *et al.*, 1988; Saura, 2004; Turner, 2005).

- b. **Connectivitat:** La capacitat dels individus d'una població de deixar un fragment per colonitzar altres del mateix tipus, és el procés fonamental de manteniment de les metapoblacions, és un procés essencial de la dinàmica dels paisatges després d'una pertorbació o un abandonament de les terres agrícoles. Hi ha dos tipus de connectivitat: l'espacial i la funcional. La primera és el fet que dues taques del mateix tipus siguin adjacents, estiguin unides a l'espai, mentre que la segona es relativa a la que els individus o els propàguls d'una espècie poden passar d'una taca a una altra, inclús si són allargades (Burel i Baudry 2002).
- c. **Heterogeneïtat:** aquesta es caracteritza per dos components: la diversitat d'elements paisatgístics (taques) i la complexitat de les seves relacions espacials.

Aquests fenòmens s'estudien a tres escales diferents: de paisatge, de classe o de fragment. L'escala de paisatge engloba aquells fenòmens de nivell de conjunt, com ara la fragmentació, i l'escala de classe i l'escala de fragment són més de detall, com ara, la densitat de marge.

4.2.2. Processos ecològics en el paisatge

L'estudi de tots aquests elements paisatgístics han derivat a teories ben diverses. A continuació es descriuen breument quatre de les teories més freqüents als estudis de l'ecologia del paisatge:

4.2.2.1. Teoria de la jerarquia

Aquesta teoria defineix un marc conceptual apropiat per tractar el conjunt de fenòmens que es desenvolupen a diverses escales espai-temporals. Les prediccions estan subjectes a dues premisses:

- Correlació entre escales espacials i temporals: els fenòmens que es desenvolupen sobre grans superfícies són molt més lents que els que actuen sobre petits espais.
- Els nivells d'organització es caracteritzen essencialment per la velocitat del funcionament dels fenòmens. Els fenòmens amb velocitats molt diferents no interaccionen.

Hi ha dos nivells de jerarquia espacial dins l'estudi ecològic:

- Paisatge: segons l'estructura espai-temporal i els factors d'organització.
- Elements paisatgístics: segons la forma, la qualitat de l'hàbitat i les relacions amb els altres elements paisatgístics.

4.2.2.2. Teoria del caos

Aquesta teoria inclou els processos que no es regeixen per cap llei perquè són difícils de predir. El desenvolupament d'aquesta teoria s'aproxima als fenòmens sensibles a les condicions inicials pel seu estat complex actual fruit de processos simples i deterministes.

D'aquesta teoria se'n deriven un parell:

- a. Teoria de la percolació: estudia el comportament dels fluxos difosos en medis heterogenis i aleatoris. A través de les porositats, hi ha desplaçament d'organismes vius, individus o poblacions. Es coneix com a agregat, un grup de cèl·lules favorables que comparteixen mínim un dels costats. A mesura que augmenta el nombre de cel·les d'una classe, el nombre, la mida i la forma dels agregats varia. Si hi ha molta variabilitat estarà pròxim al valor crític. Si es produeix aquest estat, es defineix un llindar o valor crític, si aquest es supera es produeix "percolació". Aquesta teoria explica un gran nombre de fenòmens físics, biològics o sociològics. Per exemple, el moviment d'individus o pertorbacions.
- b. Geometria fractal: es tracta de quantificar una estructura del paisatge que integra la complexitat del conjunt d'escales i definir l'autosimilitud sobre certa gamma d'escales.

4.2.2.3. Teoria biogeogràfica de les illes

Aquesta teoria prediu la riquesa específica (nombre d'espècies) de la comunitat de les aus presents a les illes, en funció dels paràmetres espacials, com la superfície de l'illa i la distància del continent. La riquesa es fruit de dos fenòmens: el procés d'immigració de propàguls i el procés d'extinció de poblacions.

4.2.2.4. Teoria de les pertorbacions

Les pertorbacions fan referència als esdeveniments localitzats i imprevisibles que danyen, desplacen o maten un o diversos individus o comunitats, es generen les possibilitats de colonització d'altres organismes. L'heterogeneïtat espai-temporal del paisatge és el resultat d'un conjunt de pertorbacions naturals o antropogènics.

4.3. Les mètriques del paisatge

Segons Lausch *et al.* (2015), els processos naturals i els usos del sòl influeixen en els trets distintius dels patrons paisatgístics. L'extensió, la durada, la intensitat i la densitat dels successos, així com la història i el domini de la pressió humana són els components que s'han d'incloure en l'anàlisi d'aquests processos, que afecta el grau de naturalesa o hemeròbia, per entendre com s'estructuren els patrons del paisatge (Steinhardt *et al.*, 2012).

Les mètriques del paisatge són mesures que quantifiquen les relacions espacials entre els elements del paisatge o el mosaic, per comprendre les interaccions dels processos ecològics (Turner, 1989; Wu, 2002). Aquests índexs faciliten el coneixement, l'anàlisi i les

comparacions entre diversos indrets (Forman i Godron, 1986; Wiens, 1989; McGarigal i Marks, 1995; Pino *et al.*, 2006). Les dues aproximacions teòriques per determinar l'estructura del paisatge són: el model de matriu de fragments i el model de gradient (McGarigal i Cushman, 2005). El model de fragments es representa en el model vectorial, que emfatitza la forma, la mida i la configuració del paisatge. Tanmateix, el model de gradient és més potent pels càlculs multivariants i s'adapta a la informació obtinguda dels satèl·lits, com ara, el NDVI. El model de fragments és el més freqüent per la teoria de l'ecologia quantitativa del paisatge, tot i que són reconegudes les seves limitacions per l'excés de simplificacions i suposicions en si mateix, reflectits en els resultats (McGarigal *et al.*, 2009; Lausch *et al.*, 2015).

Les escales d'anàlisi de les mètriques són: la de fragment, la de classe o la de paisatge. L'objecte d'estudi defineix quina és l'escala de treball, per exemple, l'estructura del paisatge de la Dehesa serà a l'escala de paisatge. Hi ha determinades mètriques per calcular la composició del paisatge: a nivell de paisatge; la diversitat i a nivell de fragment; la densitat, la mida i la variabilitat. Les mètriques per quantificar la configuració són: la de forma, la de veïnatge, la de contagi i intercalació.

Segons Uuemmaa (2013), les mètriques s'utilitzen com a indicadors dels canvis d'usos del sòl, de les funcions dels hàbitats (biodiversitat), de les de regulació paisatgística (control de focs, control microclimàtic, etc.) i de les d'informació (estètica del paisatge). Tanmateix, moltes mètriques no aconseguen captar els aspectes ecològics més rellevants, per aquest motiu, Kupfer (2012) va elaborar una revisió de les mètriques de paisatge i destaca aquelles que relacionen millor el patró i la funció del paisatge.

Les característiques més rellevants per quantificar el patró del paisatge són:

- a) L'àrea de les tesselles: és l'extensió total que ocupa un fragment. Aquesta dada determina la grandària de la població, de manera que si aquesta es redueix, la població és més vulnerable.

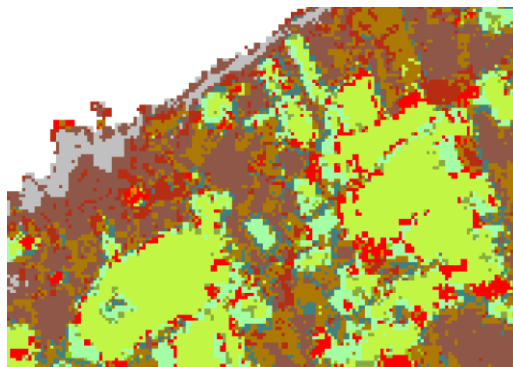


Figura 27. Grandària de les tesselles.

- b) El nombre de tesselles: aquest valor és important per les subpoblacions (teoria de les metapoblacions). Els índexs que s'utilitzen són: el nombre o la densitat de tesselles (a nivell de paisatge), el nombre de tesselles per cada tipus de classe (a nivell de classe) (figura 27).

- c) La forma de les tessel·les: es refereix a la figura que adopta cada fragment d'una classe, que afecta directament els moviments i fluxos entre ecosistemes adjacents. Aquesta mesura es defineix com la relació entre el perímetre i la superfície, que influeix sobre la taxa d'immigració d'algunes espècies. Els índexs més utilitzats són: la complexitat de la forma de la tessel·la en comparació d'un estàndard (vectorial = circumferència, ràster = quadrat), la mitjana de forma, tant a nivell de classe com de paisatge, la mitjana de la forma ponderada de l'àrea, relació àrea-perímetre, la mitjana de la dimensió fractal i la mitjana de la dimensió fractal ponderada per l'àrea.
- d) L'anàlisi de marge-ecotò⁷: fa referència al moviment dels individus dispersors. Els hàbitats són més o menys permeables en funció del seu ambient immediat, de la seva estructura i de l'espai considerat. Els índexs més utilitzats són: el perímetre de les tessel·les, la distància total del marge en relació amb cada tipus de tessel·la o amb el total de tessel·les, mesura el contrast de la vora entre una tessel·la i la veïna immediata, percentatge de contrast de marge del conjunt del paisatge, mitjana del contrast per la superfície de les tessel·les d'una classe determinada i combinació de densitat de vora i contrast de marge en un mateix índex.
- e) La distància respecte d'altres tessel·les i connectivitat: aquesta mesura indica la possible arribada de colonitzadors. La proximitat entre tessel·les fa que sigui menys probable l'extinció. Els índexs afins són: la distància a la tessel·la més propera, la distància a la tessel·la més allunyada, la mida i la proximitat del marge de la tessel·la a la més pròxima del mateix tipus a partir d'un radi determinat per l'usuari, la dispersió de les tessel·les a nivell de classe i de paisatge i la variabilitat relativa respecte a la mitjana de la distància a la tessel·la més propera.
- f) L'anàlisi de la diversitat i l'estructura: aquesta mesura quantifica el grau d'heterogeneïtat d'un paisatge. Hi ha dos factors claus d'aquesta mesura: la riquesa i la uniformitat. Els índexs de referència són: índex de *Shannon*, índex de *Simpson*, la densitat de la riquesa, el contagi, l'adjacència i la juxtaposició.

L'aplicació de mètriques de paisatge és cada vegada més freqüent en els estudis d'ecologia del paisatge. Els Estats Units i la Xina són els pioners de les llistes dels articles científics d'aquest àmbit. Un dels reptes dels estudis i la gestió dels paisatges és la caracterització de l'heterogeneïtat espacial d'una manera i en una escala significativa del fenomen (McGarigal *et al.*, 2009). El principal avantatge de les mètriques del paisatge és la seva senzillesa davant els ràpids canvis ambientals. Aquestes proporcionen informació de fons, per exemple les modificacions d'escenaris per les polítiques ambientals i el compliment dels objectius establerts per convenis i acords internacionals (Uuemaa *et al.*, 2013b).

La caracterització d'un paisatge es relaciona directament amb el coneixement de la seva composició i de la configuració espacial dels elements que l'integren, aspectes relativament independents que combinats afecten els processos ecològics i la supervivència de les espècies (Conde *et al.*, 2009). La quantificació del patró del paisatge a través dels índexs numèrics és molt utilitzada a l'ecologia per caracteritzar i comparar els

⁷ Zona de transició entre dues comunitats o biomes adjacents diferents, per exemple, el límit entre un bosc i un prat o les vores d'un curs d'aigua que corre per un prat.

estats de fragmentació i la coberta de vegetació i el seu canvi en el temps (el patró) (Burel i Baudry, 2002; Heydari i Mountrakis, 2018; McGarigal *et al.*, 2009; Uuemaa *et al.*, 2013). La fragmentació és un procés relacionat amb la connectivitat, per això no és d'estranyar disposar de tants índexs d'aquest tipus. Per aquest motiu, el procés de selecció de mètriques és més complex. Per escollir un conjunt de mètriques per l'anàlisi d'un paisatge, és clau conèixer què mesura cada mètrica (Neel *et al.*, 2004).

Dins dels mètodes d'aquesta ciència existeixen quatre enfocaments metodològics principals: el numèric, l'espacial, el multiescalar i el de models. En el primer s'obtenen les dades de l'estructura, la complexitat i la dinàmica del paisatge, bàsicament amb l'índex de diversitat numèrica. El segon estudia els caràcters emergents dels mosaics ambientals entesos com a entitats discretes col·locades en una dimensió euclidiana. En aquest enfocament es calculen els índexs de formes, de dimensions i de distribució dels elements. Els elements de l'estadística espacial permeten verificar el nivell de casualitat de les característiques espacials. El tercer enfocament pretén destacar els elements que es conserven a través de diferents escales espai-temporals, per això les matemàtiques fractal resulten un dels instruments més potents. Per últim, els enfocaments de models és més precís a l'hora de percebre i simular la dinàmica ambiental (Farina, 2011).

Si l'anàlisi espacial es fa a partir d'una classificació d'imatge de satèl·lit, es dona valor a la consistència i l'exactitud dels índexs. Aquests presenten una gran sensibilitat als canvis de composició i configuració del paisatge. Per això, encara no s'han definit un conjunt de mètriques definitiu per a l'estudi del paisatge (Aguilera i Botequilha-Leitão, 2012). A l'hora de classificar, les estadístiques de marge són una bona opció per representar les zones de transició, on es generen més errors de confusió, de les classes del mapa. Per exemple, si un bosc amb dues espècies pròximes i reflectàncies similars, mostraran aquesta confusió a les zones de marge amb l'anomenat efecte sal i pebre (Heydari i Mountrakis, 2018).

Per assolir aquest anàlisi espacial, la teledetecció i el SIG juguen un paper fonamental perquè són tècniques que permeten gestionar informació georeferenciada, que faciliten l'obtenció de variables complexes a distància per protegir i conservar les espècies endèmiques de l'illa (McGarigal *et al.*, 2009).

4.3.1. Les mètriques per quantificar l'heterogeneïtat del paisatge

L'ecologia del paisatge contempla el desenvolupament i les dinàmiques de l'heterogeneïtat espacial (Turner, 1989; McGarigal, 1995). La capacitat de quantificar l'estructura de paisatge és un requisit previ per estudiar les funcions i els canvis del paisatge. Els patrons de paisatge es mesuren amb un conjunt de mètriques associades amb l'àrea, l'agregació i la diversitat per reflectir les característiques i composicions dels fragments (Feng *et al.*, 2018). Els patrons paisatgístics observats s'associen a una escala espai-temporal, els quals es relacionen amb processos ecològics. Els canvis d'escala mostren trets diferents del paisatge (Turner, 1989). Per això, la selecció de mètriques és un pas fonamental per obtenir resultats més ajustats a l'escala de l'objecte d'estudi (Sun *et al.*, 2016).

Una de les aplicacions d'aquestes mètriques és quantificar el canvi de cobertes en un període de temps. A l'escala local, Serra (2004) va calcular l'augment de superfície urbanitzada a la plana de l'Alt Empordà en detriment de les pastures i els conreus herbacis. Tznopoulus i Vogiatzakis (2011) van investigar la dinàmica del paisatge de l'illa de Sifnos (Grecia) entre 1987 i 1999, amb especial atenció al *Juniperus phoenicea* per la seva

expansió. En aquest cas, les mètriques s'utilitzen per quantificar els canvis en l'estructura del paisatge. L'àrea total de l'expansió del *Juniperus phoenicea* va ser calculada amb una xarxa de cel·les de 100 m x 100 m. L'àrea i el nombre de fragments del *Juniperus* augmenta, a més, els valors totals del marge es mantenen estables. A l'escala de paisatge, les mètriques van ser calculades per quantificar la fragmentació de la superfície del bosc de l'oest del Mar Negre a la regió del NE de Turquia. Els resultats indiquen que els usos del sòl han canviat i les pràctiques de gestió forestal han evolucionat produint canvis en el paisatge (Zengin, Değermenci, & Bettinger, 2018).

Per una altra banda, les mètriques s'empren per examinar l'exactitud dels classificadors de les imatges. Li *et al.* (2013) investiguen la influència de la resolució espacial de les imatges en relació entre la temperatura de la superfície terrestre i el patró espacial de les àrees verdes a Beijing (Xina). El patró es va calcular mitjançant set mètriques en tres resolucions espacials diferents: 2,44 m, 10 m i 30 m de les imatges de *QuickBird*, SPOT i Landsat TM. Els resultats mostren la influència de la resolució espacial sobre la correlació entre les dues variables; la temperatura i el patró espacial. La imatge de molt alta resolució espacial quantifica amb més exactitud el patró espacial de les àrees verdes.

4.3.2. Sensibilitat de les mètriques del patró de paisatge en les classificacions

Les imatges de satèl·lit són una font de dades, que mitjançant l'anàlisi digital, s'obtenen mapes categòrics que mostren el patró paisatgístic (Feng *et al.*, 2018). Les classificacions d'imatge produeixen errors en aquests mapes perquè els factors multiescalars, com per exemple, la resolució espacial modifiquen la representació dels patrons en el mapa (Frohn i Hao, 2006).

L'apartat anterior s'esmenta que les mètriques de paisatge s'acostumen a utilitzar per investigar la relació entre l'estructura i els processos ecològics, o com a indicador de les condicions ecològiques de risc (O'Neill *et al.*, 1997; Uuemaa *et al.*, 2013). També, per identificar i detectar canvis temporals i espacials crítics en els patrons de paisatge, per anticipar processos ecològics irreversibles (Turner, 2005; Lustig *et al.*, 2015). Tanmateix, augmenta l'ús per quantificar els errors de les classificacions (Mas *et al.*, 2010). Els resultats de les mètriques varien de moltes maneres, si es consideren el nombre de les classes de paisatge i la seva distribució espacial (Heydari i Mountrakis, 2018).

Els mètodes de classificació per cel·la donen mapes temàtics amb un grau superior de fragmentació que les d'objectes geogràfics. A més, les característiques de les imatges de satèl·lit i els mètodes de processament influeixen en el mapa del patró de paisatge. Mas *et al.*, (2010) analitzen la sensibilitat de 85 mètriques a diferents mètodes i paràmetres de classificació (cel·la i objecte) processat amb el Package SPRING. Les imatges classificades són de Landsat en una regió forestal muntanyosa complexa a Mèxic. Els resultats de les 9 classificacions d'imatge, sotmeses a l'avaluació d'exactitud, van ser de precisió. El conjunt de mètriques es van comparar a través d'un **coeficient de variació** que normalitza els valors de les mètriques. La sensibilitat de cada mètrica varia el resultat que indiquen un canvi en el paisatge, però de vegades, el problema pot derivar de la metodologia implementada. Totes van mostrar variabilitat en els índexs de l'àrea interior i els de proximitat i contagi (taula 6), que mostren canvis en la dimensió dels fragments i la proximitat entre ells.

Taula 6. Les mètriques de paisatge més utilitzades són (Uuemaa *et al.*, 2013):

Àrea de cada classe (CA)	Índex del fragment més gran (LPI)	Índex de proximitat (PROX)
Nombre de fragments (NP)	Índex de forma mitjana (SHAPE_MN)	Índex de diversitat de Shannon (SHDI)
Superfície total del paisatge (TLA)	Dimensió fractal ponderada per àrea (PAFRAC)	Riquesa de paisatge (PR)
Mida mitjana de superfície per classe	Mitjana de la distància al veí més proper (ENN_MN)	Densitat de marge (ED)

CAPÍTOL 5

Metodologia

5. METODOLOGIA

La figura 28 és l'esquema de la metodologia d'aquest estudi s'estructura en tres blocs:

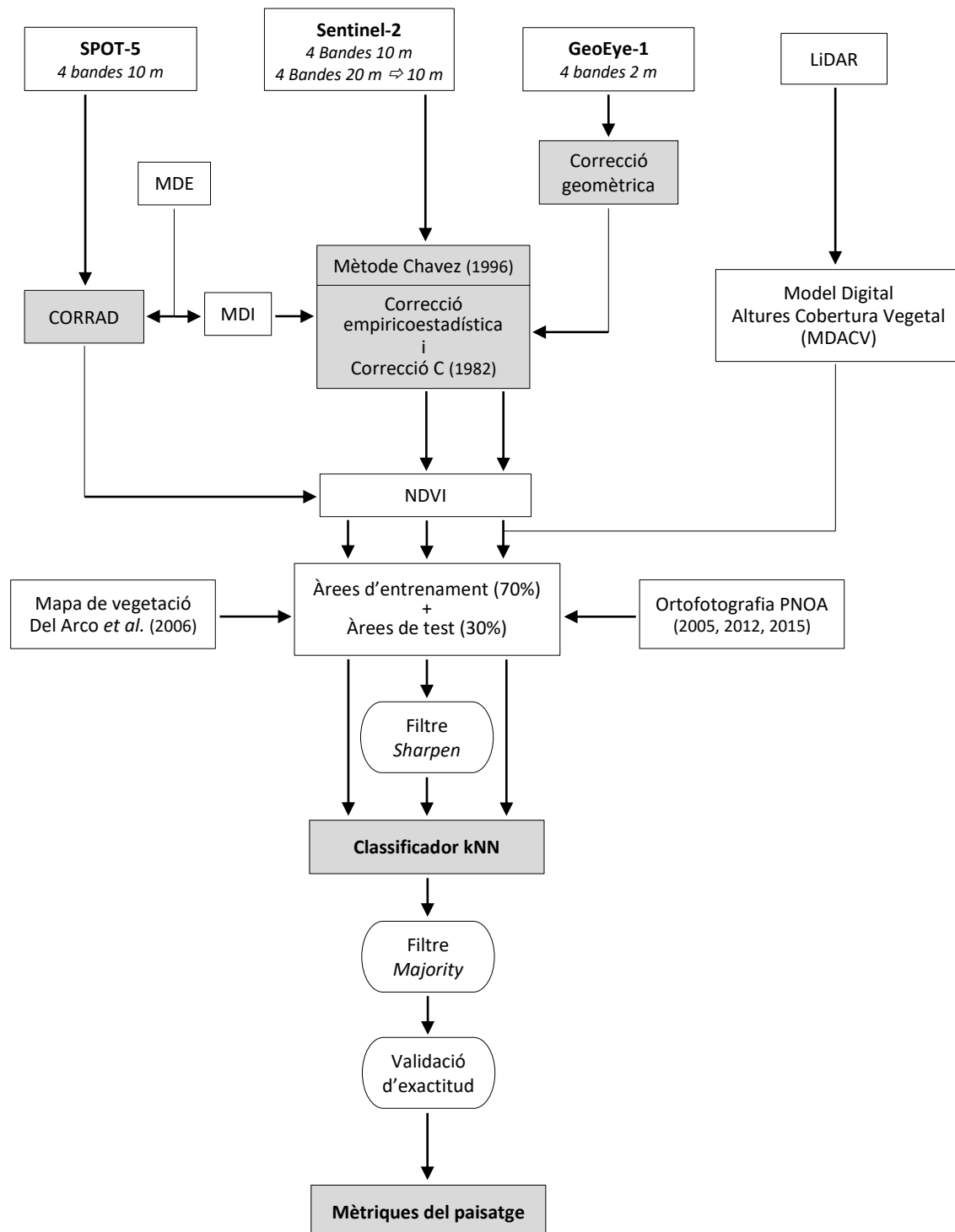


Figura 28. Flux de treball de la metodologia de la classificació de les imatges de l'SPOT-5, S-2 i GE-1. Aquest diagrama s'estructura en tres fases: una fase inicial, d'elaboració de les àrees d'entrenament, una segona fase, de classificació, i la tercera, de validació dels resultats.

5.1. Dades dels sensors passius

A continuació, es descriuen els mètodes de correcció geomètrica i radiomètrica de les imatges dels satèl·lits de l'SPOT-5, el S-2 i el GE-1. La taula 7 destaca aquelles característiques més rellevants i que els diferencien i la figura 29 mostra el contrast de la resolució espacial i espectral dels tres satèl·lits.

Taula 7. Característiques de les imatges de l'SPOT-5, el Sentinel-2 i del GeoEye-1.

	SPOT – 5 HRG	Sentinel-2 MSI	GeoEye-1 N	GeoEye-1 S
DADES DE LES IMATGES				
Data adquisició	5.9.2006	9.8.2016	28.9.2011	09.10.2011
Hora d'adquisició	12:06	12:03	12:03	12:03
Coberta núvols	0	5	0	0
Azimut solar (°)	180,9	173,6	151,9	156,3
Elevació solar (°)	69	78,1	57,1	53,7
Nombre de bandes	4 + 1 pancromàtica	13	4 + 1 pancromàtica	4 + 1 pancromàtica
Mida cel·la	10 m	10 m	2m	2 m / 0,5 m ⁸
Bits per cel·la	8	12	11	11
DADES DEL SENSOR				
Altitud	822 km	786 km	681 km	681 km
Inclinació	98,7°	-56° a +84°	98,1°	98,1°
Duració d'una volta	101,4 minuta		98 minuts	98 minuts
Hora Equador	10:30 a.m.	10:30 a.m.	10:30 a.m.	10:30 a.m.
Temps de revisita NIIRS	2 - 3 dies	< 5 dies	3 dies	3 dies
Imatge fora del nadir			60°	60°

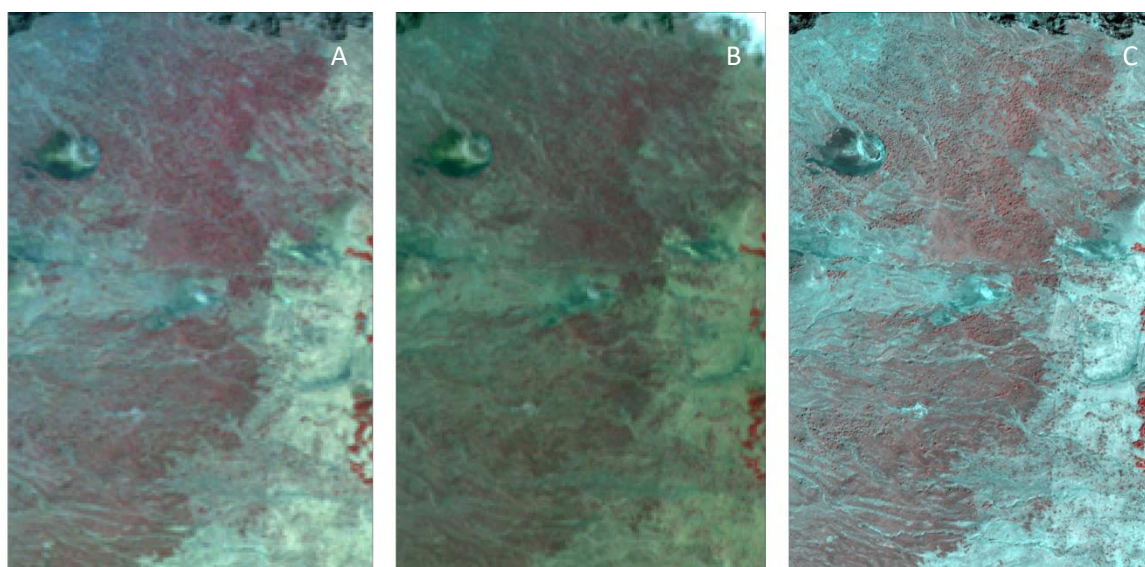


Figura 29. Combinació fals colors de imatges del SPOT-5, el Sentinel-2 i el GeoEye-1. L'aproximació és a La Dehesa.

5.1.1. Les correccions de l'SPOT-5

La data de la imatge de l'SPOT-5 és del 5 de setembre de 2006 a les 12:06 p.m., aquesta imatge prové del sensor HRG. Les bandes utilitzades són les 4 disponibles: verd (0,5 µm – 0,59 µm),

⁸ La llicència d'operació actual de GeoEye amb NOAA no permet la venda comercial d'imatges per sota de la resolució de 0,5 metres (GeoEye, 2008).

vermell (0,61 μm – 0,68 μm), infraroig proper (0,78 μm – 0,89 μm) i SWIR -*Short Wave Infrared*-(1,58 μm - 1,75 μm).

a) Correcció geomètrica

Els nivells de correcció proporcionats pel *Centre National d'Études Spatiales* (CNES) de França, fa un preprocessament de tres nivells diferents:

Nivell 1A: la imatge se sotmet a una correcció radiomètrica de les distorsions degut a les diferències de sensibilitat dels detectors elementals de l'instrument de visualització. L'usuari ha de rectificar geomètricament les imatges.

Nivell 1B: la imatge ha estat sotmesa a les mateixes correccions radiomètriques que el nivell 1A, i també es calcula una correcció geomètrica dels efectes sistemàtics.

Nivell 2A: la imatge ha estat sotmesa a les mateixes correccions radiomètriques que el nivell 1A, i també es calcula una correcció geomètrica, on se li assigna una projecció cartogràfica estàndard.

En aquest estudi es disposa de les imatges amb un nivell de processament 2A.

b) Correcció radiomètrica

La correcció radiomètrica aplicada a les imatges de l'SPOT-5 és el model bàsic radiomètric de Pons i Solé-Sugrañes (1994) perquè no es disposa de les dades atmosfèriques de la data d'adquisició de la imatge.

La fórmula del mètode de Pons i Solé-Sugrañes (1994) és la següent:

$$R = \frac{\pi \cdot (L_s - L_a) \cdot d^2}{(\mu_s \cdot S_0 \cdot t_1 \cdot t_2)}$$

L_s = correspon a la radiància rebuda pel sensor; L_a = és la radiància rebuda pel sensor en una àrea on només hi ha contribució de l'atmosfera (normalment és una àrea a l'ombra o sobre aigua força pura en l'infraroig mitjà); d^2 = fa referència a la distància de la Terra al Sol en el moment de presa de la imatge; μ_s = és el cosinus de l'angle d'incidència de la llum; S_0 = és la irradiància solar a la part superior de l'atmosfera; t_1 i t_2 = són coeficients de transmissió de l'atmosfera, tant des de la part superficial de l'atmosfera cap a la Terra com des de la Terra cap al sensor.

Les correccions radiomètriques s'han calculat amb el mòdul CORRAD del MiraMon. Els paràmetres per aquestes correccions són: les constants de calibratge del sensor, els paràmetres estàndard de radiació solar exoatmosfèrics, els valors estàndard de densitat opticoatmosfèrica, la data i l'hora de la captació de les imatges, la posició solar i el model digital d'elevacions.

5.1.2. Les correccions del S-2

Les imatges del S-2 van ser adquirides a través del portal del *United States Geological Survey* (USGS), gratuïtament. La data de la imatge de satèl·lit seleccionada és del 8 d'agost del 2016. La resolució espacial varia entre els 10 i 60 m amb un camp de visió (*Field Of View*, FOV) de 290 km, és a dir, l'angle sòlid que és capaç de captar radiància electromagnètica. Durant totes les operacions, es mantenen dos satèl·lits a la mateixa òrbita amb una mateixa fase de 180°, proporcionant un temps de revisita de 5 dies a l'equador. En el cas d'El Hierro, es disposa d'imatges entre 3 i 7 dies de diferència.

a) Rectificació geomètrica

L'estat inicial de les imatges són petites correccions geomètriques provinents de les empreses subministradores (ESA). En el cas de S-2 sempre té una configuració d'observació similar o idèntica (tant d'il·luminació com l'observació) permetent fàcilment la detecció de canvis sobre la superfície terrestre. Aquest tret és fonamental perquè ha augmentat la cartografia de la detecció de canvis (ESA, 2010; Drusch, *et al.*, 2012; Baillirin, *et al.*, 2012).

b) Correcció radiomètrica

El nivell de correcció de les imatges descarregades de Sentinel-2 és 1-C, és a dir, només han estat processades geomètricament i convertides a TOA.

Les correccions radiomètriques s'expliquen a l'apartat de correcció radiomètrica del GE-1.

5.1.3. Les correccions del GE-1

En aquest estudi es disposa de dues imatges GE-1. La primera imatge capta la subescena nord de l'illa; la segona, mostra la subescena sud. La imatge de la part nord correspon al 28 de setembre del 2011 a les 12:03 p.m., mentre que la imatge de la part sud és del 09 d'octubre del 2011 a les 12:04 p.m.. Les imatges del GE-1 van ser pressades amb un angle que, generat entre el sensor i la superfície terrestre, és de 19,2° fins a 19,7°.

Les dimensions del ràster de la part nord és de 14.318 per 7.390 files, en total són 105.810.020 cel·les. Les cel·les coincidents amb terra emergent són 46.427.411. Per tant, els valors de radiàncies registrats són el 44 % aproximadament de les imatges, la resta pertanyen a la mar que envolta l'illa. Les dimensions de la imatge del sud del GE-1 són de 12.119 columnes per 6.199 files, que fan un total de 75.125.681 de cel·les, el 41% de les quals és la terra emergent, és a dir, aquelles corresponents a El Hierro.

L'empresa *DigitalGlobe* distribueix en dos formats la imatge: sencera o dividida en parts com es mostra a la figura 30. Les imatges dividides tenen una projecció definida, mentre que la imatge sense dividir no en té. La dimensió de la imatge sense dividir assumeix distorsions que dificulten l'ajust a les coordenades de referència, en canvi, les imatges dividides permeten un millor ajust perquè la distribució dels punts de control s'adeqüen més al relleu.

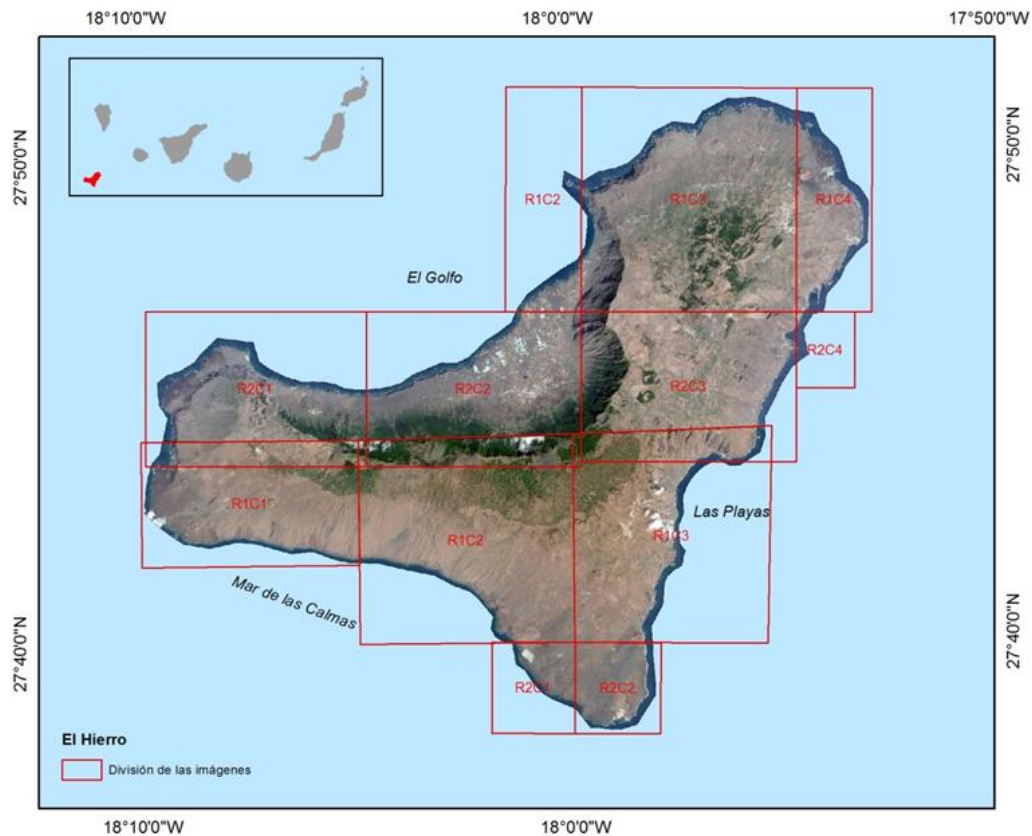


Figura 30. Subdivisions a la imatge original de GE-1 per corregir geomètricament, de manera més acurada, cada part del relleu de l'illa. PNOA cedit per © Instituto Geográfico Nacional.

5.1.3.1. Correcció geomètrica

En el cas del Geoeye-1, s'ha aplicat un model semiempíric de transformació de polinomis de segon grau per assegurar un millor ajustament. L'equació aplicada d'ajust per a columnes i files és: columna = $Ax^2 + By^2 + Cxy + Dx + Ey + F$, i fila = $A'y^2 + B'x^2 + C'xy + D'x + E'y + F$. Aquest model s'utilitza per a: la translació (assignar unes noves coordenades), l'escalat, la rotació fins a un cert angle, i doblegar i corbar la imatge. Depenent del grau que s'aplica, serà necessària una quantitat superior de punts de control, i això permetrà també corregir una distorsió més complexa. Aquesta transformació polinòmica utilitza un polinomi basat en punts de control i un algoritme d'adequació per mínim quadrats (RMSE). Els canvis a nivell global són òptims, però a nivell local l'ajustament és menys precís. Les transformacions es fan des del centre de la cel·la.

El conjunt de punts de control sobre el terreny (GCP, *Ground Control Points*) utilitzats per corregir les imatges s'han obtingut de l'ortofotografia del *Plan Nacional Ortofotografia Aérea*, (PNOA) del 2012 que serveix com a base per extreure les coordenades geogràfiques del sistema de referència destí. S'ha utilitzat L'ArcMap de la versió d'ArcGIS 10.5 (Esri ©) per a corregir geomètricament la imatge.

La xarxa geodèsica de les illes Canàries és el RegCan95, compatible amb el WGS84. L'assignació del sistema de coordenades és el fus 28 nord de la projecció UTM amb l'el·lipsoide WGS84, per unificar amb la resta de capes.

5.1.3.2. Correcció radiomètrica

Aquest pas és important perquè les reflectàncies dels objectes mostren l'entrada de l'espai físic com un element que ajuda a comprendre la variabilitat en el temps i les transicions més acusades. Els nombres digitals no proporcionen aquesta informació (Pacifi *et al.*, 2014).

Les imatges GE-1 i S-2 han estat sotmeses al mètode Chavez (1996) per a corregir els efectes atmosfèrics. Posteriorment, els mètodes empíricoestadístic i la correcció C de Teillet (1982) s'han aplicat per a disminuir els efectes d'il·luminació causats per la topografia.

La correcció radiomètrica converteix els nombres digitals (aquells que rep el sensor) a reflectàncies, en diverses fases:

a) Càlcul de nombres digitals a radiàncies;

Segons Solé i Pons (1994), per convertir els nombres digitals a radiàncies és necessari disposar del valor dels guanys i les pèrdues (increment o disminució d'un senyal en el procés de transmissió) del satèl·lit. Mitjançant els coeficients de conversió, es calculen les radiàncies. La fórmula que passa de nombres digitals a radiàncies és la següent:

$$L = \text{gain DN} + \text{offset}$$

L = és la radiància espectral obtinguda pel sensor ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$); **Gain** = són els guanys; **Offset** = són les pèrdues.

Pel cas de les imatges GE-1, s'afegeixen els coeficients de conversió a la fórmula anterior:

$$L = \text{guanys} \cdot ND + \frac{\text{abscalfactor}}{\text{effectivebandwidth}} + \text{pèrdues}$$

L'abscalfactor = és un factor de conversió de la radiància relativa a absoluta ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$) i **l'effectivebandwidth** –que està associat amb **l'abscalfactor**- és l'amplada de la radiació mitjana del seu màxim rendiment (*throughput*), i es mesura de 0 a 1. Aquestes dades s'obtenen de les metadades de la imatge i de l'estudi de Kuester (2017), i de les Metadades *DigitalGlobe* (2014).

b) Conversió de radiància a reflectància aparent (TOA- Top of Atmosphere).

La correcció atmosfèrica té per objectiu disminuir les influències i distorsions radiomètriques causades per l'atmosfera. Obtenir una radiància d'un objecte és més complex perquè implica eliminar l'efecte de l'atmosfera i altres objectes del voltant que puguin influir. Aquest pas és necessari quan s'han de comparar les bandes de diferents sensors, per aquest motiu cal una unitat de mesura comparable, com per exemple el percentatge. Per tant, interessa que sigui el valor més pur possible de l'objecte al moment de captació de la imatge (Pons, 2014).

Per a la correcció atmosfèrica, s'ha utilitzat el mètode de Chavez (1996):

$$p^{TOA} = \frac{L \cdot d_{ES}^2 \cdot \pi}{E_{sun} \cdot \cos(\theta_S)}$$

L = són les radiàncies; calculades amb la fórmula anterior; d_{ES}^2 = és la distància Terra-Sol (unitats astronòmiques), *Julian day* (Pacifci *et al.*, 2014); π = és el nombre pi (3,1416); E_{sun} = és la mitjana d'irradiància solar exoatmosfèrica; $\cos(\theta_S)$ = l'angle zenital del Sol (graus).

c) Càlcul de reflectància en superfície (BOA-Bottom of Atmosphere)

Per assolir les reflectàncies de superfície cal tenir en compte el valor de l'angle solar. Les reflectàncies de superfície són necessàries per a comparar imatges de diferents satèl·lits o bé, diverses dates d'un mateix satèl·lit.

$$p = \frac{(L - L_{up}) \cdot d_{ES}^2 \cdot \pi}{t_{up} \cdot (E_{sun} \cdot \cos(\theta_S) \cdot t_{down} + E_{down})}$$

p = és la reflectància espectral de la superfície (%); L_{up} = és aquella radiació que es perd a l'atmosfera [$Wm^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$]; t_{up} = és la transmitància atmosfèrica des del sol fins a la part superior de l'atmosfera (sense unitat); E_{sun} = és la mitjana d'irradiància solar exoatmosfèrica; $\cos(\theta_S)$ = és l'angle zenital del Sol (graus); t_{down} = és la transmitància des del sostre de l'atmosfera fins al sol (sense unitat); E_{down} = és la irradiància difusa de la superfície ($Wm^{-2} \cdot \mu m^{-1}$). Els valors de les transmitàncies són de Pacifci *et al.* (2014). La t_1 = són valors estàndards i la t_2 = és el zenit de l'elevació del sensor.

El primer pas de la correcció topogràfica és calcular l'angle d'il·luminació (figura 31) basat en la següent fórmula (Civco, 1989; Colby, 1991; Hantson i Chuvieco, 2011) :

$$IL = \cos \gamma_i = \cos \theta_p \cdot \cos \theta_z + \sin \theta_p \cdot \sin \theta_z \cdot \cos (\Phi_a - \Phi_o)$$

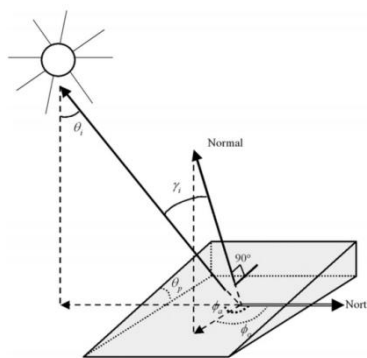


Figura 31. Representació dels angles del model d'il·luminacions (Riaño *et al.*, 2003).

γ_i = és l'angle d'incidència; θ_p = és l'angle del pendent; θ_z = és l'angle solar del zenit; Φ_a = és l'angle solar azimut; Φ_o = és l'angle d'orientació. Els angles d'azimut i zenit solar són calculats per a les condicions específiques allà on les imatges han estat preses; IL = va entre el -1 i el 1.

L'angle d'il·luminació s'ha calculat a través del mòdul d'Astres, afegint les coordenades geogràfiques de l'illa i la data i l'hora (es pot expressar en UTC⁹) de captura de la imatge.

El Model Digital d'Elevacions (MDE) s'ha obtingut del *Centro de Descargas del Instituto Geográfico Nacional* (CNIG). El MDE descarregat és de 5 m, i s'ha resamplificat a 2 m. Un cop conegut l'angle d'il·luminació, hi ha un ventall de mètodes diferents de correcció topogràfica tenint en compte la condició lambertiana:

c1) El mètode empíricoestadístic de Teillet (1982) que suposa una correlació lineal entre la reflectància de cada banda i l'IL.

$$p_T = p_H + m_k \cdot IL$$

p_H = es considera constant considerada per la imatge sencera; m_k = és el pendent de la regressió lineal per cada banda k; IL = és el model d'il·luminacions. Tenint en compte la diferència de la irradiació difusa entre bandes, diferents autors proposen algorismes de la correcció topogràfica que inclouen les bandes amb paràmetres dependents.

c2) La darrera és la Correcció-C de Teillet (1982), que és un variació del mètode empíricoestadístic anterior:

$$p_H = p_T * \left(\frac{\cos \theta_z + c_k}{IL + c_k} \right)$$

$$P_H = \text{banda } C_\lambda = \left(\frac{b_\lambda}{m_\lambda} \right), \text{ on } p_T = b_\lambda + m_\lambda$$

Aquests dos paràmetres són els coeficients de regressió entre la il·luminació i les reflectàncies de les diferents bandes. Per tant, c_λ = és una constant empírica calculada per a cada banda. Aquest mètode implementa un factor C a la correcció del cosinus per recomptar la irradiància de l'atmosfera (Vanonckelen *et al.*, 2013). Actualment, existeixen diversos algorismes per corregir els efectes topogràfics de les imatges de satèl·lit, però el mètode de correcció C dona millors resultats que altres correccions topogràfiques. Aquest mètode es basa en el valor suavitzat del model d'il·luminacions, per tant, produeix una sobrecorrecció en aquelles cel·les on el model presenta valors baixos (Riaño *et al.*, 2003; Zhu i Liu, 2014).

⁹ UTC (Temps Universal Coordinat): és el sistema horari de referència de 24 h a 0º de longitud (Greenwich, Anglaterra). En l'àmbit de teledetecció s'utilitza UTC o l'hora solar per expressar la data de la presa de la imatge (Pons i Arcalís, 2012).

d) Validació de la correcció topogràfica

Riaño *et al.* (2003) proposa diversos mètodes per avaluar la correcció topogràfica. El primer és calcular les diferències de les característiques espectrals entre les dades de les correccions atmosfèriques i les topogràfiques. La correcció és acceptada si els canvis són baixos, en cas contrari, implicaria una sobrecorrecció o infracorrecció. El segon és analitzar gràficament els valors de reflectàncies atmosfèriques i topogràfiques. Teòricament, les reflectàncies de superfície no tenen correlació amb el model d'il·luminacions. El tercer és calcular la diferència de la mitjana i la desviació estàndard (SD) entre els valors de la correcció atmosfèrica i la topogràfica. Per últim, el quart és realitzar una classificació no supervisada pot indicar si s'han produït les millores en la discriminació d'una classe (Hantson i Chuvieco, 2011; Kobayashi i Sanga-Ngoie, 2009; Riaño *et al.*, 2003).

5.2. Classificació

Aquest segon bloc presenta les tècniques utilitzades per elaborar la cartografia de la vegetació. Les imatges dels sensors passius de l'SPOT-5, S-2 i GE-1 han estat sotmeses a la classificació no paramètrica kNN pel nombre de veïns, als filtres de millora (*sharpen* i *majority*) i a l'avaluació d'exactitud.

5.2.1. Les àrees d'entrenament i de test

La informació de referència per elaborar les àrees d'entrenament i de test és el mapa de coberta (Del Arco *et al.*, 2006), l'índex de vegetació de diferència normalitzada (NDVI) i de l'ortofotografia del *Plan Nacional de Ortofotografía Aérea* (PNOA) de l'any 2005, per a les bandes de l'SPOT-5, de l'any 2012, per a les bandes del S-2 i de l'any 2015, per a les bandes del GE-1. Les àrees de les tretze classes (taula 8) s'han designat a través de la digitalització amb l'ArcMap (Esri ©).

Taula 8. Classes de vegetació a les àrees d'entrenament i test.

1. <i>Fayal-brezal</i>	8. <i>Jaral</i>
2. Savinar humit (<i>Rubio fruticosae- Juniperetum canariensis ericetosum arboreae</i>)	9. Matollar de brezo i tomillar
3. Savinar sec (<i>Juniperus turbinata</i> subsp. <i>canariensis</i>)	10. Pastures
4. Pi insigne (<i>Pinus radiata</i>)	11. Conreus de secà
5. Pi canari (<i>Pinus canariensis</i>)	12. Conreus de regadiu
6. <i>Tabaibal amargo</i>	13. Urbà
7. Matollar sobre colada recent	

La fotointerpretació de la imatge PNOA, la delimitació dels polígons del mapa de coberta del Del Arco *et al.* (2006) i l'índex NDVI dona com a resultat una capa de polígons digitalitzats per l'usuari amb les àrees associades a un dels tretze tipus definits a la taula 8. La resolució espectral i espacial juguen un paper fonamental a l'hora de delimitar les classes. Si l'objecte es representa en diverses cel·les però el rang espectral és limitat, la similitud entre classes pot augmentar. El cas del pi insigne i del savinar (figura 32) n'és un exemple: el centre de les copes d'ambdues classes són valors diferents però les vores són similars i produeixen una confusió a l'hora de classificar-les. L'objectiu de combinar aquestes tres capes és generar la màxima distinció possible entre les classes per tal de minimitzar la confusió dels objectes.

Finalitzat el procés d'elaboració de les àrees, en aquest estudi es va agrupar a l'atzar, el 70% dels polígons, com àrees d'entrenament i el 30%, com àrees de test.

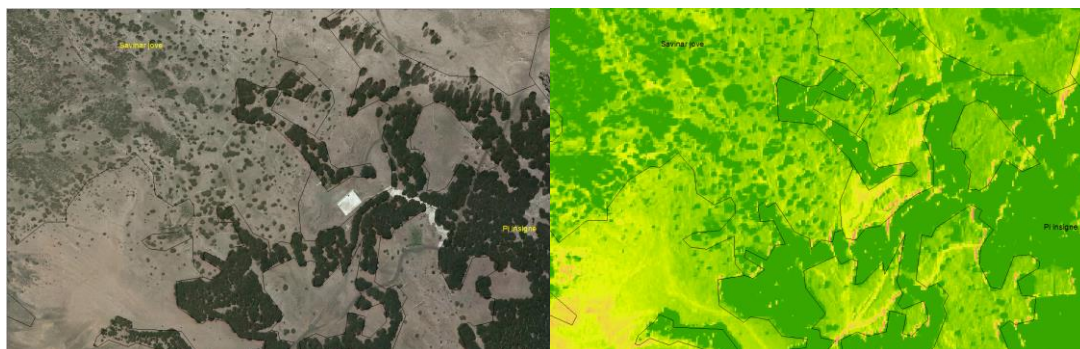


Figura 32. Savinar sec de *Juniperus turbinata* i plantació de pi insigne a La Dehesa. A l'esquerra la imatge PNOA i a la dreta la imatge NDVI. Les vores de les plantacions de pi insigne, el classificador el confon amb les vores de les savines.

A continuació, es presenta una breu descripció de les classes enumerades a la taula 7:

1. *Fayal-brezal (Myrica fayae – Ericetum arboreae):*

És una associació arbustiva originada fonamentalment per la destrucció antròpica dels boscos del *monteverde*. La seva fisiognomia és de *brezal* o *fayal-brezal*, de coberta variable segons el grau d'antropització, que constitueix un conjunt entre fayal d'altitud (*Pericallido-Myricetum fayae*), del *monteverde* humit (*Lauro-Perseetum indicae*) i de les cotes superiors del *monteverde seco* (*Visneo-Arbutetum canariensis*). Aquesta formació vegetal inclou també tota la laurisilva donat que és molt difícil que els classificadors ho separin.

2. Savinar humit (*Rubia fruticosae - Juniperetum canariensis ericetosum arboreae*)

A la vessant nord de l'illa hi ha la població del savinar humit. Aquest es beneficia de la humitat dels vents alisis NE, limitat a la part superior pel Montverde.

Les espècies més característiques són: la savina (*Juniperus turbinata* subsp. *canariensis*), esparreguera (*Asparagus umbellatus*), *Tabaiba amarga* (*Euphorbia lamarckii*). El *Juniperus turbinata* subsp. *canariensis* és un endemisme mediterrani-macaronèsic que es troba de forma discontinua en zones litorals del mediterrani occidental. A les illes Canàries es troba en Tenerife, Gran Canaria, La Palma i El Hierro (Adams *et al.*, 2014; Fernández-Palacios *et al.*, 2008; Mazur *et al.*, 2018; Otto *et al.*, 2012; Montserrat Salvà-Catarineu *et al.*, 2012). En concret, les formacions d'aquesta savina cobreixen a l'actualitat àrees importants a les illes de La Gomera i El Hierro (Salvà-Catarineu *et al.*, 2014.). El savinar cobreix la menys de la desena part de la vegetació natural de l'illa, encara que sigui qualificat com un bosc pobre en espècies, en ell es troba la cinquena part del total de la flora vascular d'aquesta illa (Stierstorfer i Gaisberg, 2006, Romo i Salvà-Catarineu 2011, Salvà-Catarineu, *et al.* 2012)

3. Savinar sec

A la Dehesa i a El Julan són els punts claus on es localitza els savinars més vells. A la part meridional té contacte amb el pi, correspon al pis infra-termomediterrani. Ocupada per *tabaiba amarga* (*Euphorbia lamarckii*), cornical (*Periploca laevigata*) i matollar de tasaigo (*Rubia fruticosa*).

4. Pi insigne

La pineda de *Pinus radiata* és una de les plantacions que es troba en diferents densitats, i en altes altituds conviu amb el *Pinus canariensis*.

5. Pineda de *Pinus canariensis*

Aquesta comunitat (figura 33) es localitza al vessant sud en zones on no bufen els vents alisis, on queda limitada a la part inferior pel savinar i a la part superior pel monteverde. L'espècie predominant és el pi canari i no s'ha detectat el *Cistus symphytifolius* (*jara*) ni el *Chamaecytisus proliferus*, com a les altres illes.

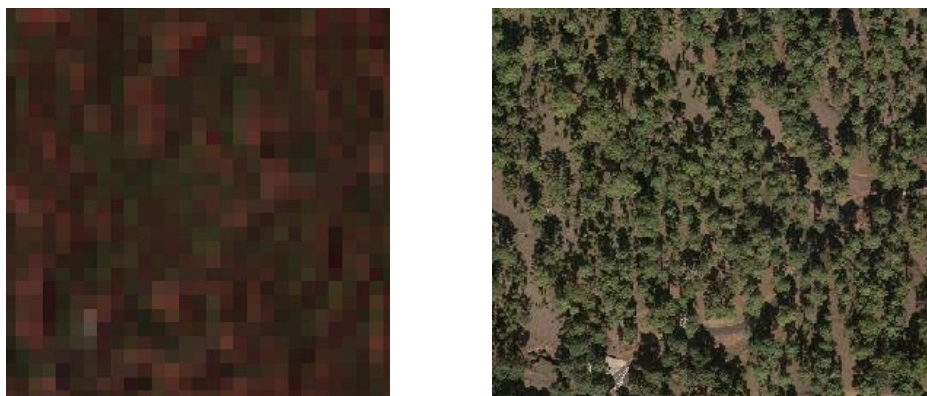


Figura 33. Pineda de *Pinus canariensis*, a l'esquerra Sentinel-2 (10 m) i a la dreta PNOA (0,25 m).

6. *Tabaibal amargo*

El *Tabaibal amargo* és una comunitat arbustiva típica de les parts baixes de l'illa. De manera general, es troba en sòls rocosos, poc desenvolupats, que suporten un clima àrid, de pluges minses (50 – 300 mm), temperatures elevades (mitjana anual > 19 °C) i una insolació alta (Del Arco *et al.*, 2006).

7. Matollar sobre colada recent (*Echio aculeati-Micromerietum hyssopifoliae*)

En aquestes terres de lapil·li inframediterranis, el matollar sobre colada recent va colonitzar la comunitat de *Rumex lunaria*.

8. *Jaral* (*Micromerio hyssipifoliae-Cistetum monspeliensis*)

Matollar endèmic d'El Hierro, no nitròfil, o de baixa nitròfila, que es troba a sòls pedregosos i decapitats. És ric en camèfits i nanofenòfits, distribuïnt-se en els pisos infratermomediterrani semiàrid superior i termomediterani sec, en els dominis potencials de savinar i monteverde sec.

Caracteritzada per: estepa negra (*Cistus monspeliensis*), tajinaste (*Echium hierrense*), *tabaiba amarga* (*Euphorbia lamarckii*) i farigola (*Micromeria hyssopifolia*).

9. Matollar de *brezo* i *tomillar* (*Echio aculeati-Micromerietum hyssopifoliae*)

Matollar esclarissat (*rало*, en castellà) de nanofaneròfits i camèfits, el *brezo* (*Echium aculeatum*) i el *tomillar* (*Micromeria hyssopifolia*) són les espècies dominants. Es localitzen en els pisos termo i mesomediterrani de l'illa.

10. Pastures amb conreus

Són zones humides destacades pels tagasastes (*Chamaecyphus proliferus*). En aquesta classe s'agrupen diverses associacions subnitrofiles (plantes que necessiten de sòls nitrogenats) de pastures terofítiques (planta que només viu un any) de gran biomassa, propis de camps sense conrear (*erial*) i camps de conreu abandonats.

11. Conreus de secà

12. Conreus de regadiu

Els principals conreus de l'illa són de patates, vinyes, hortalisses i mill entre d'altres. Els conreus de secà presenten tons més foscos que els de regadiu, i aquests es localitzen en un extrem d'El Golfo, mentre que els conreus de secà s'ubiquen, en la seva majoria, a la part E i SE.

13. Urbà

En aquesta classe s'han agrupat els nuclis de població del medi rural i urbà, polígons industrials i serveis. La capital de l'illa és Valverde, municipi situat a l'interior, a 550 m d'altitud. L'estil del municipi està influenciat fortament pel medi rural.

5.2.2. Filtre de convolució Sharpen a les bandes abans de classificar

Per reduir la variabilitat associada a cada classe, s'han aplicat filtres de convolució. El filtre de convolució *Sharpen* es recomana per a la vegetació i es calcula amb el mòdul *image analysis* de l'ArcMap per classificar les bandes Sentinel-2 millorant els resultats, tal com afirma el Petersen i Stringham, (2008).

A les bandes espectral S-2 s'ha aplicat el filtre *Sharpen* que homogeneïtza les textures de cada objecte, facilitant la delimitació entre les classes (figura 34).

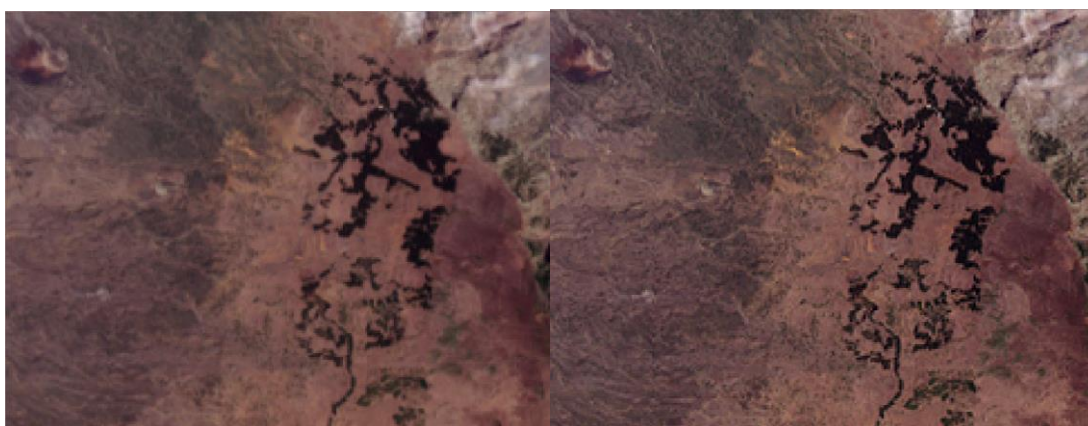


Figura 34. Composició de bandes sense el filtre *Sharpen* (esquerra). Composició de bandes amb el filtre *Sharpen* (dreta).

5.2.3. La classificació de les imatges de l'SPOT-5, S-2 i GE-1 de l'illa d'El Hierro

El classificador per nombre de veïns més propers implementat en el programari del MiraMon (© Xavier Pons, 1994 - 2017) és l'algoritme seleccionat per aconseguir la cartografia de vegetació. L'objectiu és classificar les imatges dels diferents satèl·lits no en base a un criteri estadístic, com ara, la mitjana. Per conèixer més el funcionament d'aquest classificador s'han realitzat diverses proves variant el nombre de veïns o tenint en compte variables complementàries com: l'NDVI i el MDACV.

Les classificacions s'han calculat amb el mòdul *ClaskNN: Classificació per nombre de veïns més propers* del MiraMon. El càlcul de la classe predominant s'ha realitzat mitjançant la moda - aquella classe que més es repeteix en una població-. No s'ha calculat aplicant el *pes en funció de l'invers a la distància* perquè s'obtenen resultats amb diferències poc apreciables (Vidal-Macua, 2017).

El temps de processament pot variar en funció de les variables d'entrada i de les cel·les de cada imatge. Les classificacions del GE-1 es processen entre cinc i sis hores mentre que les de l'SPOT-5 i el S-2 són dues hores aproximadament.

Les variables complementàries a les bandes espectrals utilitzades a les classificacions són: l'*Índex de Vegetació de Diferència Normalitzada* (NDVI) i el *Model Digital d'Altures de la Cobertura Vegetal* (MDACV).

5.2.3.1. Índex de Vegetació de Diferència Normalitzada (NDVI)

Aquest índex mesura el vigor de la vegetació, que presenta una alta correlació amb la seva l'activitat fotosintètica (Jones i Vaughan, 2010; Pérez *et al.*, 2006). La fórmula és la següent (Rouse *et al.*, 1973):

$$\text{NDVI} = \frac{\text{Banda infrarroig} - \text{Banda vermell}}{\text{Banda infrarroig} + \text{Banda vermell}}$$

5.2.3.2. Model Digital D'altura de la Cobertura Vegetal (MDACV)

El model digital de la vegetació (MDACV) es calcula a partir del núvol de punts de les dades Lidar (cedit per l'*Instituto Geográfico Nacional*) filtrat per l'altura de la vegetació (MDS) i pel sòl (MDT). El MDACV té una resolució de 2 m perquè els punts registrats són superiors a 0,5 per m². D'aquestes dades també se'n deriva el mapa d'intensitats i de densitats.

El conjunt de les classificacions de les diferents imatges es presenten a continuació (taula 9):

Taula 9. Resum de les diferents classificacions.

Classificació	Bandes	N Veïns	SPOT-5	S-2	GE-1
1	Bandes espectrals	8	■		
2	Bandes espectrals	8		■	
3	Bandes espectrals + NDVI	2		■	
4	Bandes espectrals + NDVI + filtre <i>majority</i>	2		■	
5	Bandes espectrals + NDVI	4		■	
6	Bandes espectrals + NDVI	8		■	
7	BE (filtre <i>sharpen</i>) + NDVI	8		■	
8	Bandes espectrals (filtre <i>sharpen</i>) + NDVI + filtre <i>majority</i>	8		■	
9	Bandes espectrals + NDVI +MDACV	8			■
10	Bandes espectrals + NDVI	8			■
11	Bandes espectrals + NDVI +MDACV	8			■
12	Bandes espectrals + NDVI	8			■
13	Bandes espectrals +MDACV	8			■
14	Bandes espectrals + NDVI +MDACV + <i>majority</i>	8			■
15	Bandes espectrals +MDACV + <i>majority</i>	8			■
16	Bandes espectrals + NDVI +MDACV	8			■
17	Bandes espectrals + NDVI	8			■
18	Bandes espectrals + NDVI +MDACV	8			■
19	Bandes espectrals + NDVI	8			■

MDACV = Model Digital d'Altures de la Cobertura Vegetal; NDVI = Índex de Vegetació Diferència Normalitzada

La imatge de l'SPOT-5 es va calcular per k = 8 veïns de les bandes espectrals. El conjunt del S-2 s'ha calculat per diferent nombre de veïns de les bandes espectrals, l'NDVI, i dos tipus de filtres de millora: *sharpen* i *majority*. Per últim, s'han seleccionat les extensions del territori que presenten més confusió a les classificacions del S-2 i s'ha incorporat el Model Digital de la Cobertura Vegetal (MDACV) per observar la seva influència en els resultats.

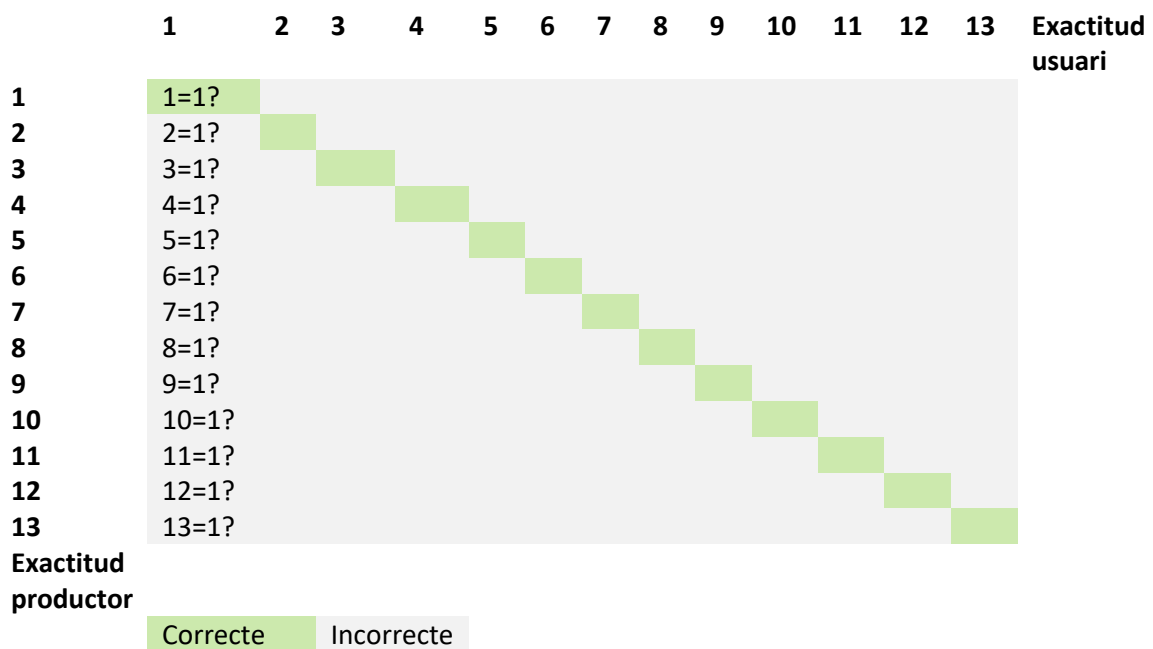
5.2.4. Filtres postclassificació

L'ArcMap ofereix la possibilitat d'aplicar eines de generalització pel procés postclassificació. En aquest estudi s'ha aplicat el filtre *majority*, el qual elimina les cel·les aïllades. S'ha de vigilar amb les classes d'extensió reduïda, que no quedin afectades per aquest procés de generalització.

5.2.5. Validació d'exactitud (*accuracy assessment*)

La validació dels mapes de vegetació es duen a terme a través de la matriu de confusions i de l'índex de Kappa.

La matriu de confusions consisteix en l'encreuament del mapa categòric sense avaluar i un mapa amb informació del terreny verificat -mapa veritat-terreny-. Les àrees de test o mapa veritat-terreny corresponen a les columnes de la taula i la classificació sense avaluar a les files.



Aquesta matriu mostra l'exactitud global (*overall accuracy*), és a dir, la relació entre el nombre de punts correctament assignats (sumatori de les cel·les de la diagonal) i el total de la matriu expressat en percentatge.

L'exactitud d'usuari és la relació entre el nombre de píxels classificats correctament a cada classe i el nombre total de píxels classificat d'aquella classe (total de fila). L'exactitud d'usuari té en compte totes aquelles cel·les assignades a una determinada categoria i que realment no li correspon, és a dir, s'han categoritzat un nombre de cel·les superiors a les reals.

$$\text{Exactitud d'usuari} = \frac{n \text{ cel·les correctament classificades}}{n \text{ total de cel·les classificades de la classe}}$$

L'exactitud de productor és la relació entre el nombre de píxels classificats correctament a cada classe i el nombre de píxels de referència utilitzats (total de columna). L'exactitud del productor respon a la pregunta: totes les àrees de test identificades al territori són a la classificació?

$$\text{Exactitud de productor} = \frac{n^{\circ} \text{ de cel·les correctament classificades per classe}}{n^{\circ} \text{ de cel·les de referència per classe}}$$

Els errors de comissió fan referència a aquelles cel·les d'assignació incorrecta en el mapa classificat, a partir del nombre de mostres del mapa veritat-terreny. Aquest error indica el nombre de cel·les assignades a una categoria que no li correspon, representant-la amb una àrea superior a la real.

Els errors d'omissió indiquen el nombre de cel·les que haurien de ser d'una determinada categoria però que s'han assignat a altres categories. Les classes amb un error d'omissió són representades per una extensió del territori menor a la real.

La fórmula de l'índex de Kappa és la següent (Escobar-Perez i Cuervo-Martínez, 2008; Landis i Koch, 1977):

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}$$

r = és el nombre de files a la matriu d'error; x_{ii} = és el nombre d'observacions en files i columnes i (a la diagonal transversal); x_i = és el total de les observacions a la files (mostrant el total marginal a la dreta de la matriu); x_{+i} = és el total de les observacions a les columnes (situat a la part inferior de la matriu) i la N = és el nombre total de les observacions incloses a la matriu.

$$\frac{(Total \cdot Suma \ de \ cel \cdot \ les \ correctes) - Suma \ de \ tot \ (columnes \cdot \ files)}{Total \ de \ cel \cdot \ les \ al \ quadrat - Suma \ de \ tots \ (fila \cdot \ columes)}$$

5.3. Les mètriques de paisatge

Un cop comprovada l'exactitud de la classificació es realitza el càlcul dels índexs que quantifiquen l'estructura del paisatge. Aquests índexs indiquen l'estat de la fragmentació del paisatge (McGarigal, 2014). Per a obtenir l'estadística descriptiva a nivell de fragment, de classe i de paisatge s'han calculat:

Taula 10. Descripció de les mètriques del paisatge per quantificar les classificacions de la vegetació.

	Nom índex	Acrònim	Descripció	Unitat
Àrea	Àrea total	CA/TA	Quantifica l'espai de la superfície total del paisatge, dividit per 10.000 per convertir a hectàrees. TA >0, sense límits. CA	Ha
	Índex del fragment més gran	LPI	És una mesura senzilla de la dominància del fragment més gran del paisatge. $0 < LPI \leq 100\%$.	%
Marge	Densitat de marge	ED	Quantifica els marges d'una classe en relació al conjunt del paisatge. Aquesta mesura és sensible a la resolució espacial del mapa. Per tant, aquesta mesura serà útil quan es compari els mapes del S-2 i l'SPOT-5. $ED = \frac{\sum_{k=1}^{m'} e_{ik}}{A} (10.000)$ ED = 0, quan no s'identifiquen marges en cap classe. ED > 0, fins al màxim de superfície del paisatge.	m/ha

Àrea interior (core area)	Àrea interior total	TCA	És la suma de les àrees interiors dels fragments d'una classe dividit per 10.000.	ha
Diversitat	Nombre de fragments	NP	El sumatori de fragments d'una classe.	Sense
	Diversitat de Shannon	SHDI	És l'abundància proporcional de cada tipus de classe basat en l'àrea total de paisatge.	Sense
	Densitat de riquesa del fragment	PRD	La densitat ocupada per un nombre de fragments per cada 100 ha i NP. PRD \geq 0, sense límits	Nombre / 100 ha
Proximitat	Índex de proximitat	PROX	Mesura l'aïllament d'un fragment dins d'un conjunt de fragments, en un radi designat per l'usuari. Quan es comparen diversos mapes, el rati sempre ha de ser el mateix. PROX = 0, quan el fragment no té veïns de la mateixa classe.	Sense
Forma	Dimensió fractal perímetre-àrea	PAFRAC	Quantifica la irregularitat del perímetre del fragment. PAFRAC = 1 s'associa a formes senzilles, per exemple: un quadrat. PAFRAC = 2 té un major grau de complexitat.	Sense

Els càlculs de les mètriques de paisatge s'han realitzat amb el programa de *Fragstats v. 4.2.603* (McGarigal i Marks, 1994).

5.4. Dades Lidar

Les dades LIDAR utilitzades en aquest estudi provenen del *Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica de l'Instituto Geográfico Nacional*. Els núvols de punts s'han captat des d'un sensor Lidar, i un cop validats amb el control de qualitat, es classifiquen de manera automàtica amb els valors d'infraroig i afegint els colors RGB a partir de les ortofotografies del *Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA)*, amb una mida de cel·la d'entre 25 i 50 cm, o a partir de ortofotografies simultànies del propi vol Lidar (IGN, 2018). L'avantatge dels valors d'infraroig és la detecció de la vegetació donat que les intensitats corresponents són més altes en aquesta part de l'espectre electromagnètic (Antonarakis *et al.*, 2008; Chuvieco, 2010; Jones i Vaughan, 2010).

Les dades de l'any 2015 es van prendre amb el sensor SNG6136 i l'avió EC-IHY. Les característiques amb què s'han pres les dades han estat: angle del FOV entre 17° i 40°, velocitat del vol de 140km/hora i altura del vol determinada per la velocitat. Aquestes característiques definiran el nombre total de punts i la seva densitat final. La velocitat del vol ha de garantir la distància mínima entre les línies d'escombratge -amplitud d'escombratge- (figura 35), que permet obtenir de manera homogènia una densitat mitjana d'un punt del primer retorn per m², tret de l'aigua o altres masses terrestres de baixa reflexió.

Per un altra banda, el sistema geodèsic de referència és el REGCAN 95, compatible amb WGS 84 i la projecció UTM en el fus corresponent a cada arxiu. Les coordenades Z són altituds ortomètriques (altitud sobre el nivell del mar) i cada punt es registra amb les coordenades del GPS i el sistema inercial IMU/INS en el vol, per processar el trajecte de l'avió. En un vol es registren fins a 4 retorns, el primer amb una densitat de 0,5 p/m² i el segon d'1 p/m². La precisió general altimètrica té un error quadràtic (RMSEZ) de 0,20 m o inferior. Les metadades compleixen la norma internacional ISO 19115; assegurant la interoperabilitat de les dades generades.

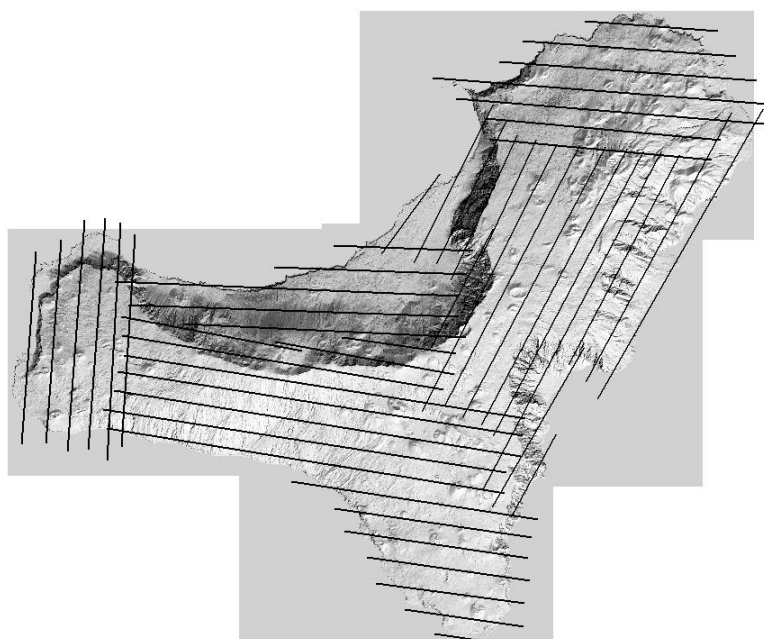


Figura 35. Itineraris del vol Lidar.

Taula 11. Distribució de la superfície (%) segons densitat de punts.

2009	
Densitat de punts	Superfície (%)
> 6 p	1,14
2 - 6	15,16
< 2	83,70
2015	
Densitat de punts	Superfície (%)
> 6 p	8,24
2 - 6	31,09
< 2	60,67

Els punts de l'any 2009 (taula 11) suposen el 43,89% de superfície en tota l'illa i el 56,11% restant són zones que no ha retornat cap punt. L'any 2015 recull un total de 38,04% de superfície a l'illa, mentre que la resta de l'illa es queda sense registrar. Cal especificar, però que les estadístiques es calculen en base a un quadrat que inclou tant l'illa com part de l'oceà.

El total de retorns de l'any 2009 són 350.217.325. El 37,99% d'aquests retorns corresponen a sòl, el 25,55% a baixa vegetació, 19,74% a vegetació mitjana i el 16,05% a alta vegetació.

El total de retorns de l'any 2015 són 664.969.107. El 29 % es classificat com a sòl, 12,24 com a baixa vegetació, 5,82% com a alta vegetació i 3,39% com a aigua. El 46,58% corresponent a punts de superposició.

L'eina *LASDataset* d'*ArcMap* disposa de diverses funcions per treballar amb les dades Lidar. HI ha la possibilitat de veure el núvol de punts segons les classes, les elevacions o la intensitat dels polsos. També es visualitza el perfil, en aquest cas, de coberta. Inclús, amb el tram seleccionat es pot generar un model 3D.

CAPÍTOL 6

Resultats i discussió

6. RESULTATS I DISCUSSIÓ

6.1. Correccions

Les correccions fetes són de dos tipus: les geomètriques aplicades al GE-1 (l'SPOT-5 i S-2 ja venen fetes) i les radiomètriques calculades per a les imatges de l'SPOT-5, del S-2 i del GE-1.

6.1.1. Correccions geomètriques

Les correccions geomètriques aplicades a les imatges del GE-1 s'han fet a través de polinomis de segon i tercer grau. S'han establert un nombre suficient de punts de control o *Ground Control Point* (GCP) per a les dues subescenes del GE-1 que garanteix un ajust estadístic no esbiaixat (taula 12). Els valors *Root Mean Squared error* (RMS) són inferiors al costat de la cel·la (2m).

Taula 12. Nombre de GCP segons cada zona i l'error RMS corresponent de la correcció geomètrica.

Nom de la imatge	Nombre de GCP	RMS	Nombre de GCP	RMS
	subescenes N		subescenes S	
R1C1	-	-	119	1,75
R1C2	20	0,82	64	1,72
R1C3	33	1,91	26	1,81
R1C4	152	1,88	-	-
R2C1	48	1,74	-	-
R2C2	84	1,96	57	1,52
R2C3	40	1,87	11	0,56
R2C4	4	0,66		

La taula 12 està dividida per les imatges de la subescena nord i les imatges de la subescena sud, mostra a la primera columna el nombre de GCP localitzats i a la segona l'error d'RMS obtingut de les transformacions dels polinomis de segon i tercer grau. Segons el relleu topogràfic a cada subdivisió de la imatge es defineix un nombre de GCP que es necessiten per rectificar. La zona de l'aeroport (R1C4N), la zona d'El Golfo més propera al penya-segat (R2C2N) i la part d'El Julian (R1C1S) són les zones més complexes per rectificar, per tant, s'han necessitat un nombre més elevat de GCP.

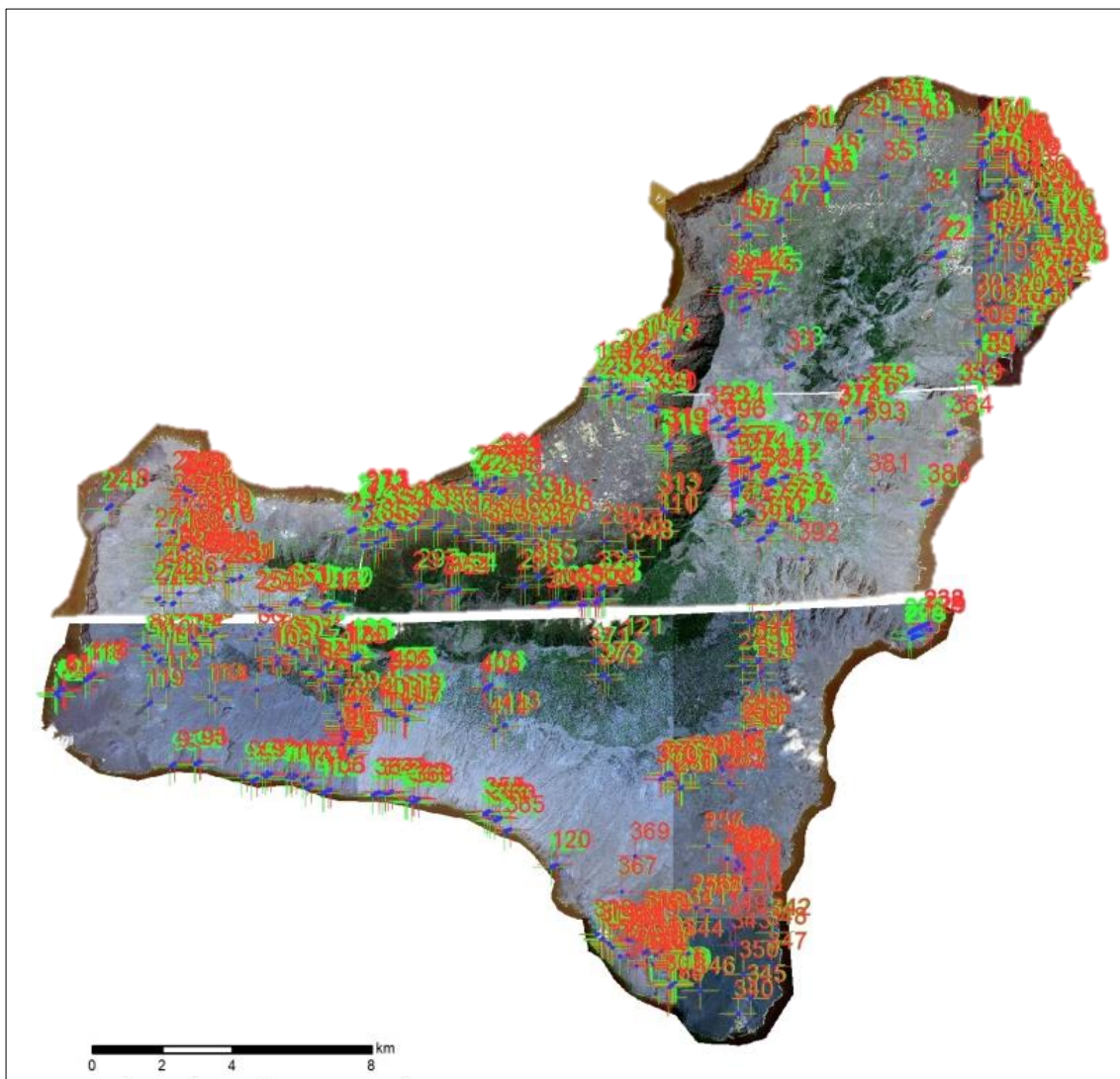


Figura 36. La distribució dels GCP sobre l'illa d'El Hierro. Les subescenes del nord amb 381 punts i les subescenes del sud amb 236 punts.

El relleu de l'illa ha dificultat molt la correcció geomètrica del GE-1, però calia fer-ho per obtenir uns resultats fiables. La distribució dels punts ha estat la més repartida possible al llarg de tota la imatge i en àmbits altimètrics diversos (figura 36).

Aguilar (2012) va utilitzar per a la correcció geomètrica la banda del pancromàtic del GE-1 i 75 punts de test independents¹⁰ (ICP *independent checkpoints*) per a la validació d'exactitud (*accuracy assessment*) i 40 punts de control per aplicar els models empírics computacionals.

¹⁰ *Independent checkpoints* (ICP): Punt de control amb posició coneguda sobre el terreny emprat en la quantificació de l'error d'un procés de georeferenciació. A fi de mantenir la seva independència estadística en aquesta quantificació de l'error, els punts de test no són emprats en el procés de georeferenciació.

Aguilar (2012) va obtenir una exactitud per sota d'un metre de cel·la amb el model digital d'elevacions (MDE) de les dades Lidar, el qual van obtenir de l'escàner làser aerotransportat Leica ALS60 amb 35° de FOV. L'estudi d'en Fraser *et al.*, (2009) va utilitzar 55 GCP dels quals obté un RMS de 0,10 m per a una superfície de 15,8 km de nord a sud i de 13,5 km d'est a oest. Meguro i Fraser (2010) en una superfície de 260 km² al sud-oest del mont Tsukuba (Japó) amb 115 punts de control va obtenir entre 0,48 m i 0,81 m d'RMS. Una imatge centrada a Hobart (Austràlia) amb una superfície d'uns 14 km, el RMSE que es va obtenir va ser d'entre 0,2 i 0,4 m amb 94 GCP en total (Wang i Zhao, 2011). L'estudi de Gómez-Candón *et al.* (2012) va assolir un RMSE d'entre 1,3 m i 2,7 m de les bandes multispectrals de GE-1. En aquesta recerca en El Hierro, per a una superfície d'uns 268 km² s'ha establert 381 GCP a l'escena N i 231 GCP a l'escena S per tal d'obtenir un RMS per sota del costat de cel·la.

6.1.2. Correcció radiomètrica

Les correccions radiomètriques comprenen les correccions atmosfèriques i les topogràfiques. A les primeres es presenten els objectes foscos utilitzats al mètode de Chavez (1996). Les segones s'analitzen a nivell visual i estadístic.

6.1.2.1. Correcció atmosfèrica

a) SPOT-5

La correcció atmosfèrica de les quatre bandes de 10 m de la imatge s'han fet amb el mòdul CORRAD del MiraMon on s'han introduït les constants de calibratge del sensor, els paràmetres estàndard de radiació solar exoatmosfèrics, els valors estàndard de densitat opticoatmosfèrica, la data i l'hora de la captació de les imatges, la posició solar, els valors constants de l'objecte fosc (taula 13) i el model digital d'elevacions. El resultat d'aquesta correcció atmosfèrica s'ha utilitzat per a classificar la coberta del sòl.

Taula 13. Els valors seleccionats dels objectes foscos del SPOT-5

	B1	B2	B3	B4
K	82	68	60	65

b) Sentinel-2

La taula 14 mostra els valors dels objectes foscos escollits per la correcció atmosfèrica de les imatges del S-2. Les bandes 5, 6 i 7 són les específiques del vermell, els valors són similars.

Taula 14. Els valors seleccionats dels objectes foscos del S-2

	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8a
K	157	121	65	63	68	69	67	68

c) *GeoEye-1*

Els valors dels objectes foscos que s'ha utilitzat a la correcció atmosfèrica i que es mostren a la taula 15, corresponen a les zones del penya-segat d'El Golfo (N) i de Las Playas (SE) (figura 37). Els valors dels objectes foscos obtinguts no varien gaire entre les imatges del nord i les del sud, tot i que les dates són diferents, l'angle solar és similar a les dues imatges.

Taula 15. Els valors seleccionats dels objectes foscos del GE-1

	B1	B2	B3	B4
N	41	24	12	9
S	40	21	9	5



Figura 37. Les zones d'ombra de l'illa. A l'esquerra és El Golfo (N) i a la dreta és Las Playas (SE).

6.1.2.2. *Correcció topogràfica*

Per mostrar els valors obtinguts de les correccions topogràfiques, s'ha dividit aquest apartat en tres subapartats: el primer és una comparativa visual, el segon és la comprovació estadística dels canvis després de l'aplicació de la correcció i el tercer la comparativa dels resultats dels tres satèl·lits.

a) *Comparativa visual de la correcció topogràfica*

a1) *SPOT-5*

La correcció topogràfica de la imatge també s'ha fet amb el mòdul CORRAD del MiraMon on s'han introduït els mateixos paràmetres que per la correcció atmosfèrica. No s'inclouen els resultats donat que la correcció topogràfica es fa juntament amb l'atmosfèrica.

a2) *Sentinel-2*

La figura 38 mostra tres imatges del sector de las Playas: en RGB. A la primera imatge s'ha aplicat la correcció atmosfèrica de Chavez (1988) (A), a la segona s'ha aplicat l'empíricoestadística suggerida per Teillet (1982) (B) i a la tercera s'ha fet la correcció C de Teillet (1982) (C). A nivell visual, les zones d'ombres es suavitzen més amb la correcció empíricoestadística (B) que no pas amb la correcció A i C (figura 38).

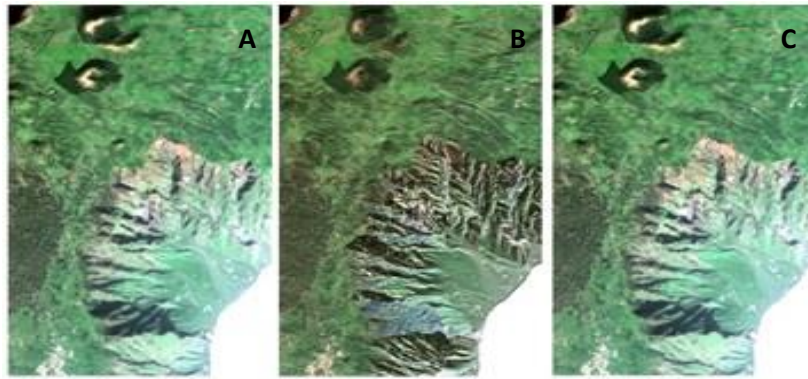


Figura 38. Ampliació de Las Playas amb les reflectàncies atmosfèriques (A), la correcció empíricoestadística (B) i la correcció C (C).

a3) GeoEye-1

La figura 39 mostra tres imatges de La Dehesa en RGB. La imatge de l'esquerra (A) correspon a la correcció atmosfèrica amb el mètode de Chavez (1988), la imatge del mig (B) és la correcció empíricoestadística de Teillet (1982) i la imatge de la dreta és la correcció C de Teillet (1982). Les correccions han marcat diferències visuals a la B i la C, sobretot a la B, amb el mètode empíricoestadístic. Els xaragalls són de color blanc mentre que a la A i la C gairebé no s'aprecien. El color del savinar és verd més fosc a la imatge B, a diferència de la resta d'imatges A i C, que es representa més clar. Per tant, a la figura 39 succeeix el mateix que a la figura 38 del S-2, la correcció empíricoestadística mostra les zones d'ombra més fosques que la correcció atmosfèrica i la correcció C.

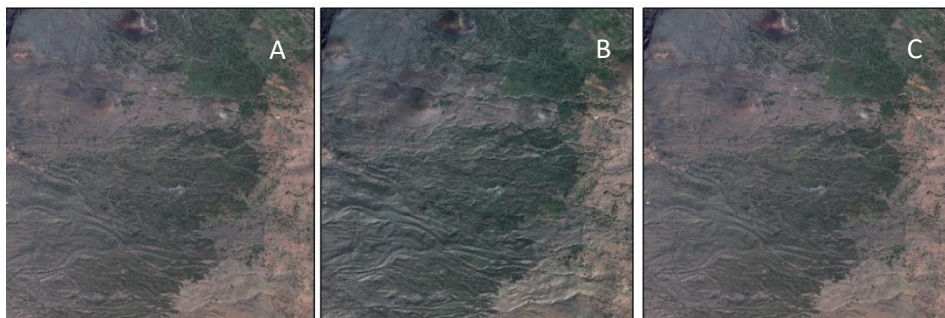


Figura 39. Ampliació de La Dehesa amb les reflectàncies atmosfèriques (A), la correcció empíricoestadística (B) i la correcció C (C).

b) Comprovació de la correcció topogràfica

No s'han tingut en compte les signatures espectrals perquè aquestes imatges estan destinades com a font primària d'una classificació. L'algorisme que s'ha utilitzat és no paramètric, és a dir, assumeix que és acceptable que les cel·les properes entre elles en l'espai estadístic pertanyin a la mateixa classe. En aquest cas, l'avantatge és que no parametriza cap classe, sinó que es compara la cel·la a classificar amb les àrees d'entrenament.

b1) SPOT-5

S'ha fet amb el CORRAD explicat a l'apartat anterior.

b2) Sentinel-2

Riaño *et al.* (2003) calcula la reducció de la desviació estàndard de les correccions de les imatges com a mètode de validació. Per assegurar-se que la correcció de les zones d'ombra s'ha realitzat correctament, la reducció de la desviació estàndard ha de ser d'un terç del total. Per tant, el resultat final ha d'homogeneïtzar els valors de les reflectàncies. Si la desviació estàndard és baixa, vol dir que la mostra és força similar, per això cal que la reducció sigui com a mínim d'un terç.

Taula 16. La reducció de la SD en percentatge (%) de les imatges Sentinel-2.

Bandes espectrals	Empiricoestadístic	Correcció C
B2	0,0	0,33
B3	0,0	0,00
B4	0,0	0,00
B5	0,0	0,00
B6	0,0	0,14
B7	0,0	0,14
B8	0,0	0,10
B8a	-0,06	0,06

La taula 16 mostra els canvis aconseguits amb la correcció C i el mètode empiricoestadístic per a les imatges S-2 a les diferents bandes i dates seleccionades. Les reduccions són positives a la correcció C mentre que el empiricoestadístic són valors al voltant de 0 o negatius. Els valors negatius representen l'augment dels valors de les reflectàncies després de les correccions topogràfiques. En canvi, el mètode empiricoestadístic mostra millores a l'anàlisi visual però és inapreciable a nivell estadístic.

La taula 17 s'enumeren les classes principals de l'illa d'El Hierro utilitzades per validar les correccions topogràfiques. Les reduccions de les reflectàncies després d'aplicar la correcció topogràfica, indiquen una homogeneïtzació.

Taula 17. Descripció de les classes estudiades a la correcció topogràfica.

1. <i>Fayal-breza</i>	8. <i>Jaral</i>
2. Savinar humit (<i>Rubio fruticosae- Juniperetum canariensis ericetosum arboreae</i>)	9. Matollar de brezo i tomillar
3. Savinar sec (<i>Juniperus turbinata</i> subsp. <i>canariensis</i>)	10. Pastures
4. Pi insigne (<i>Pinus radiata</i>)	11. Conreus de secà
5. Pi canari (<i>Pinus canariensis</i>)	12. Conreus de regadiu
6. <i>Tabaibal amargo</i>	13. Urbà
7. Matollar sobre colada recent	

La taula 18 mostra la reducció de les desviacions estàndard per a cada classe després de la correcció topogràfica. Tots els valors són positius, és a dir, les SD de les diferents classes (referides a la 17) han disminuït les reflectàncies de superfície. Segons els paràmetres de Riaño *et al.* (2003) la correcció topogràfica de les imatges S-2 seria correcte.

Taula 18. Les reduccions de les desviacions estàndard de les imatge del Sentinel-2, en percentatges, per cada tipus de classe després de la correcció topogràfica per cada banda. Totes les classes han disminuït les desviacions estàndard.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	0,03	0,06	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,06	0,03	0,06	0,04	0,18	0,53
3	0,05	0,06	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	0,12	0,06	0,10	0,07	0,19	0,64
4	0,05	0,09	0,09	0,07	0,10	0,13	0,11	0,22	0,11	0,16	0,13	0,20	0,65
5	0,08	0,07	0,10	0,13	0,12	0,17	0,14	0,22	0,21	0,20	0,14	0,24	0,53
6	0,45	0,23	0,13	0,41	0,30	0,21	0,17	0,36	0,37	0,27	0,18	0,36	0,57
7	0,49	0,27	0,12	0,46	0,27	0,19	0,15	0,33	0,39	0,25	0,17	0,36	0,47
8	0,62	0,42	0,16	0,62	0,48	0,22	0,18	0,45	0,57	0,35	0,28	0,44	0,97
8a	1,00	0,64	0,26	1,01	0,59	0,38	0,30	0,70	1,06	0,60	0,41	0,64	0,91

b3) GeoEye-1

En El Hierro, la correcció aplicada per a les imatges del GE-1, tant nord com sud, ha estat la correcció C. La taula 19 mostra una reducció del percentatge de la SD entre els valors obtinguts de la correcció empíricoestadística i els de la correcció C. Senyalat en negreta seria l'òptim segons Riaño *et al.* (2003) perquè la reducció és d'un terç o s'aproxima.

Taula 19. La reducció de la SD en percentatge (%) de les imatges GeoEye-1.

Bandes espectrals	Empíricoestadístic	Correcció C
B1	0,01	0,01
B2	0,03	0,01
B3	0,02	0,02
B4	0,03	0,03

La banda 1 (blau) és la que menys ha reduït la seva SD i els resultats són similars als autors citats. La taula 20 mostra les reflectàncies positives de les bandes GE-1 després de la correcció topogràfica. La classe urbana coincideix amb el resultat de les correccions del S-2. La banda del vermell és la que menys millora. La banda de l'infraroig proper millora de manera considerable, menys a la classe dos; el savinar humit.

Taula 20. Les reduccions de les desviacions estàndard de les imatge del GE-1, en percentatges (%), per a cada tipus de classe després de la correcció topogràfica de cada banda. En negreta es destaca aquell valor que ha augmentat després de la correcció topogràfica (veure taula 8: 1. *Fayal-brezal*; 2. Savinar humit; 3. Savinar sec; 4. Pi insigne; 5. Pi canari; 6. *Tabaibal amargo*; 7. Matollar sobre colada recent; 8. *Jaral*; 9. Matollar de *brezo i tomillar*; 10. Pastures; 11. Conreus de secà; 12. Conreus de regadiu; 13. Urbà)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Blau (0,45 - 0,51µm)	0,09	0,01	0,07	0,29	0,29	0,58	0,29	0,63	0,61	0,47	0,93	0,61	2,59
Verd (0,51 - 0,58 µm)	0,14	0,00	0,25	0,26	0,43	0,57	0,27	0,82	0,64	0,52	0,82	0,64	2,57
Vermell (0,65 - 0,69 µm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
NIR (0,78 - 0,92 µm)	0,67	-0,17	0,73	0,49	1,37	0,58	0,34	1,76	0,42	0,54	0,83	0,54	1,22

c) *Comparativa de la correcció topogràfica dels tres satèl·lit*

A la taula 21 es mostren els càlculs de cada banda però cal tenir en compte que el rang espectral és diferent a cada satèl·lit. En els valors es destaquen els efectes de les correccions topogràfiques sobre les bandes. A la columna de l'infraroig proper es destaquen els valors negatius més baixos(verd fosc), que segons Hantson *et al.* (2011) podria ser per la sobreestimació a la banda del NIR a les diferents correccions topogràfiques.

Taula 21. Discriminació de la diferència entre les mitjanes de les reflectàncies de les classes entre l'SPOT-5 i el S-2, entre l'SPOT-5 i el GE-1 i el S-2 i el GE-1. Els verds clars indiquen una semblança entre valors i els verds foscos mostren diferències significatives. Les columnes de color gris sense valors són per l'absència de la banda blava del satèl·lit l'SPOT-5. Els valors del 1 al 13 es descriuen a la taula 17.

	SPOT-5-S-2				SPOT-5 – GE-1				S-2 – GE-1			
	Blau	Verd	Vermell	NIR	Blau	Verd	Vermell	NIR	Blau	Verd	Vermell	NIR
1		0,02	0,04	-0,23		0,02	0,04	0,10	0,00	0,00	0,00	0,33
2		0,03	0,02	-0,13		0,02	0,03	0,09	0,00	0,00	0,01	0,22
3		0,01	0,00	-0,11		0,00	0,02	0,02	-0,01	-0,01	0,02	0,14
4		0,02	0,02	-0,23		0,00	0,02	0,08	-0,02	-0,02	0,00	0,31
5		0,00	0,00	-0,23		0,00	0,03	-0,05	0,00	-0,01	0,03	0,18
6		0,00	-0,02	-0,08		0,02	0,04	0,07	0,01	0,02	0,06	0,14
7		0,01	-0,01	0,00		0,00	0,01	0,03	-0,02	-0,02	0,01	0,03
8		-0,01	-0,03	-0,12		-0,02	0,02	-0,11	0,00	-0,01	0,05	0,02
9		-0,03	-0,06	-0,16		-0,02	-0,02	0,00	0,00	0,01	0,05	0,16
10		-0,02	-0,06	-0,20		-0,02	-0,01	0,00	-0,01	0,00	0,05	0,21
11		0,03	-0,01	-0,04		0,00	0,02	0,06	-0,04	-0,03	0,03	0,11
12		-0,01	-0,01	-0,45		0,00	0,01	0,05	-0,01	0,01	0,02	0,50
13		-0,11	-0,16	-0,26		-0,08	-0,06	0,05	0,00	0,03	0,10	0,31

6.2. **Cartografia de la coberta de l'illa d'El Hierro**

En aquest apartat es mostren les classificacions dels satèl·lits SPOT-5, Sentinel-2 i GeoEye-1. Cada classificació va acompanyada de la matriu de confusions per validar l'exactitud de la cartografia.

6.2.1. **Mapa de la coberta de l'illa d'El Hierro amb l'SPOT-5**

Taula 22. Matriu de confusió de la classificació de la imatge de l'SPOT-5.

Dades classificades	k=8 veïns de les bandes espectrals													Total	ECo(%)	EUs(%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
1. Fayal-Brezal	580	0	0	104	0	0	741	24	1	25	0	0	0	1.475	60,7	39,3
2. Jaral	0	152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	152	0,0	100,0
3. Matollar sobre colada recent	0	0	4.409	0	0	0	0	48	0	0	0	4	0	4.461	1,2	98,8
4. Matollar de brezo i tomillar	0	0	0	494	0	0	0	0	0	0	0	0	0	494	0,0	100,0
5. Pastures	0	0	0	0	1.698	0	313	0	0	0	0	0	0	2.011	15,6	84,4
6. Pineda de pi canari	0	0	0	56	0	538	71	0	0	0	0	0	0	665	19,1	80,9
7. Pineda de pi insigne	0	0	0	8	0	0	614	0	0	0	0	0	0	622	1,3	98,7
8. Conreus de regadiu	0	0	0	0	0	0	0	389	0	0	0	0	0	389	0,0	100,0
9. Savinar humit	0	5	0	0	0	0	0	0	188	0	0	0	0	193	2,6	97,4
10. Savinar sec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0	32	0,0	100,0
11. Conreus de secà	0	34	0	0	0	1	75	27	2	0	619	6	16	780	20,6	79,4
12. Tabaibal amargo	0	0	0	0	0	0	0	0	13	41	0	240	0	294	18,4	81,6
13. Urbà	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	178	178	0,0	100,0
Total	580	191	4.409	662	1.698	539	1.814	488	204	98	619	250	194	11.746		
EOs(%)	0,0	20,4	0,0	25,4	0,0	0,2	66,2	20,3	7,8	67,3	0,0	4,0	8,2		EG(%) =	86,3
EPr(%)	100,0	79,6	100,0	74,6	100,0	99,8	33,8	79,7	92,2	32,7	100,0	96,0	91,8		IK =	0,80

La classificació kNN per $k=8$ veïns de l'SPOT-5 (figura 40) presenta un encert global de 86,3% (taula 22), encara així, algunes comunitats vegetals representen errors de comissió o d'omissió alts, com és el cas del *fayal-brezal* representat en detriment del pi insigne, del matollar de *brezos* i *tomillar*, del conreu de secà i del savinar sec. En canvi la pineda de pi insigne s'ha subestimat per les pastures i els conreus de secà. El savinar sec s'ha substituït pels conreus de secà i el fayal brezal. La pineda de pi insigne i el savinar sec són les comunitats vegetals amb menys error de comissió. El cas del *fayal-brezal* s'ha reduït envers la realitat per la generalització del filtre *majority*.

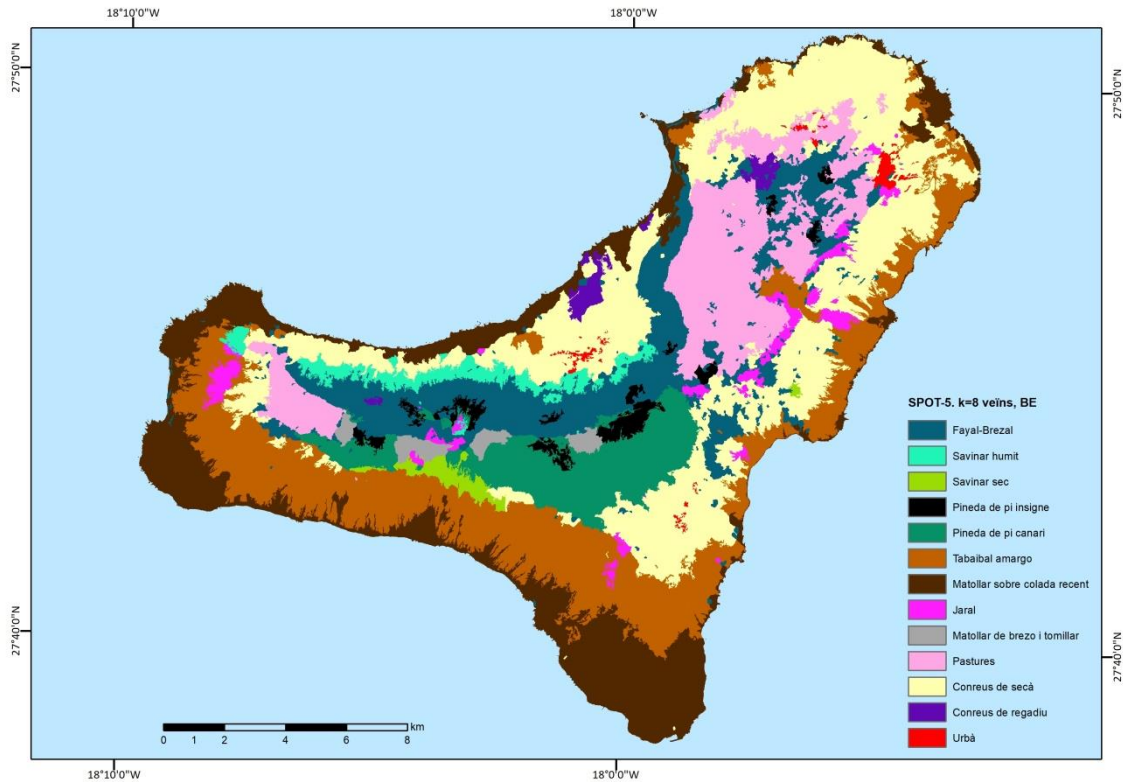


Figura 40. Resultats de la classificació kNN per $k=8$ veïns més propers de l'àrea d'estudi amb l'SPOT-5.

6.2.2. Mapa de coberta de l'illa d'El Hierro amb Sentinel-2

Els valors de l'encert global i l'índex Kappa de les 7 classificacions de S-2 calculades per diferents nombres de k veïns es presenten a la taula 23. La combinació de les bandes espectrals amb l'índex de vegetació NDVI i l'aplicació dels filtres *majority* i *sharpen* mostren encerts globals al voltant del 80%. La classificació amb l'encert global més alt és la de les bandes espectrals i l'índex de vegetació amb $k=4$ veïns (83,1%), molt similar a la classificació sense filtre i $k=2$ veïns amb 82,8%. El 81,2% d'encert és la classificació de les bandes amb el filtre *Sharpen* i posterior filtre *Majority* per $k = 8$ veïns. La classificació de les bandes espectrals amb $k=2$ veïns i sense filtres és del 78,41%. Immitzer *et al.* (2016) donen el 60 – 70 % d'encerts com acceptables, cal destacar el paper important dels filtres utilitzats en aquest treball com a complements de millora de les classificacions d'imatges.

Si es compara amb la classificació d'un indret similar a l'illa d'El Hierro, Massetti *et al.* (2016) classifica una imatge *RapidEye* de l'illa de Madeira amb exactituds d'entre 65% i 75%. Similar a l'estudi d'en Ng *et al.* (2017), que compara les exactituds de les classificacions de les imatges S-2 i *Pleiades*, les de les imatges S-2 són al voltant del 80%. Immitzer *et al.* (2016) assoleixen un

encert del 67% a la classificació de dos boscos de l'est de Munich, a Bavaria, Alemanya. També, l'estudi d'en Borràs *et al.* (2017), encara que és un tipus d'ús del sòl diferent d'El Hierro, assoleixen un encert global del 80-90% de les classificacions kNN del S-2 a València i a El Valle Bonarense, riu Colorado a Argentina.

Pel que fa al nombre de veïns del classificador kNN, Franco-Lopez *et al.* (2001) experimenta amb el nombre de veïns a la classificació d'imatge de Landsat TM. Fa proves entre k=1 i k=9 veïns. Les millors exactituds són amb la classificació de k=1 veí. Vidal-Macua (2017) realitza una bateria de classificacions pels k=2 i k=120 veïns amb imatges Landsat, les diferències de l'encert global de les classificacions pels nombres de k veïns diversos són al voltant del 94%. A més, la precisió de productor és del 85 – 88 % de les classificacions per k=2 fins a k= 15 veïns, i l'encert disminueix a mesura que augmenta el nombre de k veïns. Tot i que les diferències entre el k=2 veïns i k=15 veïns són petites, van seleccionar k=15 veïns per ser més robust amb una quantitat superior de píxels de les àrees d'entrenament.

Taula 23. Encerts globals (EG) i índex Kappa (IK) de les classificacions del S-2.

	k = 2		k = 4	k = 8			
	1. S/S M	2. M	3. S/S M	4. BE	5. BE+ NDVI	6. S	7. S+M
EG (%)	78,41	82,86	83,17	80,63	80,32	79,05	81,27
IK	0,76	0,81	0,81	0,78	0,78	0,77	0,79

Dels encerts globals i de l'índex de Kappa se'n deriva la matriu de confusions, que calcula l'exactitud a nivell d'usuari i de productor com ja s'ha explicat al capítol 5 de la metodologia. La taula 24 és el conjunt de matriu de confusions de les diverses classificacions amb k=2, k=4 i k=8 veïns. La classe representada al voltant del 100% d'exactitud, tant del productor com de l'usuari, és l'urbà, de la mateixa manera que Massetti *et al.* (2016). Tot i que l'error d'omissió és lleugerament més alt que el de comissió. Les classificacions de k=2 i k=4 són les millors, al voltant del 92% d'exactitud de producció i 100% d'exactitud d'usuari.

Els errors de comissió més alts es presenten en aquelles comunitats d'estrat arbustiu i herbaci, principalment: el jaral, el matollar de *brezo* i *tomillar*, pastures, conreus de secà i de regadiu. L'anàlisi de cada classe dóna informació de quines són les categories que es produeixen la confusió, i així solucionar-ho. El *jaral* és un endemisme, pràcticament, representat amb l'exactitud d'usuari al voltant de zero. Aquesta classe es caracteritza per un estrat herbaci sobre sols pedregosos i decapitats en els dominis potencials del savinar sec. El *jaral* és una formació arbustiva caracteritzada per extensions àmplies que constitueix el sotabosc del savinar (Del Arco *et al.*, 2006; Fernández-Pello *et al.*, 2006). El *jaral* és proper a les classes: del savinar sec, del *tabaibal amargo* o de pastures. De la mateixa manera, el matollar de *brezo* i *tomillar* és una comunitat vegetal d'estrat baix i es confonen amb el *jaral* (Del Arco *et al.*, 2006; Salvà-Catarineu *et al.*, 2012). Per tant, l'elaboració d'àrees d'entrenament i de test d'aquesta classe és una tasca complexa a causa de la distribució vertical de la vegetació i a la resolució espacial de les imatges del sentinel-2.

El savinar humit mostra una exactitud d'usuari de 66 – 100 %. Les dues classificacions que representen el 100% d'aquest savinar són les dels filtres de millora (taula 24g i 24f), en canvi la classificació per k=2 veïns de les bandes espectrals i l'NDVI no arriba al 70%. L'exactitud de producció del savinar humit és de 22-33% perquè el savinar humit és un altre repte per l'omissió d'aquesta comunitat pel fet que queda entre el *fayal-breza* de la part nord de l'illa.

El savinar sec representa entre un 80 – 93% d'exactitud d'usuari. La millor és la classificació per $k=2$ veïns de les bandes espectrals, l'NDVI i el filtre de millora *majority*, contràriament, la que representa un 80% és la classificació per $k=2$ veïns de les bandes espectrals i l'NDVI. La representació del savinar sec és més realista degut al filtre de millora *majority*.

La pineda de pi insigne té una exactitud d'usuari de 60 a 100%, el 100% correspon a la classificació per $k=4$ veïns de les bandes espectrals i l'NDVI i el 60% a la classificació per $k=2$ veïns, en canvi l'exactitud de productor és de 45 a 85%, les classificacions coincideixen amb les de l'exactitud d'usuari. La pineda de pi insigne disminueix la seva àrea de la classificació en detriment del *fayal-brezal*. L'exactitud d'usuari de la pineda de pi insigne és de 81-100% i corresponen a la classificació per $k=8$ veïns de les bandes espectrals, l'NDVI i el filtre *majority* i la classificació per $k=8$ veïns de les bandes espectrals, el filtre *sharpen* i el filtre *majority*, respectivament. L'exactitud de productor d'aquesta classe és de 71 i 85, la classificació dels $k=8$ veïns de les bandes espectrals, de l'NDVI i filtre *sharpen*.

El *tabaibal amargo* presenta confusions amb el matollar de *brezo* i *tomillar*, la seva exactitud d'usuari i la de producció són acceptables, inclús són del 80%. El matollar de vegetació sobre colada recent té una exactitud d'usuari d'entre 84,9 i 96,6 que es confonen amb cel·les classificades com a conreus de secà, mentre que l'exactitud de productor és més alta que l'exactitud d'usuari. El matollar de *brezo* i *tomillar* es representa fins a un 66,7% de comissió en detriment del *tabaibal amargo*, en canvi, el matollar de *brezo* i *tomillar* perd superfície de representació en altres indrets pel *tabaibal amargo* i per les pastures, l'exactitud de producció és de 14,3 a 28,6%. Les pastures tenen més àrea en detriment del matollar de *brezo* i *tomillar* mentre que l'exactitud de producció és del 80 a 100 %. Els conreus de secà mostren una exactitud d'usuari de 54,4 al 72,7% perquè s'ha designat erròniament allà on hi ha matollar de *brezo* i *tomillar*, mentre que l'exactitud de producció es manté en errors acceptables, va de 74,2 – 87,1%. Els conreus de regadiu tenen una exactitud d'usuari de 54,6 a 88,9%, és a dir, la cartografia representa més conreus de regadiu que d'urbà, de la mateixa manera l'exactitud de producció és de 60 – 90% com que algunes cel·les s'han classificat com a conreus de secà en comptes de regadiu. Per tant, aquestes categories esmentades presenten confusions en detriment i benefici entre elles, a causa de la seva proximitat espacial, de la falta de precisió de les àrees d'entrenament i de les variables auxiliars. Per últim, el *fayal-brezal* té una exactitud d'usuari de 67 a 80%, mentre que l'exactitud de productor és de 92 al 100%. La pineda de pi insigne (figura 41) i la pineda de pi canari són comunitats que ometen el *fayal-brezal*. Les millors classificacions que representen el *fayal-brezal* són la $k=4$ veïns i la $k=8$ veïns. En general, les diferències entre els filtres aplicats abans i després de la classificació no són estadísticament significatius. Encara així, hi ha diferències entre classes força destacades.

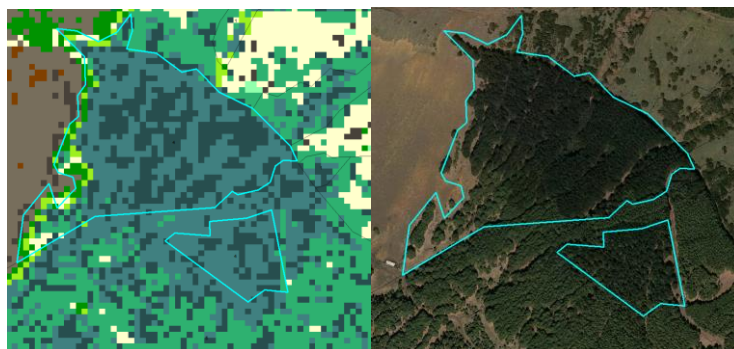


Figura 41. Comunitat de la pineda de pi insigne classificada com a *fayal-brezal*. A l'esquerra és la classificació del S-2 i a la dreta l'ortofotografia del PNOA © l'Instituto Geográfico Nacional. El polígon amb els marges de color blau és de la cartografia de referència Del Arco *et al.* (2006).

Taula 24. Matriu de confusions de la classificació k=2 veïns de les bandes espectrals (2-8a) i l'NDVI (a), de la classificació K=2 veïns de les bandes espectrals (2-8a) i l'NDVI més el filtre *Majority* (b), de la classificació de k=4 veïns de les bandes espectrals (2-8a) i l'NDVI (c), de la classificació de k=8 veïns amb bandes espectrals (2-8a) únicament (d), de la classificació k=8 veïns amb les bandes espectrals (2-8a) i el NDVI (e), de la classificació amb el filtre de millora *Sharpen* a les bandes espectrals (2-8a) i l'NDVI (f) i de la classificació amb el filtre de millora *Sharpen* a les bandes espectrals (2-8a) i l'NDVI més el filtre *Majority* (g).

a) k=2 veïns de les bandes espectrals (2-8a) i NDVI																
Dades classificades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total	ECo(%)	EUs(%)
1. <i>Fayal-breza</i>	35	6	0	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	52	32,7	67,3
2. Savinar humit	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	33,3	66,7
3. Savinar sec	0	0	28	1	0	2	0	4	0	0	0	0	0	35	20,0	80,0
4. Pi insigne	3	0	0	9	2	1	0	0	0	0	0	0	0	15	40,0	60,0
5. Pi canari	0	1	0	1	19	0	0	0	0	0	0	1	0	22	13,6	86,4
6. <i>Tabaibal amargo</i>	0	0	0	0	0	25	0	0	3	0	1	0	1	30	16,7	83,3
7. Matollar sobre colada recent	0	0	0	0	0	2	29	0	0	0	0	0	0	31	6,5	93,6
8. <i>Jaral</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,0	0,0
9. Matollar de brezo i tomillar	0	0	0	0	0	5	0	0	2	0	0	0	0	7	71,4	28,6
10. Pastures	0	0	0	0	0	0	0	0	1	15	4	0	1	21	28,6	71,4
11. Conreus de secà	0	0	2	0	0	6	0	1	1	0	26	2	2	40	35,0	65,0
12. Conreus de regadiu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2	9	22,2	77,8
13. Urbà	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50	0,0	100,0
Total	38	9	30	20	24	41	29	5	7	15	31	10	56	315		
EOs(%)	7,9	77,8	6,7	55,0	20,8	39,0	0,0	100,0	71,4	0,0	16,1	30,0	10,7		EG(%) =	78,4
EPr(%)	92,1	22,2	93,3	45,0	79,2	61,0	100,0	0,0	28,6	100,0	83,9	70,0	89,3		IK =	0,76

b) k=2 veïns de les bandes espectrals (2-8a), NDVI i filtre Majority																
Dades classificades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total	ECo(%)	EUs(%)
1. <i>Fayal-breza</i>	36	4	0	3	2	0	0	0	0	0	0	1	0	46	21,7	78,3
2. Savinar humit	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	25,0	75,0
3. Savinar sec	0	0	28	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	30	6,7	93,3
4. Pi insigne	0	1	0	17	3	0	0	0	0	0	0	0	0	21	19,1	81,0
5. Pi canari	2	1	0	0	18	0	0	0	0	0	1	0	1	22	18,2	81,8
6. <i>Tabaibal amargo</i>	0	0	0	0	0	32	1	1	4	0	1	0	1	40	20,0	80,0
7. Matollar sobre colada recent	0	0	0	0	0	2	28	0	0	0	0	0	0	30	6,7	93,3
8. <i>Jaral</i>	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	4	50,0	50,0
9. Matollar de brezo i tomillar	0	0	0	0	0	4	0	0	1	0	0	0	0	5	80,0	20,0
10. Pastures	0	0	0	0	0	0	0	0	2	13	4	0	1	20	35,0	65,0
11. Conreus de secà	0	0	2	0	0	3	0	1	0	1	24	1	1	33	27,3	72,7
12. Conreus de regadiu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	1	8	12,5	87,5
13. Urbà	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	52	0,0	100,0
Total	38	9	30	20	24	41	29	5	7	15	31	10	56	315		
EOs(%)	5,3	66,7	6,7	15,0	25,0	22,0	3,5	60,0	85,7	13,3	22,6	30,0	7,1		EG(%) =	82,9
EPr(%)	94,7	33,3	93,3	85,0	75,0	78,1	96,6	40,0	14,3	86,7	77,4	70,0	92,9		IK =	0,81

c) k=4 veïns de les bandes espectrals (2-8a) i NDVI																
Dades classificades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total	ECo(%)	EUs(%)
1. <i>Fayal-breza</i>	38	4	0	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	47	19,2	80,9
2. Savinar humit	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	25,0	75,0
3. Savinar sec	0	1	25	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	29	13,8	86,2
4. Pi insigne	0	0	0	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	17	5,9	94,1
5. Pi canari	0	1	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	23	4,4	95,7
6. <i>Tabaibal amargo</i>	0	0	0	0	0	29	1	1	3	0	1	0	0	35	17,1	82,9
7. Matollar sobre colada recent	0	0	0	0	0	1	28	0	0	0	0	0	0	29	3,5	96,6
8. <i>Jaral</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	100,0	0,0
9. Matollar de brezo i tomillar	0	0	0	0	0	5	0	0	2	0	0	0	0	7	71,4	28,6
10. Pastures	0	0	0	0	0	0	0	0	2	13	3	0	1	19	31,6	68,4
11. Conreus de secà	0	0	5	1	0	6	0	1	0	1	27	0	3	44	38,6	61,4
12. Conreus de regadiu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1	9	11,1	88,9
13. Urbà	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51	51	0,0	100,0
Total	38	9	30	20	24	41	29	5	7	15	31	10	56	315		
EOs(%)	0,0	66,7	16,7	20,0	8,3	29,3	3,5	100,0	71,4	13,3	12,9	20,0	8,9		EG(%) =	83,2
EPr(%)	100,0	33,3	83,3	80,0	91,7	70,7	96,6	0,0	28,6	86,7	87,1	80,0	91,1		IK =	0,81

d) k=8 veïns de les bandes espectrals																	
Dades classificades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total	ECO(%)	EUS(%)	
1. <i>Fayal-breza</i>	37	4	0	5	0	0	0	0	0	0	0	2	0	48	22,9	77,1	
2. Savinar humit	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	25,0	75,0	
3. Savinar sec	0	0	25	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	28	10,7	89,3	
4. Pi insigne	0	1	0	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	16	12,5	87,5	
5. Pi canari	1	1	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	24	8,3	91,7	
6. <i>Tabaibal amargo</i>	0	0	0	0	0	27	1	1	3	0	1	0	0	33	18,2	81,8	
7. Matollar sobre colada recent	0	0	0	0	0	3	28	0	0	0	0	0	0	31	9,7	90,3	
8. <i>Jaral</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,0	0,0	
9. Matollar de brezo i tomillar	0	0	0	0	0	3	0	0	2	0	0	0	0	5	60,0	40,0	
10. Pastures	0	0	0	0	0	0	0	0	2	12	5	0	1	20	40,0	60,0	
11. Conreus de secà	0	0	5	1	0	8	0	1	0	3	25	1	2	46	45,7	54,4	
12. Conreus de regadiu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	1	8	12,5	87,5	
13. Urbà	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	52	0,0	100,0	
Total	38	9	30	20	24	41	29	5	7	15	31	10	56	315			
EOs(%)	2,6	66,7	16,7	30,0	8,3	34,2	3,5	100,0	71,4	20,0	19,4	30,0	7,1		EG(%) =	80,6	
EPr(%)	97,4	33,3	83,3	70,0	91,7	65,9	96,6	0,0	28,6	80,0	80,7	70,0	92,9			IK =	0,78

e) k=8 veïns de les bandes espectrals (2-8a), NDVI i filtre Majority																	
Dades classificades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total	ECO(%)	EUS(%)	
1. <i>Fayal-breza</i>	36	4	0	4	2	0	0	0	0	0	0	1	0	47	23,4	76,6	
2. Savinar humit	0	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	40,0	60,0	
3. Savinar sec	0	0	29	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	32	9,4	90,6	
4. Pi insigne	0	1	0	14	4	0	0	0	0	0	0	0	0	19	26,3	73,7	
5. Pi canari	2	1	0	0	17	0	0	0	0	0	0	1	0	21	19,1	81,0	
6. <i>Tabaibal amargo</i>	0	0	0	0	0	33	2	1	4	0	1	0	1	42	21,4	78,6	
7. Matollar sobre colada recent	0	0	0	0	0	1	27	0	0	0	0	0	0	28	3,6	96,4	
8. <i>Jaral</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	3	66,7	33,3	
9. Matollar de brezo i tomillar	0	0	0	0	0	4	0	0	1	0	0	0	0	5	80,0	20,0	
10. Pastures	0	0	0	0	0	0	0	0	2	12	5	0	1	20	40,0	60,0	
11. Conreus de secà	0	0	1	1	0	3	0	1	0	2	23	1	2	34	32,4	67,7	
12. Conreus de regadiu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2	9	22,2	77,8	
13. Urbà	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50	0,0	100,0	
Total	38	9	30	20	24	41	29	5	7	15	31	10	56	315			
EOs(%)	5,3	66,7	3,3	30,0	29,2	19,5	6,9	80,0	85,7	20,0	25,8	30,0	10,7		EG(%) =	80,3	
EPr(%)	94,7	33,3	96,7	70,0	70,8	80,5	93,1	20,0	14,3	80,0	74,2	70,0	89,3			IK =	0,78

f) k=8 veïns de les bandes espectrals (2-8a), NDVI i filtre Sharpen																	
Dades classificades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total	ECO(%)	EUS(%)	
1. <i>Fayal-breza</i>	36	6	0	6	2	0	0	0	0	0	0	1	0	51	29,4	70,6	
2. Savinar humit	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0,0	100,0	
3. Savinar sec	0	0	28	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	31	9,7	90,3	
4. Pi insigne	2	1	0	13	2	0	0	0	0	0	0	0	0	18	27,8	72,2	
5. Pi canari	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	2	0	22	9,1	90,9	
6. <i>Tabaibal amargo</i>	0	0	0	0	0	28	1	1	3	0	1	0	0	34	17,7	82,4	
7. Matollar sobre colada recent	0	0	0	0	0	5	28	0	0	0	0	0	0	33	15,2	84,9	
8. <i>Jaral</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,0	0,0	
9. Matollar de brezo i tomillar	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	3	33,3	66,7	
10. Pastures	0	0	0	0	0	0	0	0	2	14	6	0	1	23	39,1	60,9	
11. Conreus de secà	0	0	2	1	0	7	0	1	0	1	24	1	2	39	38,5	61,5	
12. Conreus de regadiu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	5	11	45,5	54,6	
13. Urbà	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	48	0,0	100,0	
Total	38	9	30	20	24	41	29	5	7	15	31	10	56	315			
EOs(%)	5,3	77,8	6,7	35,0	16,7	31,7	3,5	100,0	71,4	6,7	22,6	40,0	14,3		EG(%) =	79,1	
EPr(%)	94,7	22,2	93,3	65,0	83,3	68,3	96,6	0,0	28,6	93,3	77,4	60,0	85,7			IK =	0,77

g) k=8 veïns de les bandes espectrals (2-8a), NDVI, filtre Majority i filtre Sharpen																	
Dades classificades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total	ECO(%)	EUS(%)	
1. <i>Fayal-breza</i>	37	5	0	5	1	0	0	0	0	0	0	1	0	49	24,5	75,5	
2. Savinar humit	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0,0	100,0	
3. Savinar sec	0	0	24	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	27	11,1	88,9	
4. Pi insigne	1	1	0	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	17	17,7	82,4	
5. Pi canari	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0,0	100,0	
6. <i>Tabaibal amargo</i>	0	0	0	0	0	29	1	1	4	0	0	0	1	36	19,4	80,6	
7. Matollar sobre colada recent	0	0	0	0	0	4	28	0	0	0	0	0	0	32	12,5	87,5	
8. <i>Jaral</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100,0	0,0	
9. Matollar de brezo i tomillar	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2	50,0	50,0	
10. Pastures	0	0	0	0	0	0	0	0	2	15	5	0	1	23	34,8	65,2	
11. Conreus de secà	0	0	6	1	0	7	0	1	0	0	26	0	2	43	39,5	60,5	
12. Conreus de regadiu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	4	13	30,8	69,2	
13. Urbà	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	48	0,0	100,0	
Total	38	9	30	20	24	41	29	5	7	15	31	10	56	315			
EOs(%)	2,6	66,7	20,0	30,0	8,3	29,3	3,5	100,0	85,7	0,0	16,1	10,0	14,3		EG(%) =	81,3	
EPr(%)	97,4	33,3	80,0	70,0	91,7	70,7	96,6	0,0	14,3	100,0	83,9	90,0	85,7			IK =	0,79

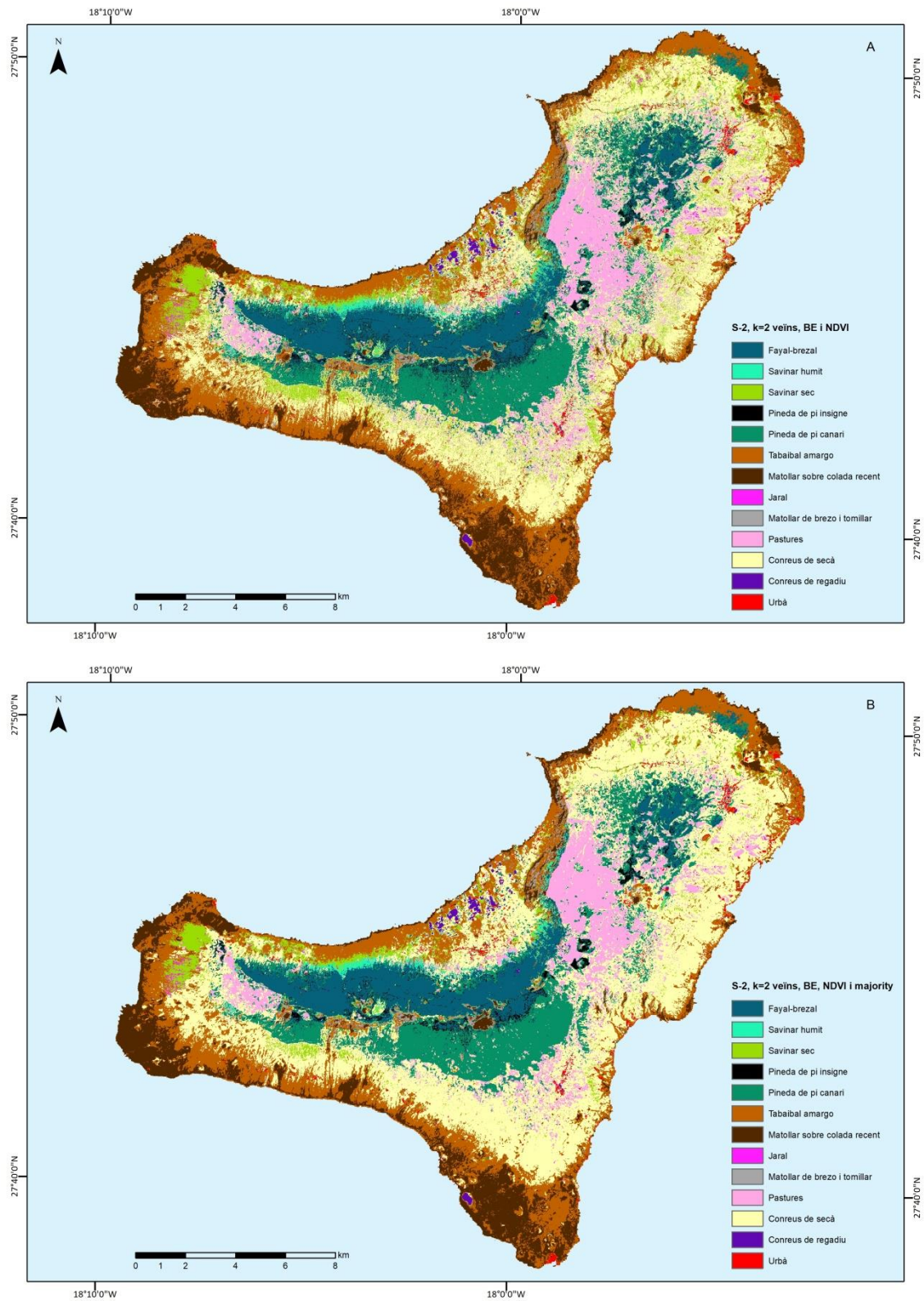


Figura 42. La cartografia de la coberta d'El Hierro a partir d'imatges del S-2. La primera (A) correspon a la classificació de $k=2$ de les bandes espectrals i l'NDVI. La segona (B) correspon a la classificació de $k=2$ de les bandes espectral, l'NDVI i filtre de millora *majority*.

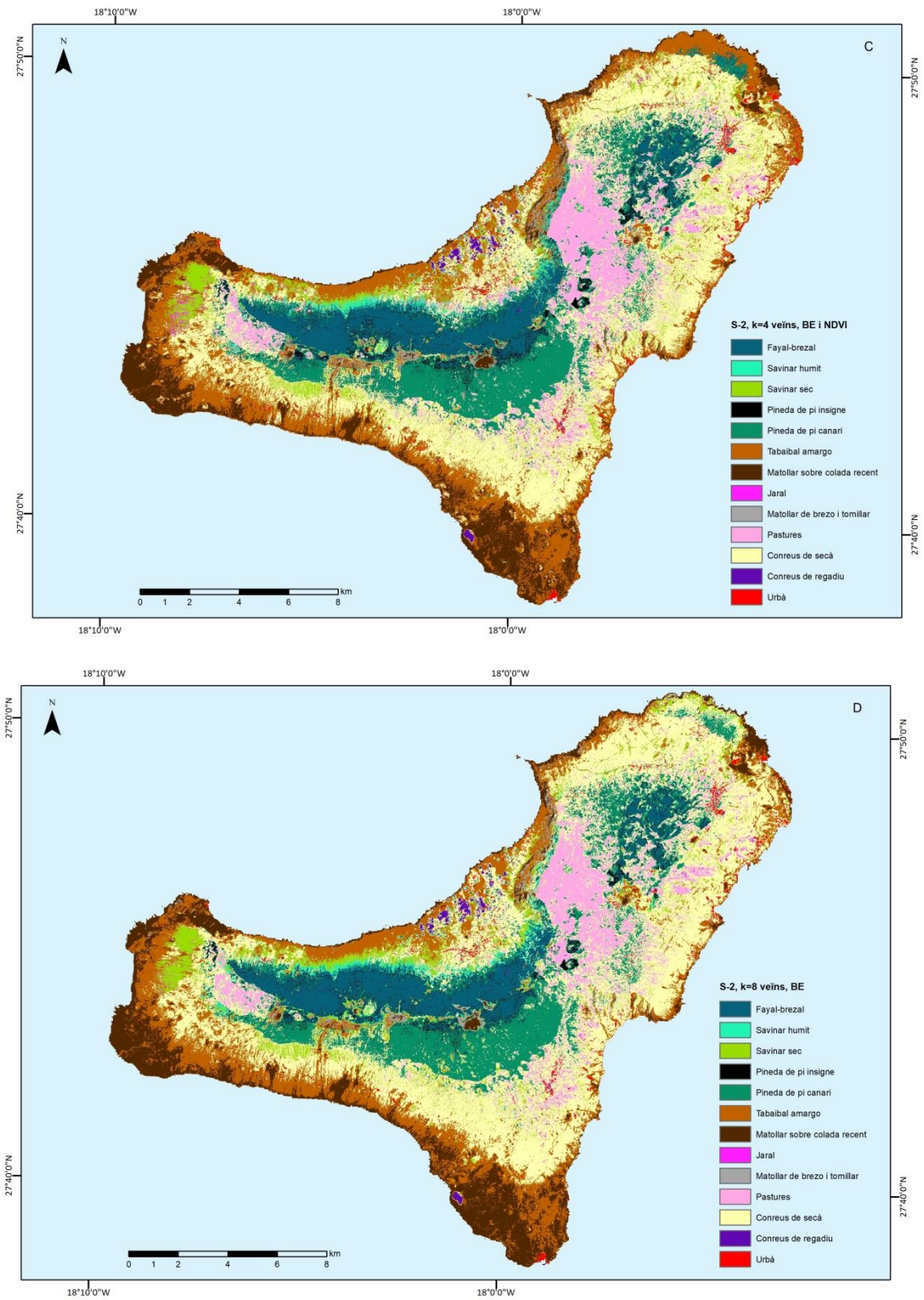


Figura 43. La cartografia de la coberta d'El Hierro a partir de les imatges del S-2. La primera correspon (C) a la classificació de $k=4$ de les bandes espectrals i l'NDVI. La segona (D) és la classificació per $k=8$ veïns de les bandes espectrals.

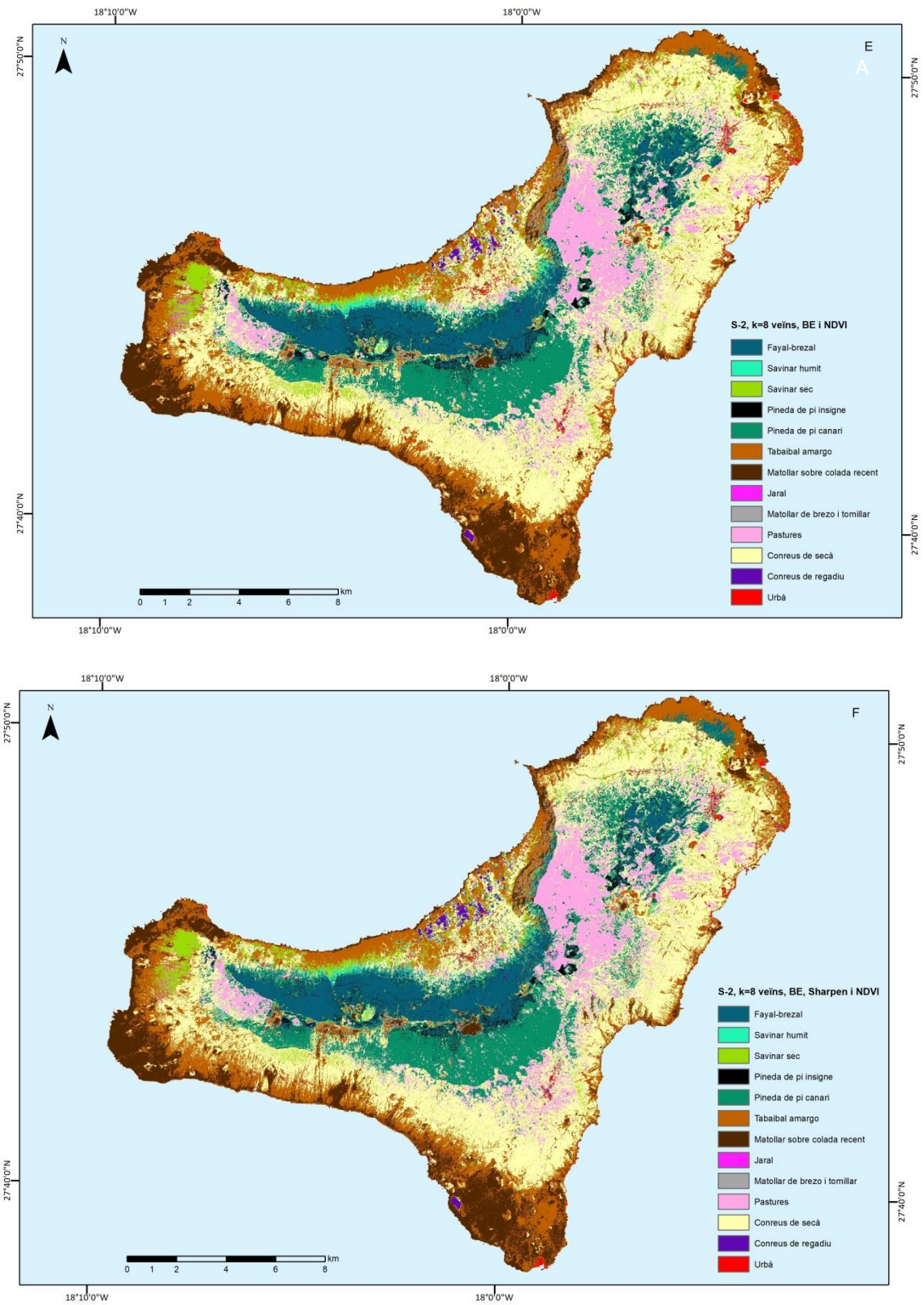


Figura 44. La cartografia de la coberta d'El Hierro a partir de les imatges del S-2. La primera (E) és la classificació per k=8 veïns de les bandes espectrals, el filtre de *Sharpen*, i l'NDVI. La segona (F) és la classificació per k=8 veïns de les bandes espectrals, el filtre *Sharpen*, l'NDVI i filtre *Majority*.

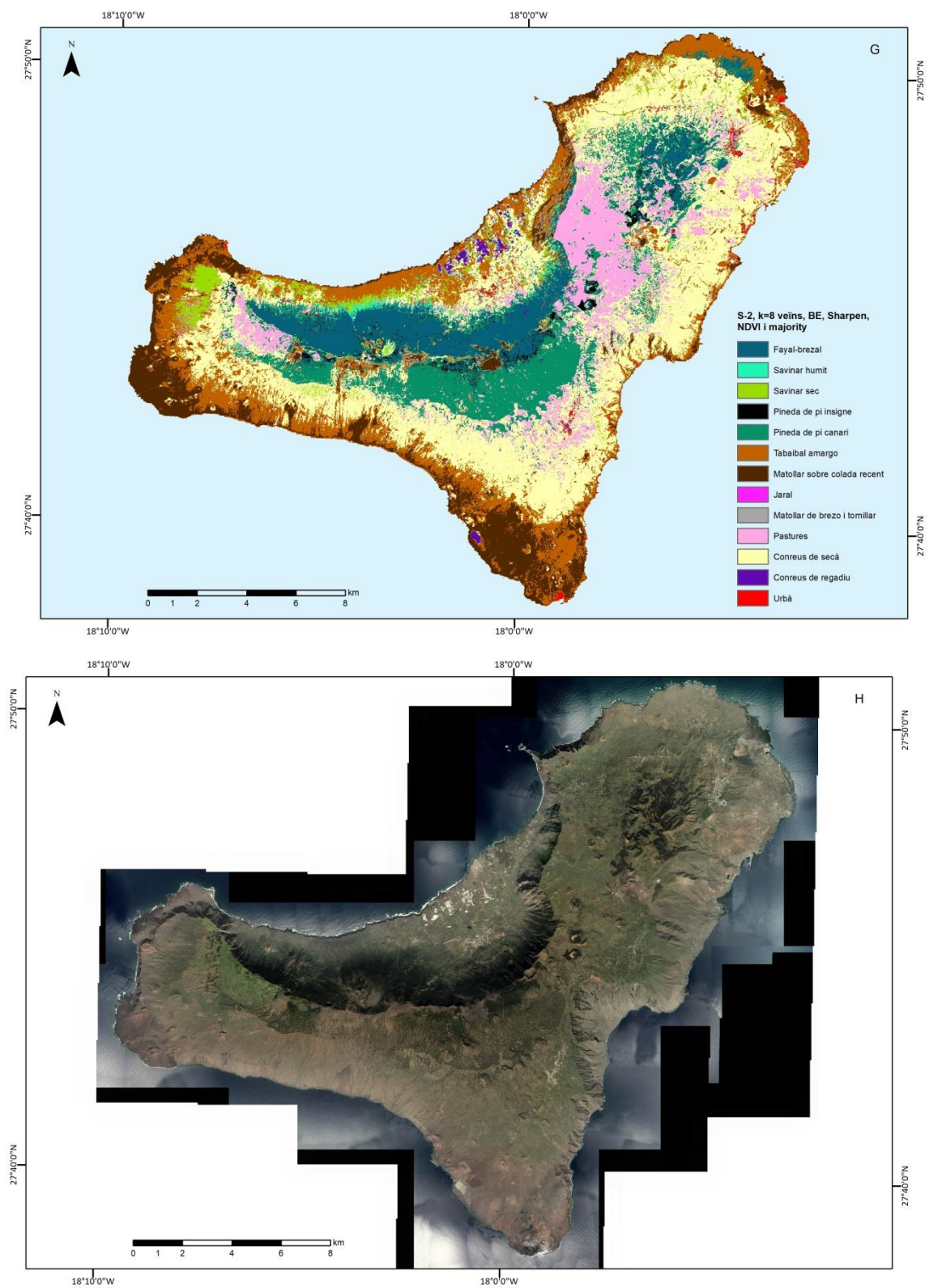
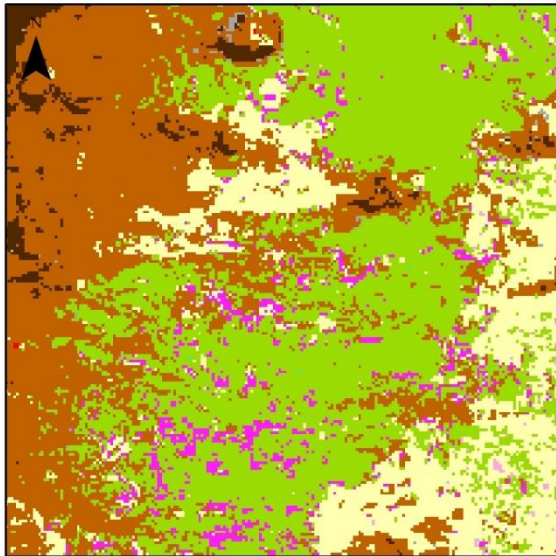
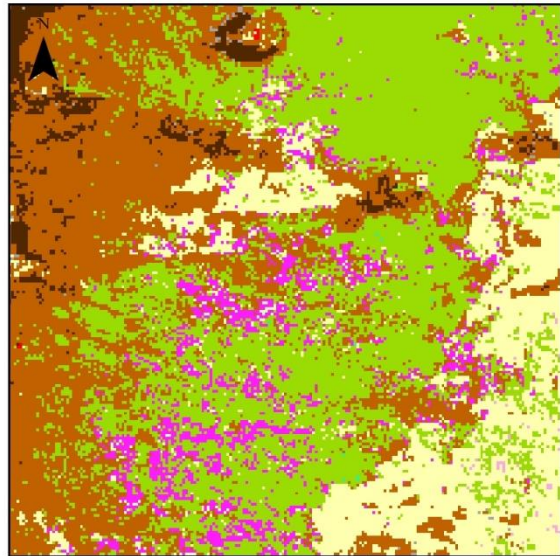


Figura 45. Continua les classificacions del S-2. La primera (F) correspon a la classificació per k=8 veïns de les bandes espectrals, filtre *Sharpen*, l'NDVI i filtre *majority*. La segona (H) és l'ortofotografia del PNOA del 2015 cedit per © l'Instituto Geográfico Nacional.

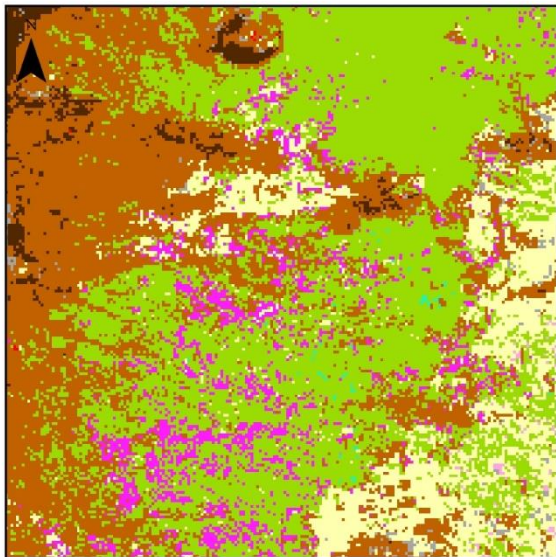
Classificació k= 8 de les bandes espectral



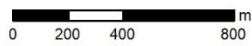
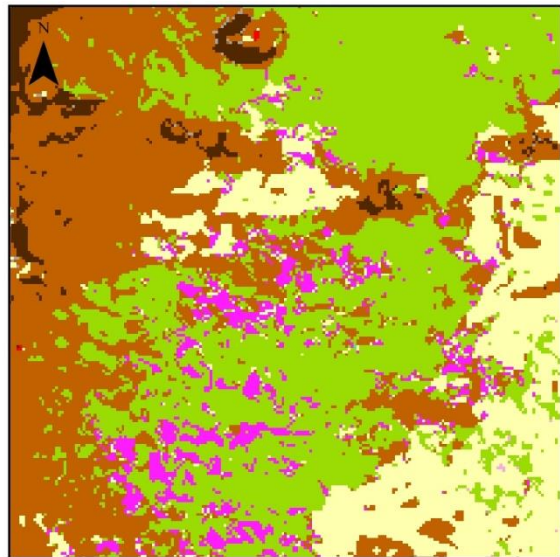
Classificació k=8 de les bandes espectral i NDVI



Classificació k= 2 de les bandes espectral i NDVI

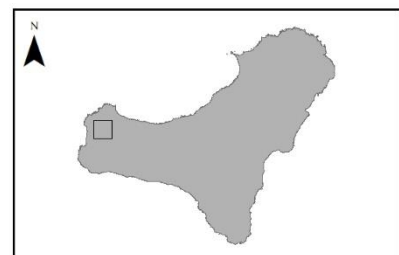


Classificació k= 2 de les bandes espectral, NDVI i filtre Majority

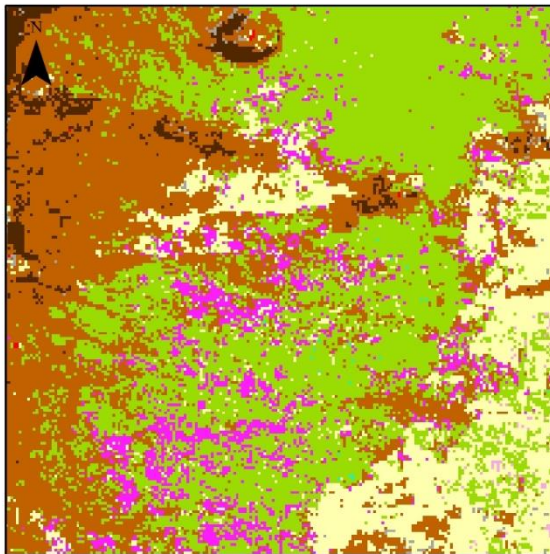


S-2, La Dehesa

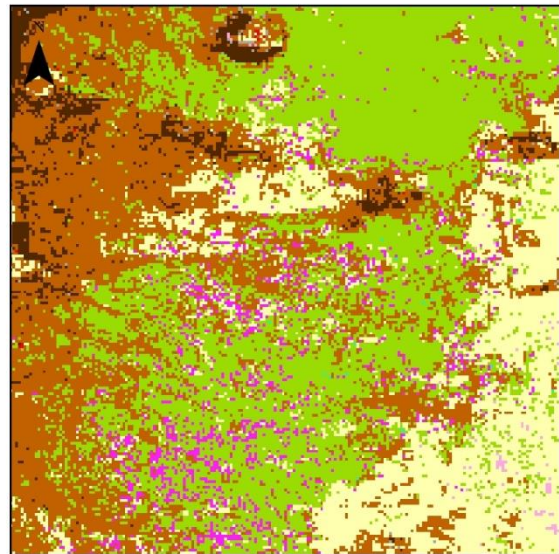
	Fayal-Brezal		Jaral
	Savinar humit		Matollar de brezo i tomillar
	Savinar sec		Pastures
	Pineda de pi insigne		Conreus de secà
	Pineda de pi canari		Conreus de regadiu
	Tabaibal amarg		Urbà
	Matollar sobre colada recent		



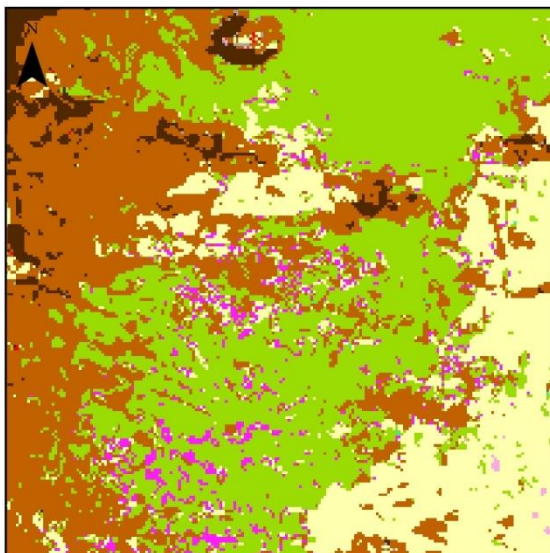
Classificació k= 4 de les bandes espectrals i NDVI



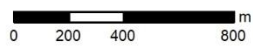
Classificació k= 8 amb filtre Sharpen, NDVI



Classificació k= 8 amb filtre Sharpen, NDVI i filtre Majority



Ortofotografia PNOA cedida per IGN



S-2, La Dehesa

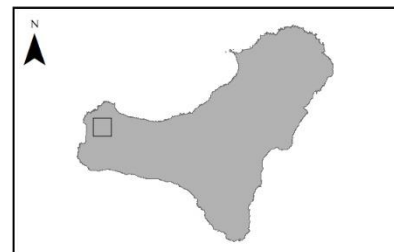
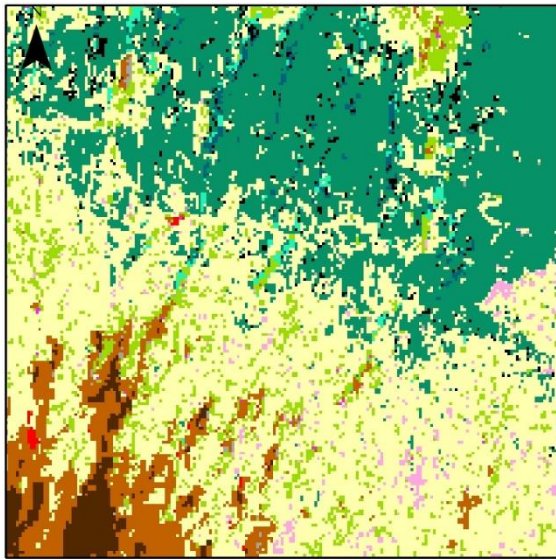
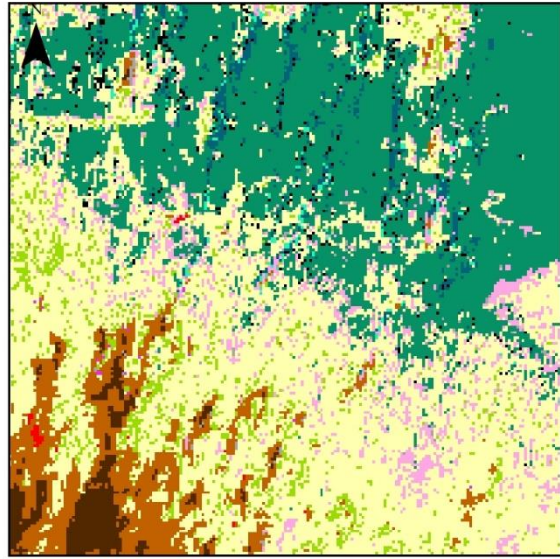


Figura 46. Ampliació del savinar sec, *tabaibal amargo* i *jaral* a la Dehesa.

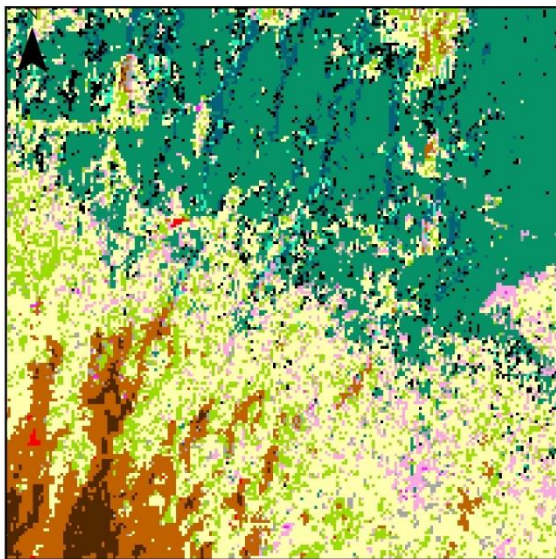
Classificació k= 8 de les bandes espectral



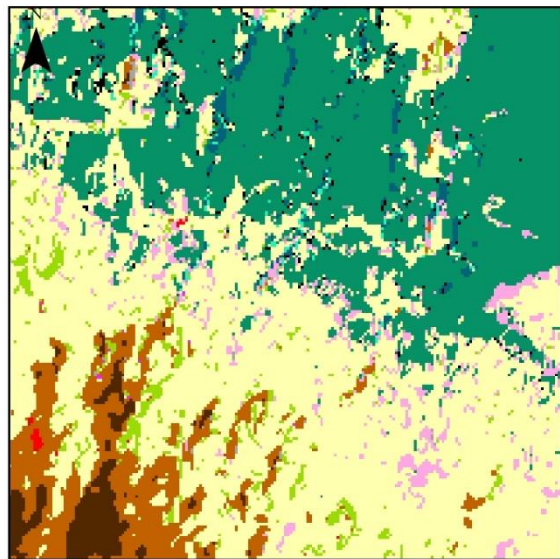
Classificació k=8 de les bandes espectral i NDVI



Classificació k= 2 de les bandes espectral i NDVI



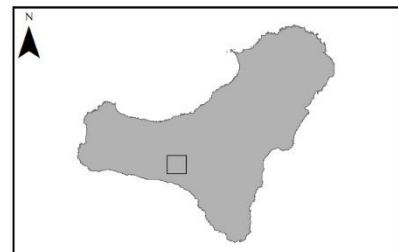
Classificació k= 2 de les bandes espectral, NDVI i filtre Majority



0 200 400 800 m

S-2, El Julan

	Fayal-Brezal		Jaral
	Savinar humit		Matollar de brezo i tomillar
	Savinar sec		Pastures
	Pineda de pi insigne		Conreus de secà
	Pineda de pi canari		Conreus de regadiu
	Tabaibal amarg		Urbà
	Matollar sobre colada recent		



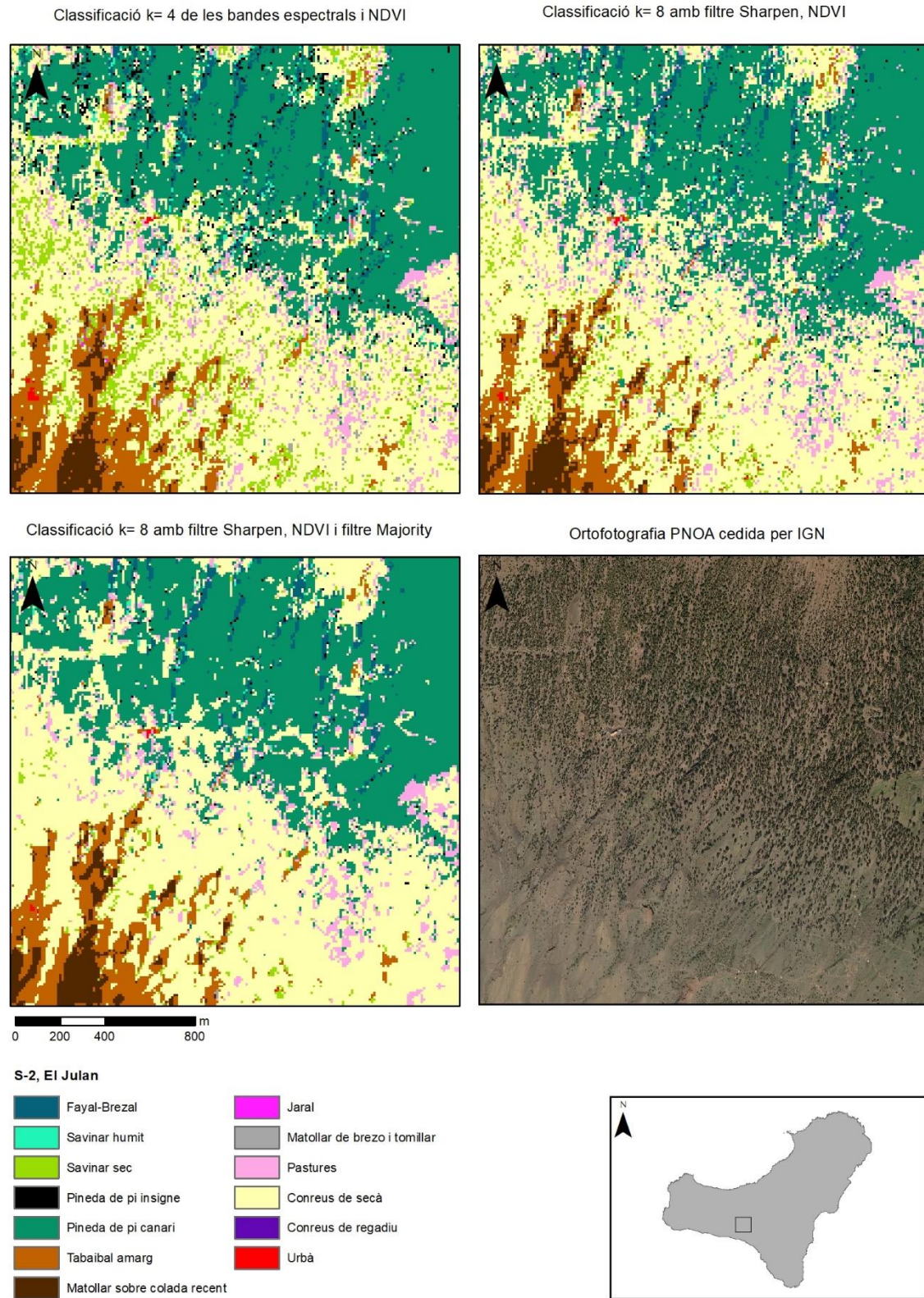
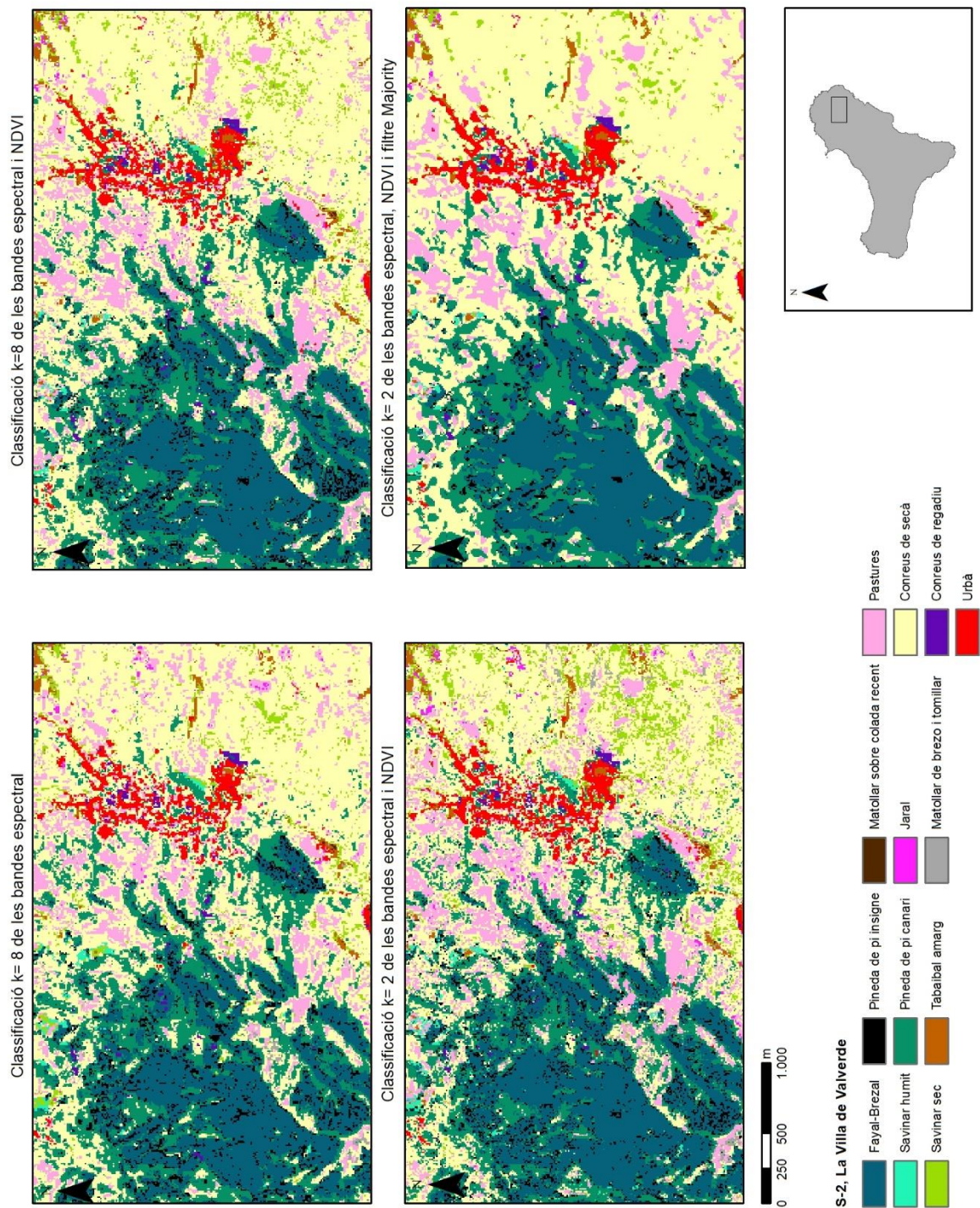


Figura 47. Ampliació del savinar amb pins canaris a El Julian.



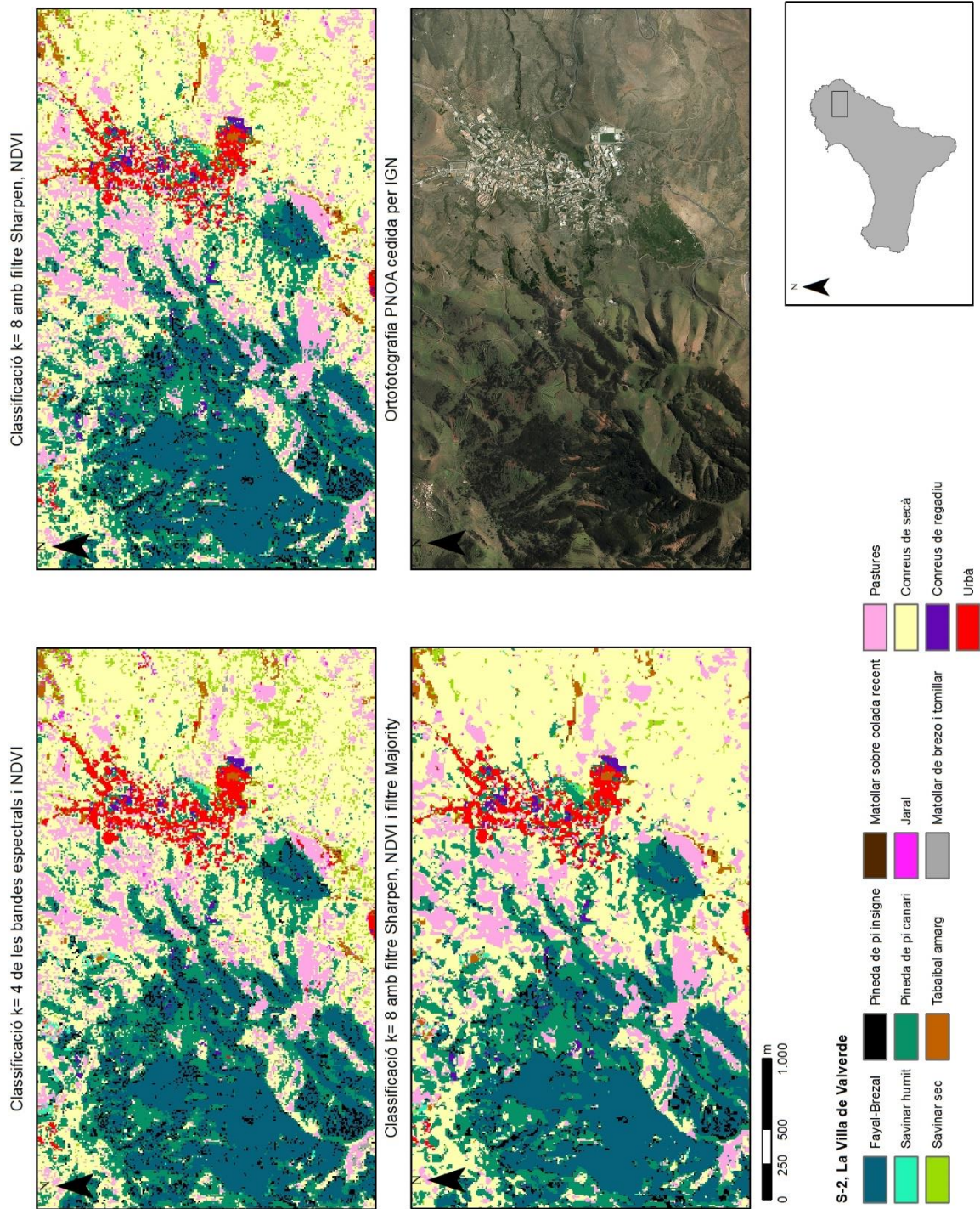
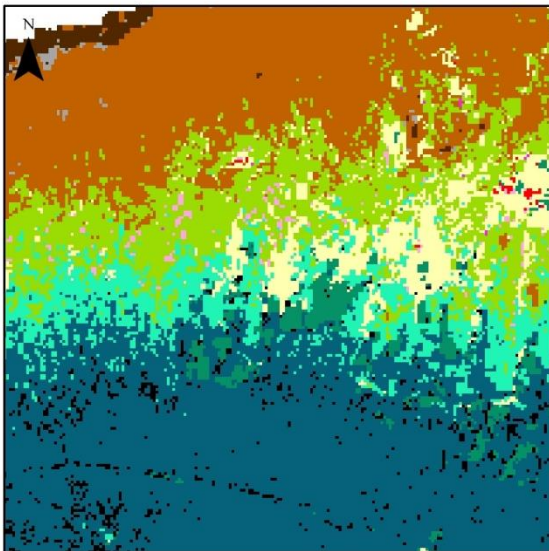
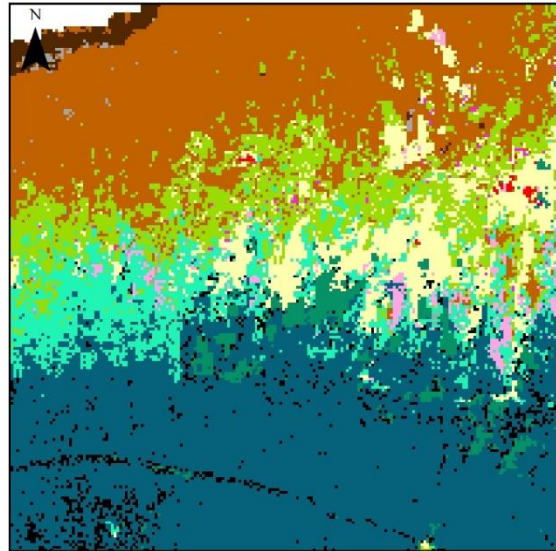


Figura 48. Ampliació del *fayal-brezal*, conreus i del nucli de Valverde.

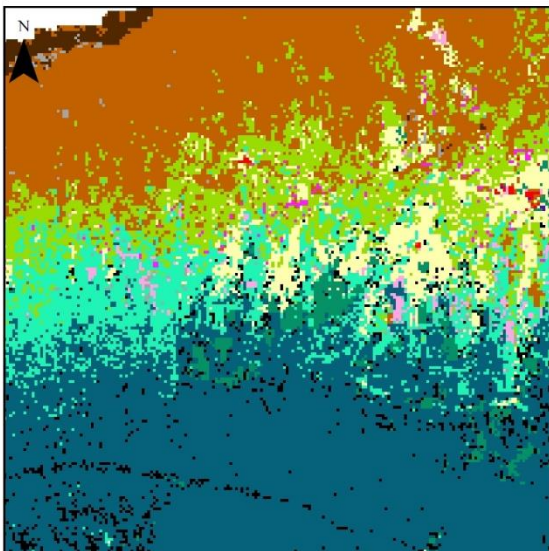
Classificació k= 8 de les bandes espectral



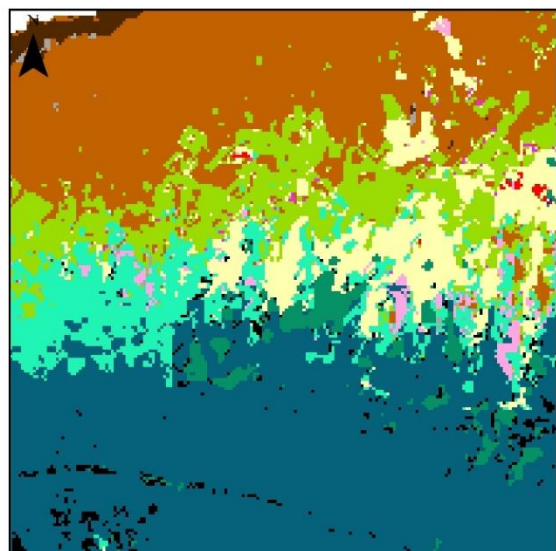
Classificació k=8 de les bandes espectral i NDVI



Classificació k= 2 de les bandes espectral i NDVI

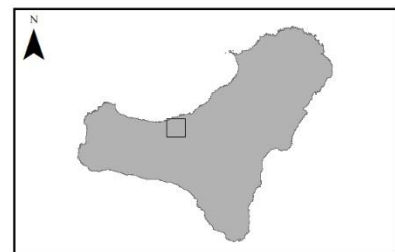


Classificació k= 2 de les bandes espectral, NDVI i filtre Majority



S-2, El Golfo

	Fayal-Brezal		Jaral
	Savinar humit		Matollar de brezo i tomillar
	Savinar sec		Pastures
	Pineda de pi insigne		Conreus de secà
	Pineda de pi canari		Conreus de regadiu
	Tabaibal amarg		Urbà
	Matollar sobre colada recent		



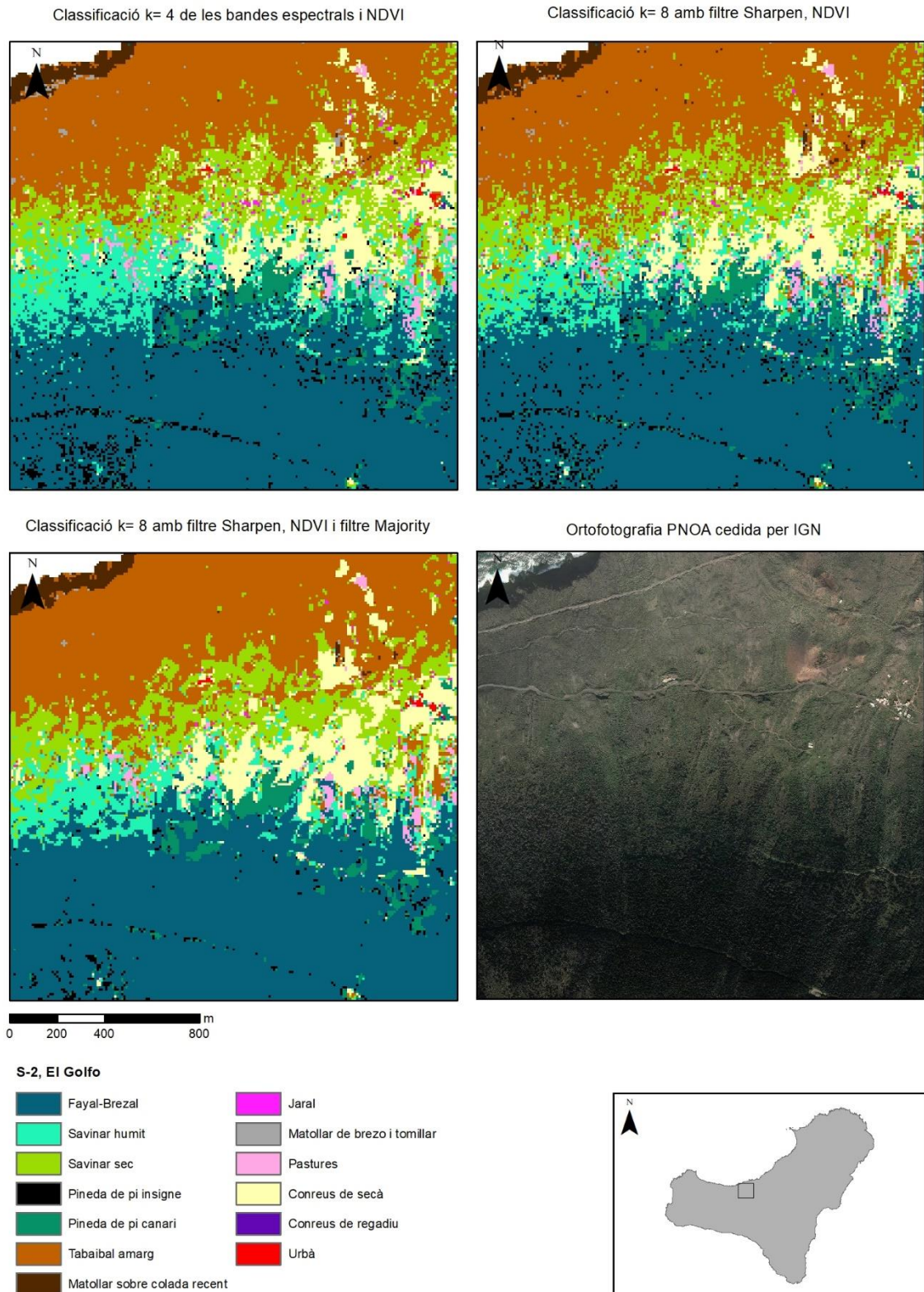


Figura 49. Ampliació del savinar humit a El Golfo.

6.2.3. Mapa de coberta de l'illa d'El Hierro amb GeoEye-1

S'han seleccionat quatre àrees de les dues imatges del GeoEye-1: La Dehesa, El Julan, la Villa de Valverde i El Golfo. Aquestes àrees són representatives de les comunitats vegetals identificades a les classificacions del SPOT-5 i del S-2. En primer lloc es presenten les matrius de confusió de les classificacions del GE-1 i després els mapes de les cobertes.

Taula 25. Matriu de confusió de la classificació de La Dehesa, on es troba savinar sec, *tabaibal amargo*, *jaral* i pastures. La primera (a) és de les bandes espectrals i l'NDVI sense el Model Digital d'Altures de la Cobertura Vegetal (MDACV) i la segona (b) és amb les bandes espectrals, l'NDVI i el MDACV. ECo = Error de comissió, EUs= Exactitud d'usuari, EOs= Error d'omissió, EPr= Exactitud de productor, EG = Encert global i IK= Índex Kappa.

a) k=8 veïns de les bandes espectrals i l'NDVI							
Dades classificades	3	6	8	10	Total	ECo(%)	EUs(%)
3. Savinar sec	7	3	2	0	12	41,7	58,3
6. <i>Tabaibal amargo</i>	3	7	2	1	13	46,2	53,9
8. <i>Jaral</i>	0	0	0	0	0	100,0	0,0
10. Pastures	0	0	1	14	15	6,7	93,3
Total	10	10	5	15	40		
EOs(%)	30,0	30,0	100,0	6,7		EG(%) =	70,0
EPr(%)	70,0	70,0	0,0	93,3		IK =	0,57

b) k=8 veïns de les bandes espectrals, l'NDVI i Model Digital d'Altura de la Cobertura Vegetal							
Dades classificades	3	6	8	10	Total	ECo(%)	EUs(%)
3. Savinar sec	8	0	1	0	9	11,1	88,9
6. <i>Tabaibal amargo</i>	2	8	2	2	14	42,9	57,1
8. <i>Jaral</i>	0	1	1	0	2	50,0	50,0
10. Pastures	0	1	1	13	15	13,3	86,7
Total	10	10	5	15	40		
EOs(%)	20,0	20,0	80,0	13,3		EG(%) =	75,0
EPr(%)	80,0	80,0	20,0	86,7		IK =	0,65

A La Dehesa, ubicat a l'extrem oest de l'illa, es troba el savinar de *Juniperus turbinata* típic (Del Arco *et al.*, 2006). Aquesta formació presenta una diferència en l'estructura de l'edat dels individus de savina pel mur construït els anys 1940 i 1950 (Salvà-Catarineu *et al.*, 2012). Visualment, les copes de savina vella i jove es diferencien clarament pel grau de maduresa d'aquesta comunitat vegetal (figura 51). S'identifica a diferents altures: el *jaral*, el *tabaibal amargo* i les pastures al voltant del savinar.

Les matrius de confusions (taula 25) s'han calculat per avaluar l'exactitud de les classificacions de La Dehesa. La primera taula correspon a la matriu de confusions de la classificació de les bandes espectrals i la banda del NDVI. L'exactitud d'aquesta classificació és del 70%. Les pastures és la classe representada amb un 94% d'exactitud d'usuari i de producció. El *jaral* classificat no coincideix amb les dades de veritat-terreny. La segona matriu és l'avaluació d'exactitud de la classificació de les bandes espectrals, el NDVI i el model digital d'altures de la vegetació. L'encert global és del 75%, un 5% més que la classificació sense model digital d'altures de la vegetació. L'exactitud d'usuari de les pastures descendeix un 8% i el del savinar sec augmenta un 30%. El *jaral* també millora un 50%. Per tant, afegir el model digital d'altures de la vegetació és una manera de precisar més la classificació.

Taula 26. Matriu de confusió de la classificació d'El Julan: la part del savinar junt al pi canari i el *tabaibal amargo*. La primera (a) és de les bandes espectrals, l'NDVI i Model Digital d'Altures de Cobertura Vegetal (MDACV), la segona (b) és classificació de les bandes espectrals i l'NDVI, la tercera classificació (c) de les bandes espectrals i el MDACV, la quarta classificació (d) de les bandes espectrals, l'NDVI, el MDACV, i a més el filtre de millora *Majority*, la cinquena (e) és la classificació de les bandes espectrals, el MDACV i el filtre de millora *Majority*. ECo = Error de comissió, EUs= Exactitud d'usuari, EOs= Error d'omissió, EPr= Exactitud de productor, EG = Encert global i IK= Índex Kappa.

a) k=8 veïns de les bandes espectrals, NDVI i Model Digital d'Altura de la Cobertura Vegetal								
Dades classificades	3	5	6	9	11	Total	ECo(%)	EUs(%)
3. Savinar sec	4	0	2	2	1	9	55,6	44,4
5. Pi canari	6	9	0	0	0	15	40,0	60,0
6. <i>Tabaibal amargo</i>	0	0	3	2	0	5	40,0	60,0
9. Matollar de brezo i tomillar	0	0	0	0	0	0	100,0	0,0
11. Conreus de secà	0	0	0	0	2	2	0,0	100,0
Total	10	9	5	4	3	31		
EOs(%)	60,0	0,0	40,0	100,0	33,3		EG(%) =	58,0
EPr(%)	40,0	100,0	60,0	0,0	66,7		IK =	0,48

b) k=8 veïns de les bandes espectrals i NDVI								
Dades classificades	3	5	6	9	11	Total	ECo(%)	EUs(%)
3. Savinar sec	5	0	2	2	0	9	44,4	55,6
5. Pi canari	5	9	0	0	0	14	35,7	64,3
6. <i>Tabaibal amargo</i>	0	0	3	0	0	3	0,0	100,0
9. Matollar de brezo i tomillar	0	0	0	2	0	2	0,0	100,0
11. Conreus de secà	0	0	0	0	3	3	0,0	100,0
Total	10	9	5	4	3	31		
EOs(%)	50,0	0,0	40,0	50,0	0,0		EG(%) =	71,0
EPr(%)	50,0	100,0	60,0	50,0	100,0		IK =	0,61

c) k=8 veïns de les bandes espectrals i Model Digital d'Altura de la Cobertura Vegetal								
Dades classificades	3	5	6	9	11	Total	ECo(%)	EUs(%)
3. Savinar sec	4	0	0	1	1	6	33,3	66,7
5. Pi canari	6	9	0	0	0	15	40,0	60,0
6. <i>Tabaibal amargo</i>	0	0	4	2	0	6	33,3	66,7
9. Matollar de brezo i tomillar	0	0	0	1	0	1	0,0	100,0
11. Conreus de secà	0	0	1	0	2	3	33,3	66,7
Total	10	9	5	4	3	31		
EOs(%)	60,0	0,0	20,0	75,0	33,33		EG(%) =	65,0
EPr(%)	40,0	100,0	80,0	25,0	66,67		IK =	0,53

d) k=8 veïns de les bandes espectrals, NDVI, Model Digital d'Altura de la Cobertura Vegetal i filtre Majority								
Dades classificades	3	5	6	9	11	Total	ECo(%)	EUs(%)
3. Savinar sec	3	0	2	3	0	8	62,5	37,5
5. Pi canari	7	9	0	0	0	16	43,8	56,3
6. <i>Tabaibal amargo</i>	0	0	3	1	0	4	25,0	75,0
9. Matollar de brezo i tomillar	0	0	0	0	0	0	100,0	0,0
11. Conreus de secà	0	0	0	0	3	3	0,0	100,0
Total	10	9	5	4	3	31		
EOs(%)	70,0	0,0	40,0	100,0	0,0		EG(%) =	58,0
EPr(%)	30,0	100,0	60,0	0,0	100,0		IK =	0,43

e) k=8 veïns de les bandes espectrals, Model Digital d'Altura de la Cobertura Vegetal i filtre Majority								
Dades classificades	3	5	6	9	11	Total	ECo(%)	EUs(%)
3. Savinar sec	4	0	3	2	0	9	55,6	44,4
5. Pi canari	6	9	0	0	0	15	40,0	60,0
6. <i>Tabaibal amargo</i>	0	0	2	1	0	3	33,3	66,7
9. Matollar de brezo i tomillar	0	0	0	1	0	1	0,0	100,0
11. Conreus de secà	0	0	0	0	3	3	0,0	100,0
Total	10	9	5	4	3	31		
EOs(%)	60,0	0,0	60,0	75,0	0,0		EG(%) =	61,0
EPr(%)	40,0	100,0	40,0	25,0	100,0		IK =	0,47

El Julan és a la part sud de l'illa amb el savinar *Juniperus turbinata* típic amb pins canaris. Aquesta part meridional de l'illa correspon al pis infra i termomediterrani sec inferior. També, aquesta àrea és ocupada pel *tabaibal amargo*, pel matollar de *brezo* i *tomillar* i conreus de secà (Del Arco *et al.*, 2006). La taula 26 presenta un conjunt de cinc matrius de confusions que avaluen l'exactitud de les classificacions de les diferents bandes. La primera matriu fa referència a la classificació de les bandes espectrals, al NDVI i al model digital d'altura de la vegetació. L'encert global d'aquesta classificació és del 58%. La segona matriu correspon a la classificació de les bandes espectrals i el NDVI. L'encert global augmenta respecte a la primera fins al 71%. La tercera matriu és de la classificació de les bandes espectrals i del model digital d'altures de la vegetació que l'encert global disminueix respecte la segona classificació fins al 65%. La quarta classificació (taula 26d) és de les bandes espectrals, l'NDVI i el model digital d'altures de la coberta vegetal i la cinquena (taula 26e) classificació és de les bandes espectrals i el model digital d'altures de la cobertura de la vegetació, tant la quarta com la cinquena se'ls hi aplica el filtre de millora *Majority* perquè són les dues classificacions del GE-1 d'El Julan amb l'encert global més alt. La quarta matriu mostra el 58% d'encert global igual que la primera, tanmateix, l'anàlisi visual mostra una disminució de l'efecte sal i pebre (figura 52). La cinquena matriu fa referència a la tercera classificació millorada, l'encert global disminueix un quatre per cent (61%), respecte a la classificació sense filtre de millora. El filtre de millora *Majority* ha disminuït l'exactitud global i indica que ha reduït el nombre de cel·les ben classificades. Aquest fet no s'ha registrat en les classificacions del S-2, que són de 10 metres de costat de cel·la, mentre que el GE-1 és de 2 metres, han augmentat els errors.

L'anàlisi estadística entre les cinc classificacions presentades no tenen diferències estadísticament significatives ($p=0,08$ i $p=0,21$). El savinar sec té una exactitud del 67% (taula 26c) quan es té en compte el model digital d'altures de la cobertura vegetal. L'error de producció del savinar sec més alt, correspon al 50% de la classificació de les bandes espectrals i del NDVI. Tanmateix, les exactituds són lleugerament més baixes que els valors dels estudis de referència com el d' Everitt *et al.* (2007) que presenta 92,9% d'exactitud d'usuari i 100% d'exactitud de producció de la classificació *Juniperus ashe* al centre de Texas. La classificació d'imatge aèria del *Juniperus occidentalis* a l'altiplà de Owyhee a Oregon (EUA) té l'exactitud d'usuari del 79% i l'exactitud de producció del 76,3% (Smith *et al.*, 2008). Els errors de comissió del pi canari són al voltant del 60% per a totes les classificacions mentre que els errors de producció són del 100%. El *tabaibal amargo* presenta una exactitud d'usuari entre el 66 i el 100% a la segona classificació (taula 26b), aquella que classifica les bandes espectrals i l'NDVI. El matollar de *brezo* i *tomillar* és una classe d'extensió reduïda, no arriba al 2% d'ocupació, segons el mapa de vegetació del Del Arco *et al.* (2006), envoltat del savinar sec i el *tabaibal amargo*, per aquest motiu depèn de les bandes utilitzades queda representat, o pel contrari, queda omès. Les classificacions que s'han tingut en compte l'NDVI són més exactes en els conreus de secà (100%), que la tercera classificació, que únicament classifica les bandes espectrals i el model digital d'altures de la cobertura vegetal (67%).

Taula 27. Matriu de confusió de la classificació de la Villa de Valverde La primera (a) és amb les bandes espectrals, l'NDVI i sense el Model Digital d'Altures de la Cobertura Vegetal (MDACV) i la segona (b) és de les bandes espectrals, l'NDVI i sense MDACV. ECo = Error de comissió, EUs= Exactitud d'usuari, EOs= Error d'omissió, EPr= Exactitud de productor, EG = Encert global i IK= Índex Kappa.

a) k=8 veïns de les bandes espectrals i l'NDVI							
Dades classificades	1	10	11	13	Total	ECo(%)	EUs(%)
1. <i>Fayal-brezal</i>	16	1	1	1	19	15,8	84,2
10. Pastures	1	8	2	0	11	27,3	72,7
11. Conreus de secà	3	10	10	0	23	56,5	43,5
13. Urbà	2	0	0	5	7	28,6	71,4
Total	22	19	13	6	60		
EOs(%)	27,3	57,9	23,1	16,7		EG(%) =	65,0
EPr(%)	72,7	42,1	76,9	83,3		IK =	0,52

b) k=8 veïns de les bandes espectrals, l'NDVI i Model Digital d'Altura de la Cobertura Vegetal							
Dades classificades	1	10	11	13	Total	ECo(%)	EUs(%)
1. <i>Fayal-brezal</i>	18	1	2	0	21	14,3	85,7
10. Pastures	2	6	2	0	10	40,0	60,0
11. Conreus de secà	1	12	9	1	23	60,9	39,1
13. Urbà	1	0	0	5	6	16,7	83,3
Total	22	19	13	6	60		
EOs(%)	18,2	68,4	30,8	16,7		EG(%) =	61,0
EPr(%)	81,8	31,6	69,2	83,3		IK =	0,49

La Villa de Valverde ubicada a la part est de l'illa. Aquesta àrea seleccionada està composta per una extensió urbana envoltada per conreus de secà i pastures i a l'interior per boscos de *fayal-brezal*.

La primera matriu de confusions (taula 27) correspon a l'avaluació d'exactitud de la classificació de les bandes espectrals, l'NDVI i sense el model digital d'altures de la coberta vegetal (MDACV). La segona matriu de confusions avalua la classificació de les bandes espectrals, l'NDVI i MDACV. L'encert de la primera classificació és de 65% mentre que la segona classificació mostra un encert del 61%. La primera matriu per a la mateixa classe els valors, descendeixen lleugerament. En les dues classificacions, hi ha cel·les que són pastures designades erròniament com a conreus de secà, les exactituds de producció són del 32% i 42% respectivament per a cada classificació, és a dir, les pastures s'ometen fins al 70%. El MDACV no ha millorat l'error d'omissió de les pastures obtingut de la classificació de les bandes espectrals i de l'NDVI. Els conreus de secà i les pastures són dues classes molt properes. La classificació de les bandes espectrals, de l'NDVI i del model digital d'altures de la coberta vegetal confon la classe urbana amb el *fayal-brezal*. Els individus del *fayal-brezal* (to verd fosc) són propers a l'urbà. La segona matriu mostra la classe del *fayal-brezal* té una exactitud d'usuari del 86% i una exactitud de producció del 82%. La comissió d'aquesta classe és en detriment de les pastures mentre que s'omet per l'urbà (figura 50). Finalment, la classe d'urbà supera el 80% d'exactitud d'usuari i de producció, força similar a les dues classificacions.

Les diferències entre les dues classificacions no són estadísticament significatives ($p=0,44$ i $p=0,31$), per tant, afegir el model digital d'altures de la vegetació en el cas de la Vila de Valverde, no suposa una millora significativa.



Figura 50. La Villa de Valverde.

Taula 28. Matriu de confusions d'El Golfo, on s'identifica el savinar humit. La primera (a) és de les bandes espectrals, l'NDVI i sense model digital d'altures de la cobertura vegetal (MDACV) i la segona (b) és amb el MDACV. ECo = Error de comissió, EUs= Exactitud d'usuari, EOs= Error d'omissió, EPr= Exactitud de productor, EG = Encert global i IK= Índex Kappa.

a) k=8 veïns de les bandes espectrals i l'NDVI							
Dades classificades	1	2	6	11	Total	ECo(%)	EUs(%)
1. <i>Fayal-brezal</i>	8	1	0	0	9	11,1	88,9
2. <i>Savinar humit</i>	0	2	5	1	8	75,0	25,0
6. <i>Tabaibal amargo</i>	0	0	5	1	6	16,7	83,3
11. <i>Conreus de secà</i>	0	0	1	0	1	100,0	0,0
Total	8	3	11	2	24		
EOs(%)	0,0	33,3	54,6	100,0		EG(%) =	62,5
EPr(%)	100,0	66,7	45,5	0,0		IK =	0,48

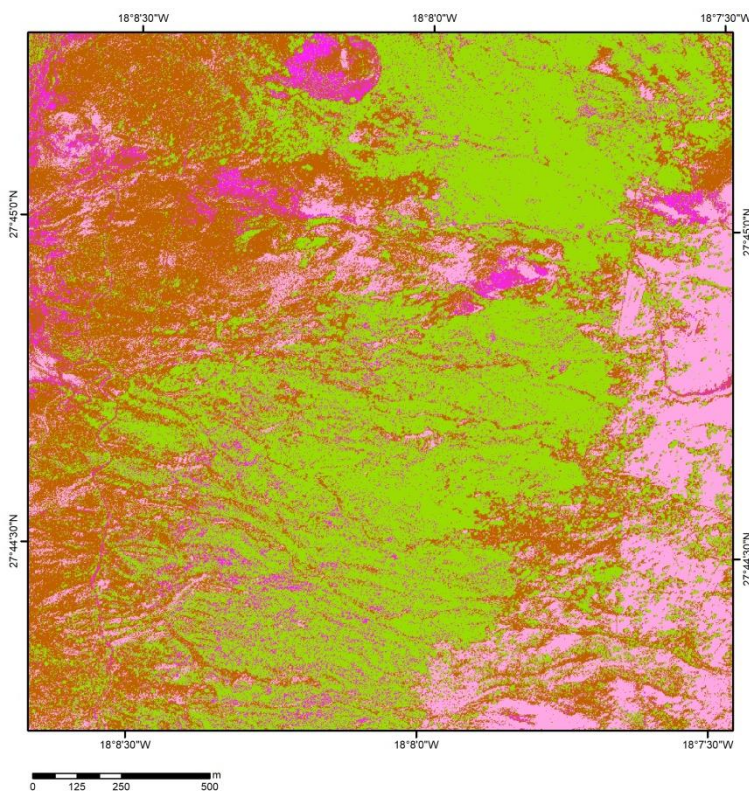
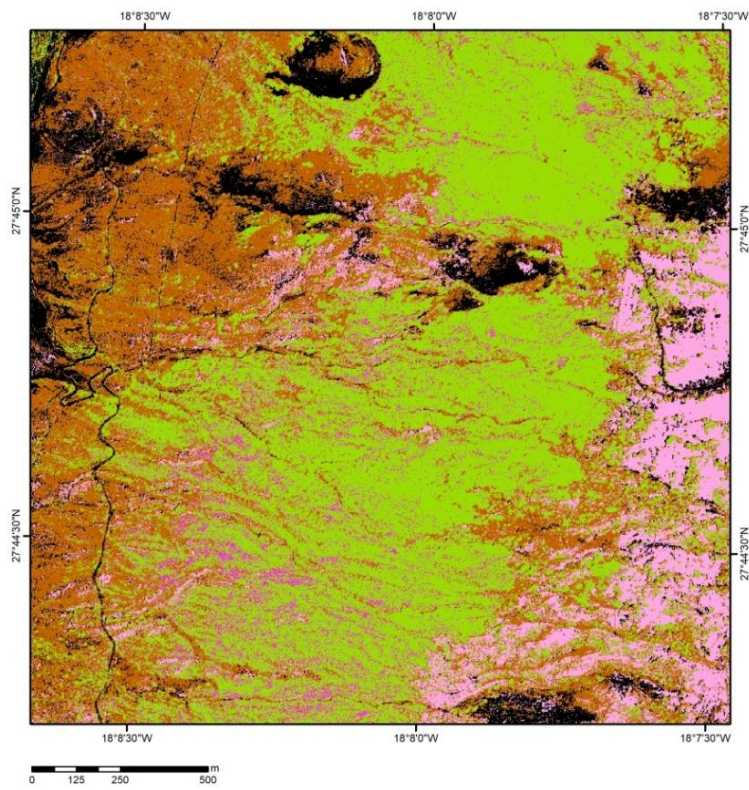
b) k=8 veïns de les bandes espectrals, l'NDVI i Model Digital d'Altura de la Cobertura Vegetal							
Dades classificades	1	2	6	11	Total	ECo(%)	EUs(%)
1. <i>Fayal-brezal</i>	6	1	0	0	7	14,3	85,7
2. <i>Savinar humit</i>	2	2	4	1	9	77,8	22,2
6. <i>Tabaibal amargo</i>	0	0	5	1	6	16,7	83,3
11. <i>Conreus de secà</i>	0	0	2	0	2	100,0	0,0
Total	8	3	11	2	24		
EOs(%)	25,0	33,3	54,6	100,0		EG(%) =	54,2
EPr(%)	75,0	66,7	45,5	0,0		IK =	0,38

La zona d'El Golfo es troba el bosc de savina humida *Juniperus turbinata*. Les copes de les savines d'aquest indret es confonen des de la imatge amb les copes del *fayal-brezal*. Tot i que es troben a altures diferents, l'anàlisi visual es complica per la seva semblança de tons entre el bruc.

La primera matriu de confusió (taula 28) avalua la classificació de les bandes espectrals, l'NDVI i el model digital d'altures de la cobertura vegetal i l'encert global és del 62,5%. La segona matriu avalua la classificació de les bandes espectrals i l'NDVI, model digital d'altures de la cobertura vegetal i l'encert global descendeix fins a 54,17%. El *fayal-brezal* i el *tabaibal amargo* tenen una exactitud d'usuari que supera el 80%, mentre que el savinar humit és al voltant del 20% i els conreus de secà no han arribat a representar-se perquè és una zona reduïda de l'1% de superfície d'aquesta àrea d'El Golfo. En el cas del savinar humit s'ha sobreestimat en detriment del *tabaibal amargo* i del *fayal-brezal*. El model digital d'altures de la coberta vegetal no ha augmentat l'exactitud del savinar humit, tot i que, la *tabaiba amarga* i la savina humida són d'altures diferents.

El *fayal-brezal* presenta una exactitud de producció superior al 70%, sense el model digital d'altures és del 100%. La resta de comunitats vegetals no superen el 67%. El savinar humit perd superfície a favor del *fayal-brezal* per la seva distribució espacial explicada anteriorment. El mateix succeeix al *tabaibal amargo* que perd representació pel savinar humit.

La classificació d'una imatge de molt alta resolució facilita la identificació d'aquestes comunitats, inclús a nivell d'individu, sobretot pel que fa al *fayal-brezal*. Els conreus de secà han resultat un problema d'identificació perquè és una zona etiquetada per la cartografia de referència com a conreus, però a les dates d'adquisició de la imatge del GE-1, són terres abandonades. A més, les àrees d'entrenament del classificador eren el màxim d'acurades respecte a la complexitat de l'estructura del bosc, cosa que complica la delimitació de les dues comunitats.



GE-1, La Dehesa



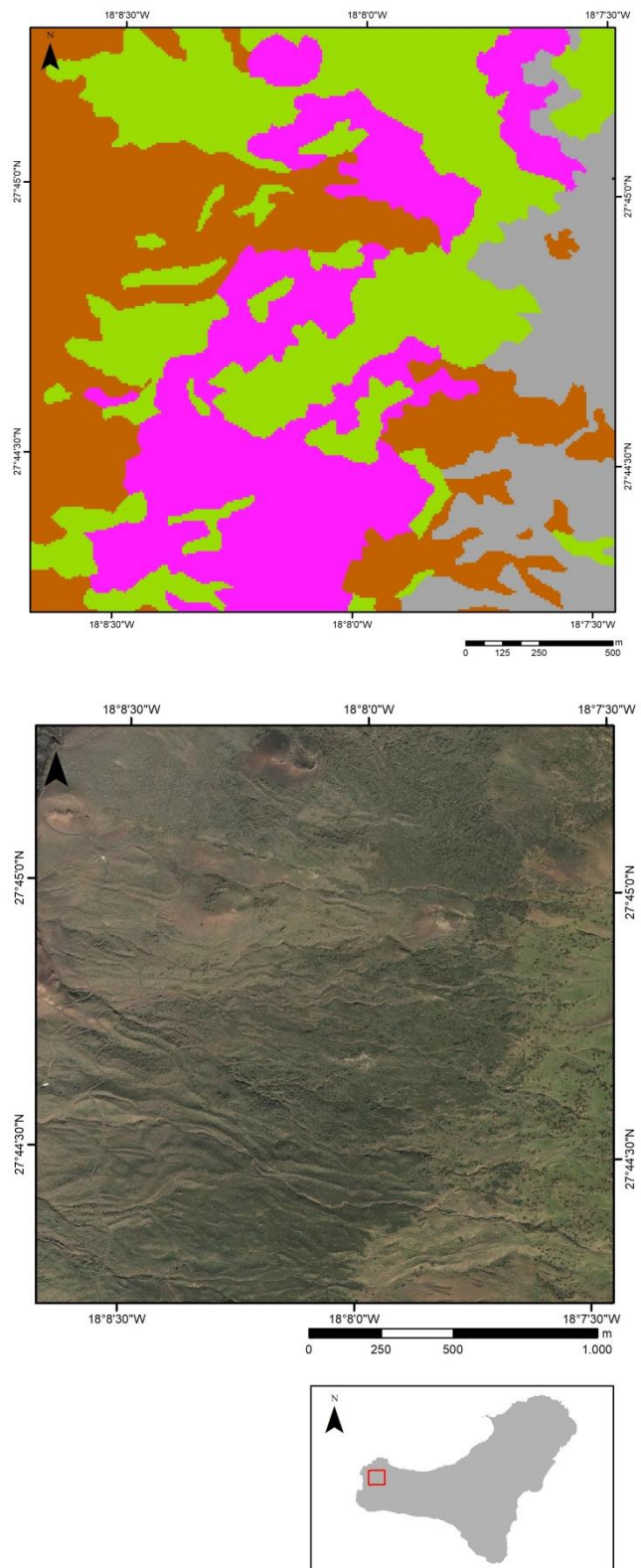
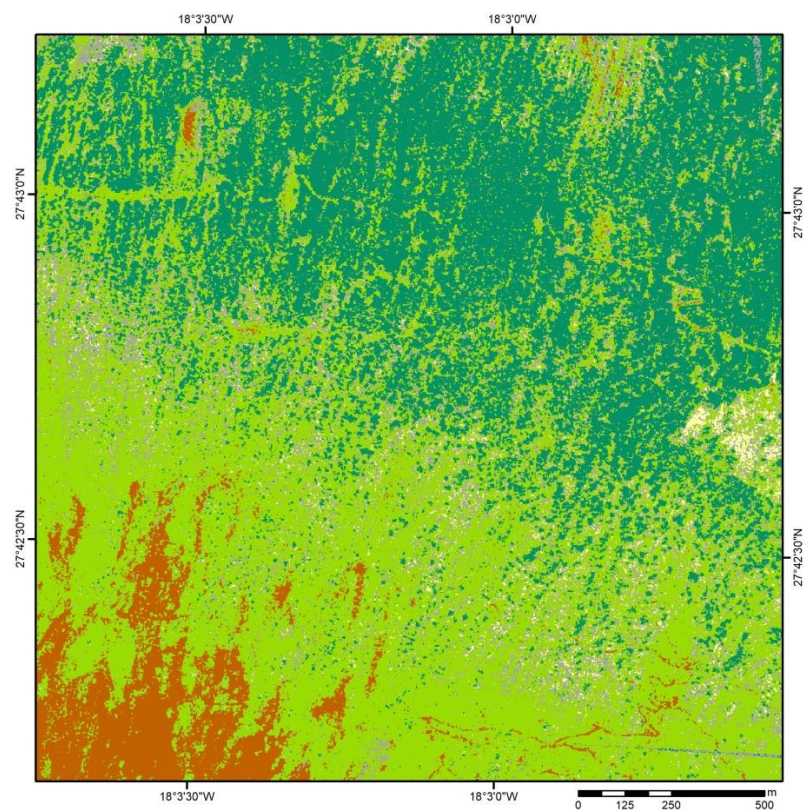
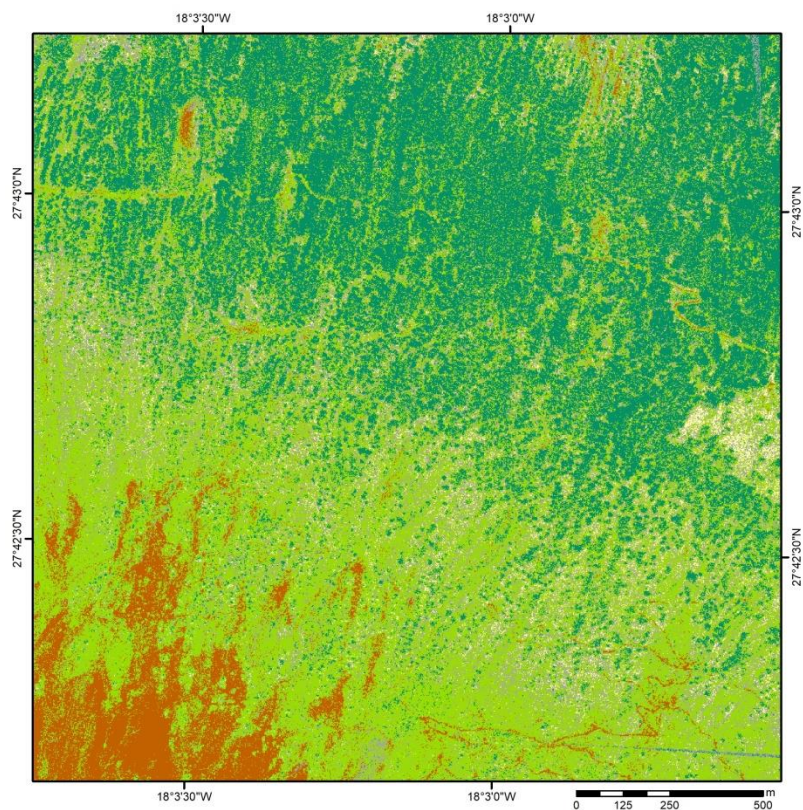





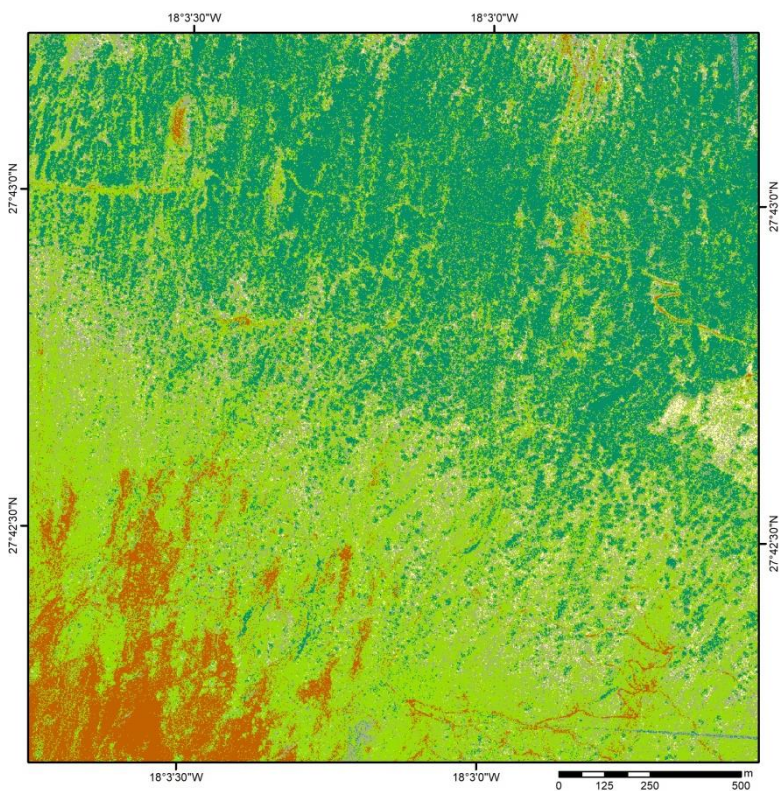
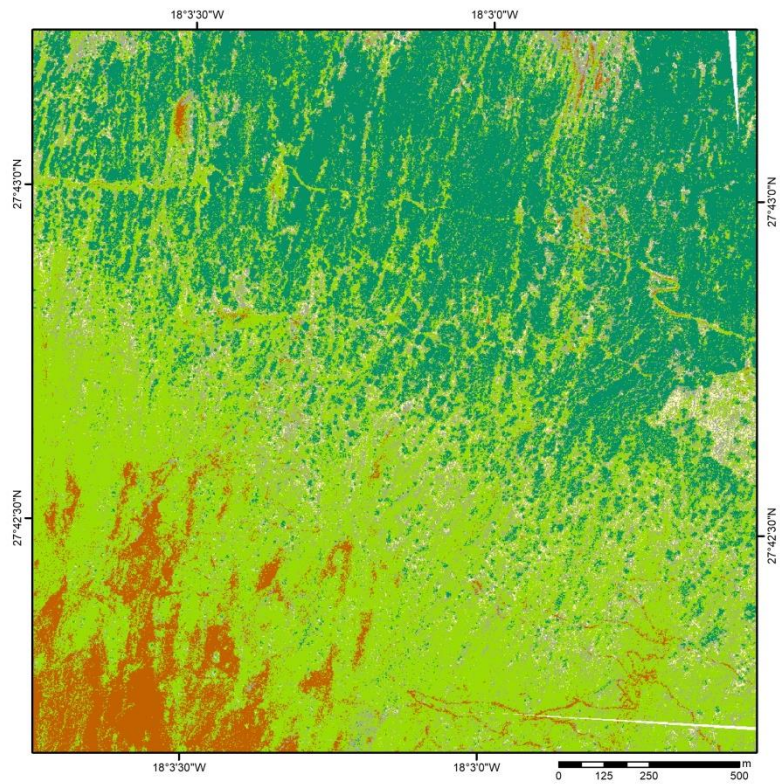


Figura 51. Zona de la Dehesa a l'extrem oest de l'illa d'El Hierro. Aquesta àrea es destaca pel savinar, el *jaral*, el *tabaibal amargo* i les pastures amb conreus intensius.

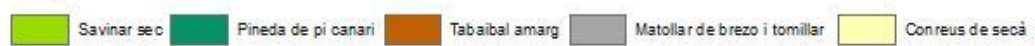


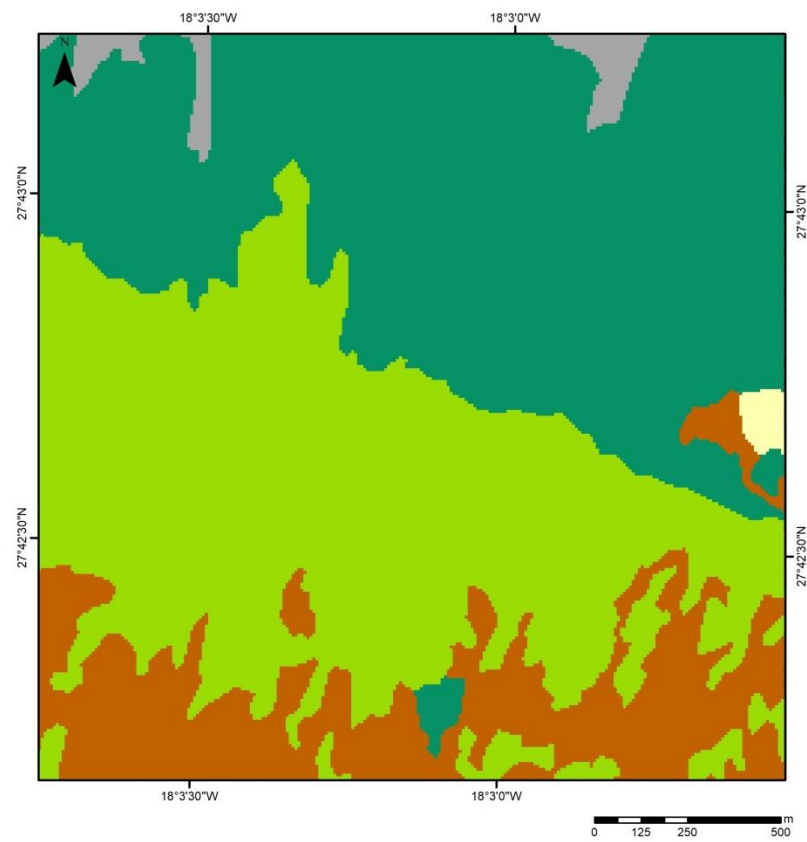
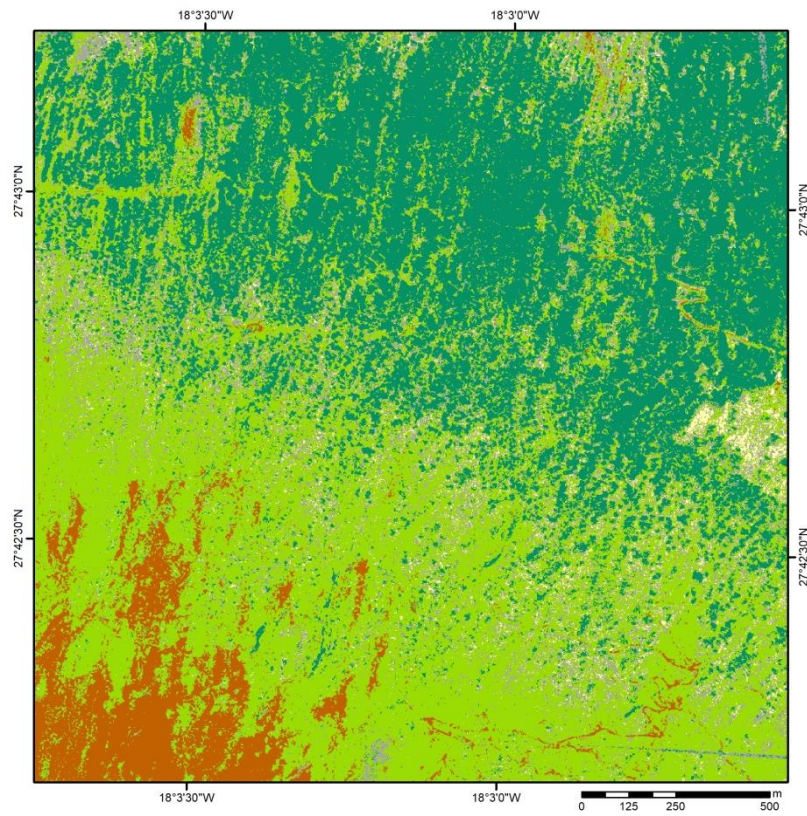
GE-1, El Julan

-  Savinar sec
-  Pineda de pi canari
-  Tabaibal amarg
-  Matolla de brezo i tomillar
-  Conreus de seca

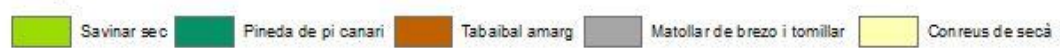


GE-1, El Julan





GE-1, El Julan



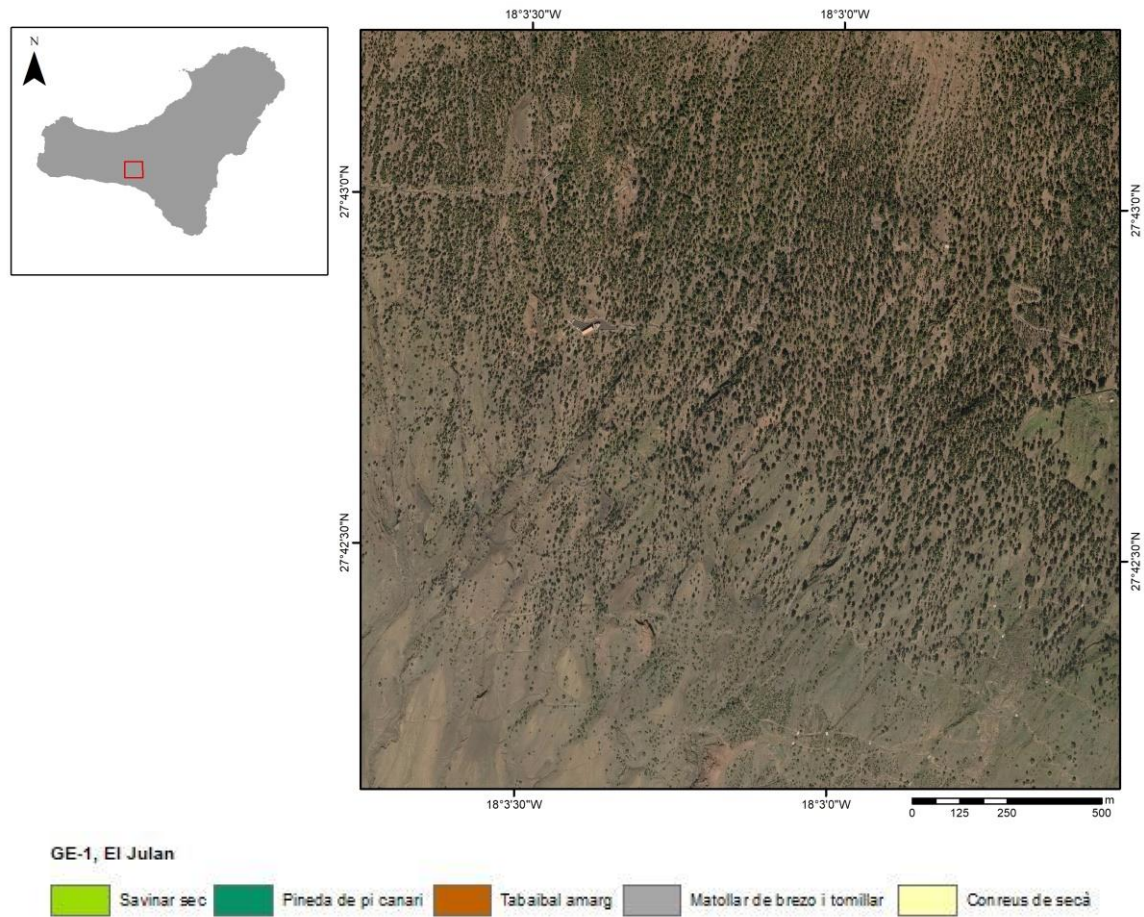
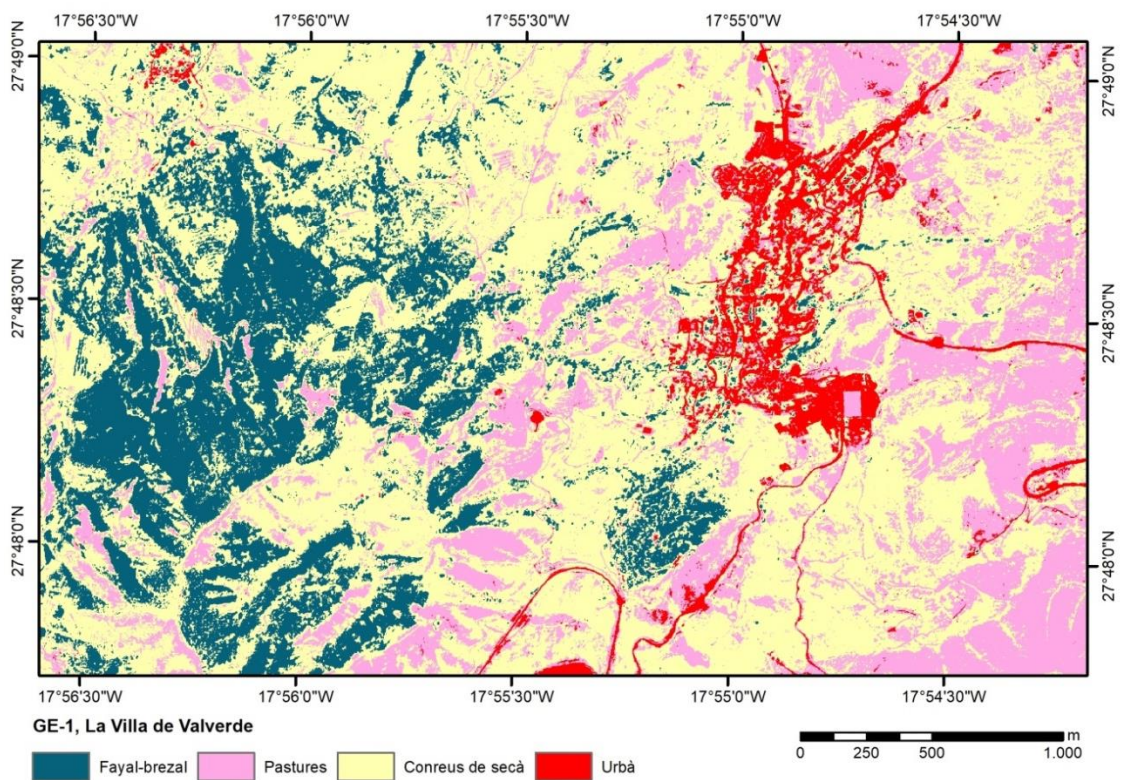
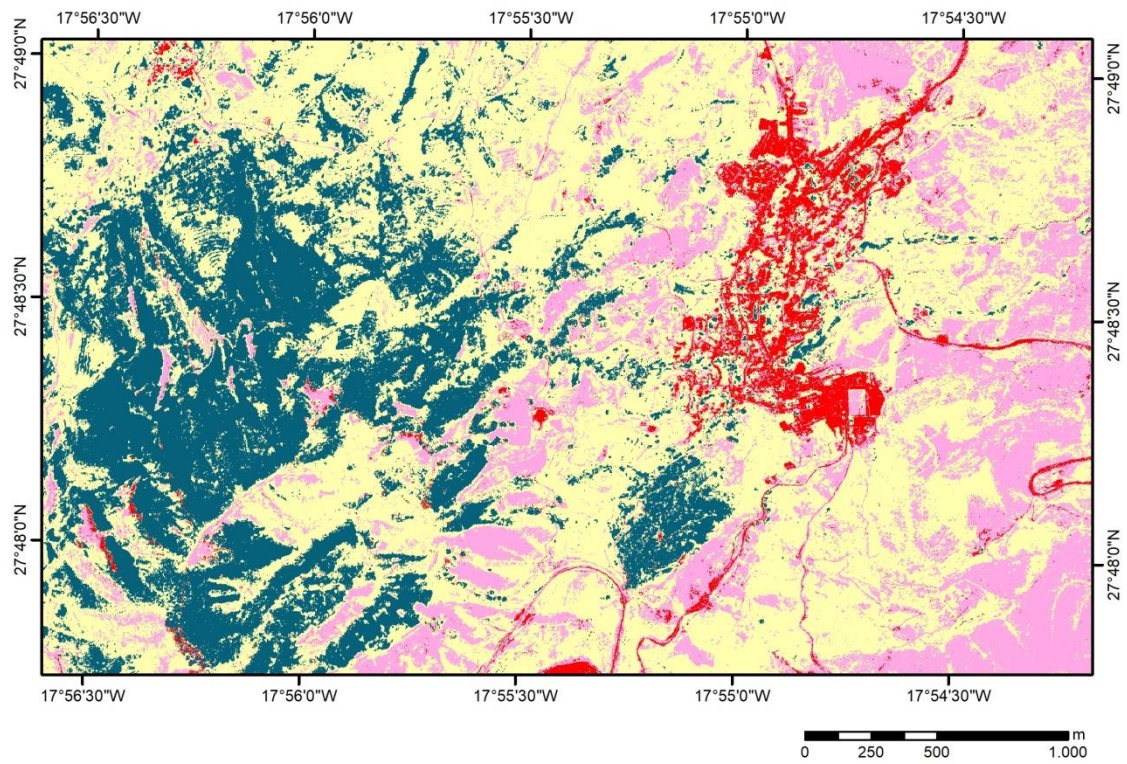


Figura 52. Comparativa entre les classificacions del GE-1 a El Julan. La primera és la classificació de les bandes espectrals, de l'índex de vegetació NDVI i el model digital d'altures de la cobertura vegetal (MDACV), la segona és la de les bandes espectrals i l'NDVI, la tercera és la de les bandes espectrals i el MDACV, la quarta és la de les bandes espectrals, l'NDVI, el MDACV i a més, el filtre *Majority* i la cinquena és el la de les bandes espectrals, el MDACV i el filtre *Majority*. El sisè és el mapa de vegetació del Del Arco *et al.* (2006). Per últim és l'ortofotografia del PNOA cedida de l'*Instituto Geográfico Nacional*.



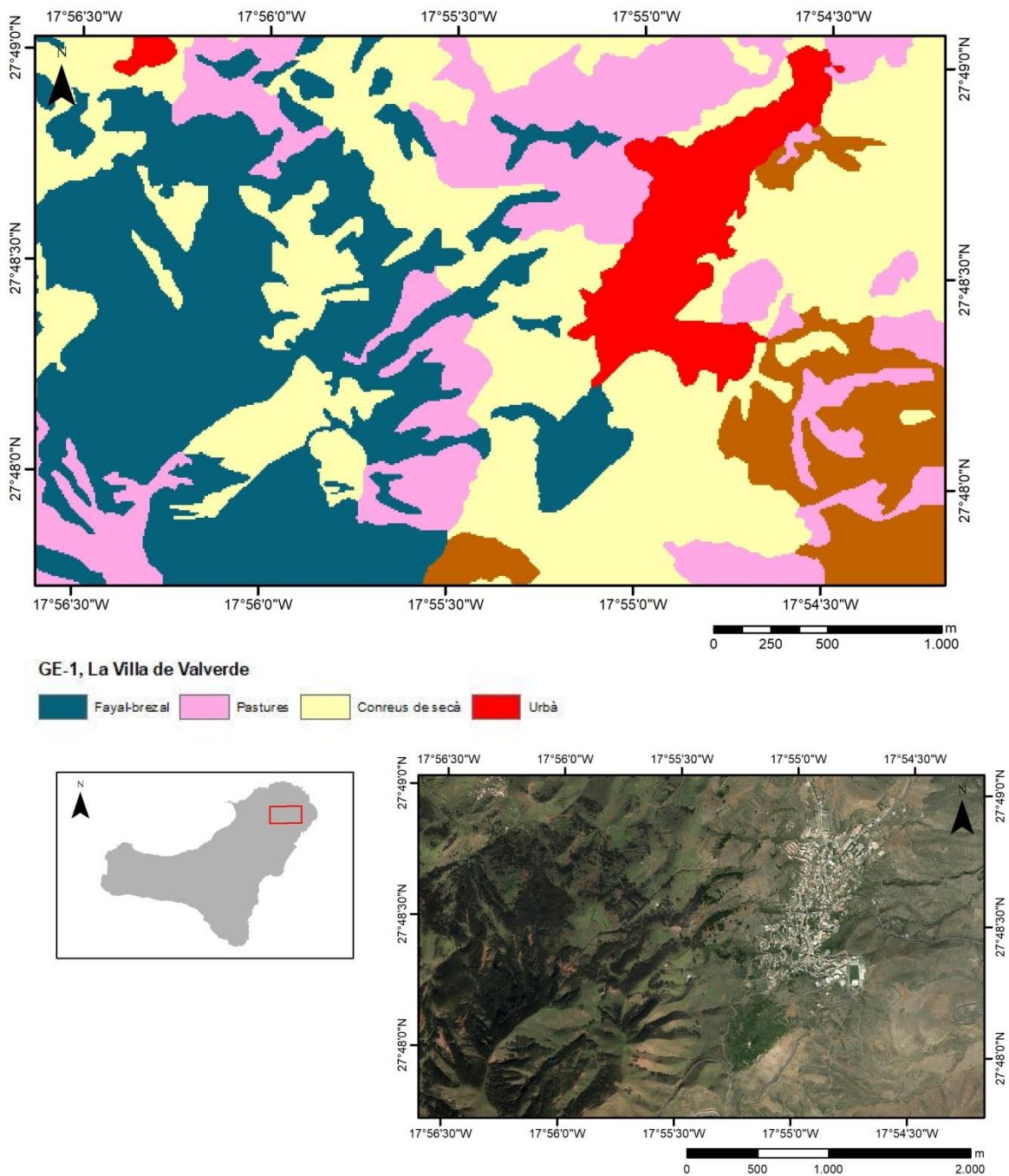
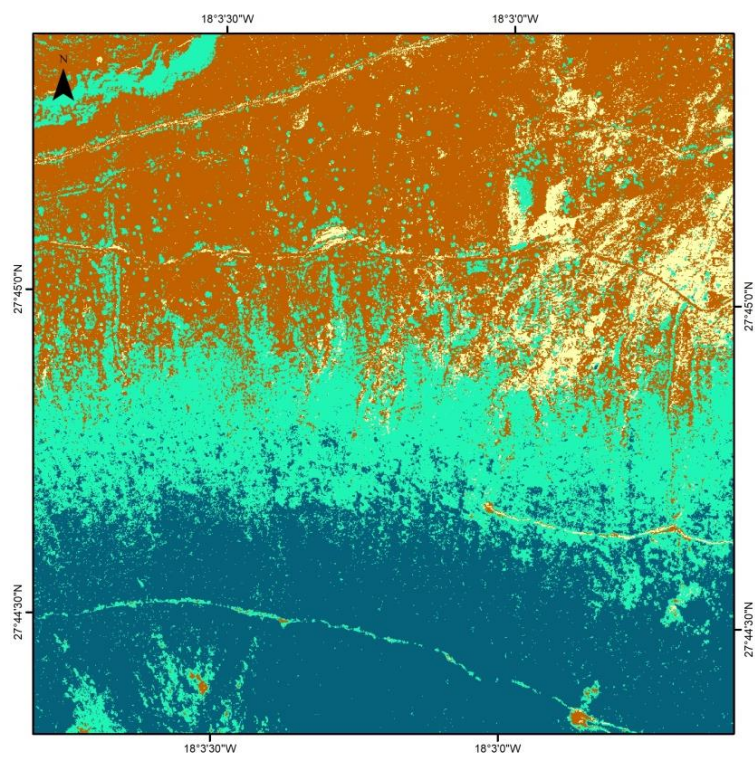
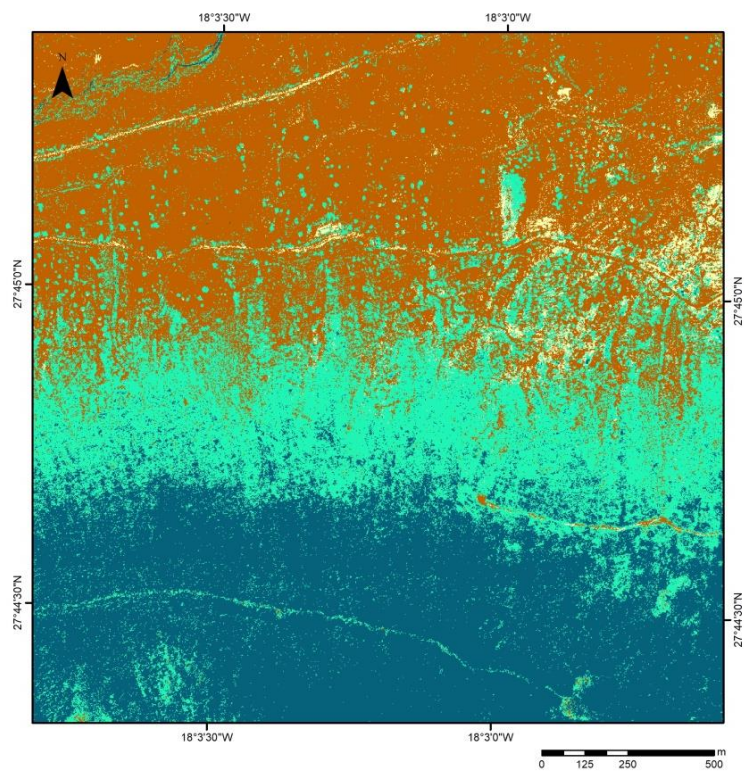


Figura 53. La primera és la classificació kNN per $k=8$ de les bandes espectral del GE-1, l'índex de vegetació NDVI i el Model Digital de l'Altura de la Cobertura Vegetal (MDACV). La segona és classificació kNN per $k=8$ de les bandes espectral del GE-1 i l'índex de vegetació NDVI, sense el Model Digital de l'Altura de la Cobertura Vegetal (MDACV). El tercer és el mapa del Del Arco *et al.* (2006). Per últim és l'ortofotografia cedida per l'*Instituto Geográfico Nacional*.



GE-1, La Dehesa



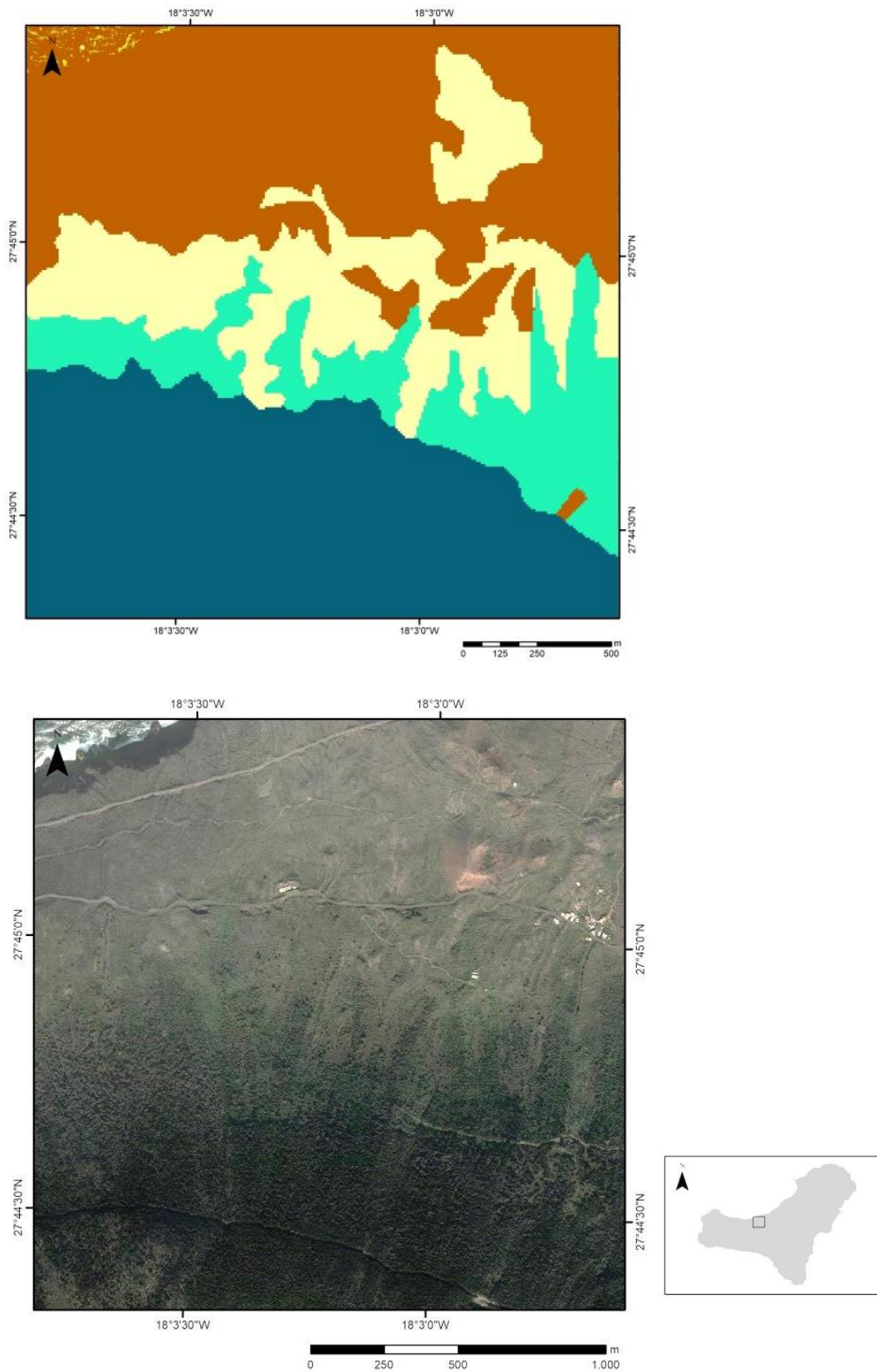


Figura 54. Classificacions de la part d'El Golfo. La primera classificació és de les bandes espectrals, l'NDVI i el MDACV, la segona és la classificació de les bandes espectrals i l'NDVI, la tercera és el mapa de vegetació del Del Arco *et al.* (2006) i l'últim és el PNOA cedit per © l'Institut Geogràfic Nacional.

6.3. Les mètriques del paisatge de l'illa d'El Hierro

Aquest apartat mostra les taules de les mètriques del paisatge del conjunt de classificacions que s'han presentat a l'apartat 6.2. S'ha dividit en dos subapartats: el primer es dedica a la cartografia de l'illa sencera de les classificacions del S-2 i de l'SPOT-5. El segon se centra en les classificacions del S-2 i del GE-1 d'àrees de mostreig de l'illa.

Les classificacions del S-2 s'han calculat per $k=2$, $k=4$ i $k=8$ veïns. A més, s'ha provat l'efecte del filtre de millora *Sharpen* i *Majority* i l'NDVI. D'una altra banda, les classificacions GE-1 s'han calculat amb el model digital de vegetació. Les mètriques del paisatge han quantificat la influència d'aquestes variables a les classificacions.

6.3.1. Diferències entre les mètriques de les classificacions del S-2 i de l'SPOT-5

Les mètriques de paisatge s'han calculat per quantificar les diferències entre les classificacions del S-2 i l'SPOT-5 per a tota l'illa. Les classificacions de S-2 i l'SPOT-5 són de 10 m de resolució espacial. Tanmateix, la resolució espectral és diferent, com ja s'havia dit anteriorment, la banda del blau és absent a l'SPOT-5, però disposa de la banda SWIR. A diferència de l'SPOT-5, el S-2 disposa de tres bandes addicionals: vermell, dues NIR i dues SWIR.

La taula 29 mostra la composició del paisatge a partir de les diferències del nombre, forma i grandària dels fragments entre les classificacions del S-2 i de l'SPOT-5. El total de la superfície analitzada és de 268 km², que correspon a la superfície total de l'illa. Les mètriques de cada classificació s'han relacionat amb el seu encert global. La classificació per $k=2$ veïns de les bandes espectrals, l'NDVI i el filtre *majority* té un encert global de 83,1%, i el nombre de fragments és de 72.093. D'aquests el més gran ocupa el 24% i té una densitat de marge de 473,6 m/ha. En canvi, la classificació per $k=2$ veïns de les bandes espectrals i l'NDVI té un encert global de 82,8%, el nombre de fragments és de 126.157 i el fragment més gran ocupa el 22% amb una densitat de marge de 315,1 m/ha (la classificació amb el registre de marge més baix). L'índex del fragment més gran és inferior per aquelles classificacions sense filtre *majority* que a les classificacions amb aquest filtre. Totes dues classificacions mostren una diversitat (índex de Shannon) proper al 2%, per tant, la distribució proporcional de les classes per tota l'illa és similar. La classificació per $k=4$ veïns de les bandes espectrals i l'NDVI es compon per més fragments que les dues classificacions anteriors (146.879), el més gran ocupa el 21%. Aquest resultat més fragmentat, fa que les classes siguin més pròximes entre elles, s'escurcen les distàncies entre els fragments de la mateixa classe. Les quatre classificacions per $k=8$ veïns mostren una tendència irregular amb el nombre de fragments, encara que la tercera amb el millor encert és de la classificació per $k=8$ veïns, de les bandes espectrals amb filtres *Sharpen*, l'NDVI i el filtre *majority*, amb 81,2%. La classificació de les bandes espectrals dona 104.077 fragments, quan s'afegeix l'NDVI passa a 172.384 amb 581,9 m/ha de marge (la que més densitat de marge té). Si a les bandes se'ls hi aplica el filtre de convolució *Sharpen*, el nombre de fragments és de 174.041, però si s'utilitza el filtre de millora *majority* a posteriori, es redueixen a 99.960. El nombre de fragments influeix a les altres mètriques; el paisatge amb un elevat nombre de fragments produeix un índex del fragment dominant, l'interior del fragment és més petit, el marge augmenta i els fragments són més pròxims entre ells.

L'altre paràmetre destacable és la dimensió fractal del perímetre-àrea (PAFRAC) que, mesura la geometria de les classes que componen el paisatge. Els valors propers a 2, en l'àmbit de l'ecologia del paisatge, indiquen que la classe té formes irregulars i complexes que van més enllà d'un quadrat o un cercle (McGarigal i Marks, 1995). Les formes de les classes del conjunt de classificacions del S-2 i de l'SPOT-5 són similars, segons l'índex PAFRAC indica de 1,3 i 1,5.

La generalització produïda pel filtre *majority* ha modificat la forma dels fragments perquè es redueixen lleugerament (un decimal) respecte a la classificació de les mateixes bandes sense el filtre.

En general, els resultats de la taula 29 mostren que l'augment de taques dibuixa un patró paisatgístic fragmentat. A l'àrea d'interior de les classes es redueixen i augmenta la densitat de marge, és a dir, creixen aquelles zones on són més probables que les classificacions tinguin més errors. A més, els valors alts de la densitat de marge es deriven de paisatges fragmentats i per una resolució grollera de la imatge que s'ha classificat. Tot i que, aquesta darrera opció no és viable en els casos del S-2 i SPOT 5 perquè tots dos són d'alta resolució (McGarigal i Marks, 1995).

Les diferències entre les classificacions del S-2 i l'SPOT-5 no són estadísticament significatives ($p = 0,40$) però el paisatge definit per l'SPOT-5 és menys fragmentat i la densitat dels marges dels fragments és més petita. Per tant, la resolució espectral i l'ús de l'NDVI podria ser un dels motius d'aquesta representació del paisatge més fragmentat de les classificacions del S-2. El nombre de fragments és superior a les classificacions del S-2 que les de l'SPOT-5 (565) i augmenta l'efecte de *sal i pebre*. El filtre de millora *Majority* aplicat a la classificació de l'SPOT-5 pot ser un dels factors que influeixi a la disminució de la fragmentació. El filtre ha produït un efecte de generalització en el paisatge, de manera que, les classes són d'una extensió més gran que a la realitat (McAlpine *et al.*, 2002). Per tant, les classificacions S-2 són més fragmentades que no pas la de l'SPOT-5. Tanmateix, les classificacions del S-2 tenen fragments que ocupen més del 20%, mentre que l'SPOT-5 és de 14,4 %. El filtre de millora *majority* tendeix a definir fragments més grans, tot i que, a la taula 29 no sempre es dibuixa aquesta tendència.

Taula 29. Comparativa de mètriques de fragmentació i *core-edge* del S-2 i l'SPOT-5.

	S-2							SPOT-5
	k = 2		k = 4	k = 8				
	1. S/S M	2. M	3. S/S M	4. BE	5. BE+NDVI	6. S	7. S+M	
TA	268	268	268	268	268	268	268	268
NP	126.157	72.093	146.879	104.777	172.384	174.041	99.960	565
LPI	22,5	24,0	21,0	23,3	17,7	25,2	27,2	14,4
ED	473,6	315,1	522,5	435,8	581,9	558,7	365,9	56,9
PAFRAC	1,5	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,3
TCA	432,4	1.606,7	342,4	396,5	252,9	263,8	1.392,5	13.881,3
PROX_MN	4.187,2	3.090,4	3.823,1	4.426,6	3.392,4	5.678,0	4.313,2	6.468,1
PRD	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
SHDI	2,01	1,96	2,05	2,02	2,11	1,99	1,94	2,04

6.3.2. Diferències entre les mètriques de paisatge de les classificacions del S-2 i GE-1

Aquests dos satèl·lits: S-2 i GE-1 es diferencien per la resolució espacial i espectral. El S-2 és de 10 metres i s'han utilitzat 8 bandes espectrals per a les classificacions mentre que GE-1 és de 2 metres de resolució i consta de quatre bandes espectrals (blau, verd, vermell i infraroig proper). Les mètriques quantifiquen el patró paisatgístic de les classificacions del S-2 i GE-1, que indiquen si les bandes espectrals han influenciat a la representació de les comunitats vegetals.

Les taules 30 – 37 són els resultats de les mètriques del paisatge a les diferents classificacions del S-2 i GE-1. Les mètriques calculades són el nombre de fragments, el fragment més gran, la densitat de marge, la dimensió fractal del perímetre-àrea i l'índex de diversitat de Shannon.

Taula 30. Comparativa de la superfície (ha) de les classes entre el mapa de referència del Del Arco *et al.* 2006 i les classificacions del S-2 i GE-1 de La Dehesa.

			Savinar sec	Tabaibal amargo	Jaral	Pastures
S-2	k = 2	1. S/S M	165,3	138,1	17,5	0,7
		2. M	157,2	133,4	27,9	0,5
	k = 4	3. S/S M	159,8	136,0	24,3	0,1
	k = 8	4. BE	175,8	132,0	28,3	1,0
		5. BE+ NDVI	161,9	130,3	31,4	0,9
		6. S	156,0	131,1	18,6	0,8
		7. S + M	160,0	133,5	13,4	0,4
GE-1	k = 8	1. NDVI + MDA	174,1	120,8	23,5	45,1
		2. NDVI	175,0	127,0	33,4	65,4
Del Arco <i>et al.</i> (2006)			125,9	112,8	105,1	0,0

La Dehesa es localitza al nord-oest de l'illa on es conserva el savinar més dens i antic d'El Hierro. A les cotes mitjanes de La Dehesa, hi ha el sector conegut com a El Jaral (400-550m), on es redueixen els valors d'humitat i les extensions del savinar constitueixen petits boscos. A nivells inferiors d'El Jaral, la massa boscosa és cada cop menys densa i les savines estan disperses (Fernández-Pello, 1989). La taula 30 mostra les principals comunitats vegetals de La Dehesa: savinar sec, *tabaibal amargo*, *jaral* i pastures (Del Arco Aguilar *et al.*, 2006). El savinar sec i el *tabaibal amargo* es representen en el mapa de referència amb una extensió més petita que a les classificacions, mentre que el *jaral* és al contrari. L'ús del model digital d'altures de la cobertura vegetal (MDACV) ha discriminat les comunitats vegetals *tabaibal amargo* i del *jaral* a les classificacions del GE-1. Les variacions del desenvolupament i de la combinació florística identificades a diferents cotes de la Dehesa (Fernández-Pello *et al.*, 2006) fa que el model digital de vegetació sigui necessari per a una cartografia de més detall.

La taula 31 mostra el patró paisatgístic de La Dehesa. Les columnes corresponen a les diferents classificacions i les files indiquen els resultats dels índex de paisatge. L'objectiu és veure com canvia l'àrea, el marge i l'interior de les classes, la diversitat, la proximitat i la forma de cada classificació, en funció de l'aplicació del filtre, del nombre de veïns o del MDACV. El primer índex és el total de l'àrea (TA), que indica 400 hectàrees per a les nou classificacions.

La classificació per k = 2 veïns de les bandes espectrals i l'NDVI indica un paisatge més fragmentat que la classificació de les mateixes bandes i el filtre *majority*. El nombre de fragments és de 2.129, el marge de 522 m/ha i el fragment més gran és de 23,5%, en canvi la classificació amb el filtre *majority* té 1.161 fragments, 336 m/ha i el fragment més gran ocupa un 27,2%. Per tant, el filtre *majority* elimina l'efecte *sal i pebre*. La classificació per k = 4 veïns de les bandes espectrals i l'NDVI té més fragments, que qualsevol de les dues classificacions anteriors. El marge és superior i la dimensió del fragment més gran és més reduïda, és a dir, els

$k = 4$ veïns tendeix a un paisatge més fragmentat. La classificació de $k = 8$ veïns de les bandes espectrals mostra 1.596 fragments, 419 m/ha de marge i 36,6% del fragment dominant, mentre que si s'afegeix l'NDVI, el nombre de fragments creix, la densitat de marge també i el fragment dominant és més petit. Afegir l'NDVI a la classificació produeix un encert més alt (80,32%) però alhora el paisatge és més fragmentat. En canvi, el nombre de fragments de la classificació amb filtre *sharpen* (6, taula 31) té més fragments i més densitat de marge que qualsevol altra classificació del S-2. Aquests valors varien quan aquesta mateixa classificació se li aplica el filtre de millora *majority*, que redueix el nombre de fragments (1.599), la densitat de marge es divideix per la meitat i el fragment dominant creix fins al 24 %. L'índex de diversitat de Shannon ha resultat entre 1,2 i 1,3. La diversitat d'aquestes classificacions són similars i estan compostes per quatre comunitats vegetals. Aquesta última dada és possible que sigui la causa dels valors de l'índex de Shannon.

A més, la classificació de les bandes espectrals del GE-1 i el model digital d'altures de la vegetació mostra 72.056 fragments, mentre que la classificació que no l'ha tingut en compte descendeix fins a 66.916 fragments. Per tant, el model digital d'altures de la vegetació produeix més fragmentació a la classificació per la discriminació d'espècies vegetals. Les formes de les classes són més complexes si s'utilitza el model digital de vegetació, de totes maneres, el PAFRAC indica valors baixos. Per tant, el model digital d'altures de la vegetació aporta una millora a l'encert global de la classificació (75% la del MDACV i 70% sense) però proporciona un paisatge més fragmentat: augmenta el nombre de fragments i la distància entre classes.

El filtre de millora *majority* dona unes classificacions menys fragmentades a l'escala del paisatge. També, els valors mostrats de l'índex de Shannon (SHDI) de les classificacions del GE-1 són similars a les classificacions del S-2 perquè aquest índex indica la proporcionalitat de les classes que componen un paisatge.

Taula 31. Les mètriques de les classificacions de imatge S-2 i GE-1 a La Dehesa.

	S-2							GE-1	
	k = 2		k = 4	k = 8				k = 8	
	1. S/S M	2. M	3. S/S M	4. BE	5. BE+ NDVI	6. S	7. S + M	1.MDACV	2.S/S MDACV
TA	400	400	400	400	400	400	400	400	400
LPI	23,5	27,2	22,9	36,6	22,8	22,0	23,9	23,0	23,1
ED	522,2	336,0	558,8	419,4	574,7	608,8	386,2	3.078,3	3.035,5
TCA	2,0	14,3	1,5	5,9	1,8	0,5	13,7	0	0
NP	2.129	1.161	2.359	1.596	2.331	2.861	1.599	72.056	66.916
SHDI	1,35	1,31	1,36	1,29	1,32	1,35	1,29	1,36	1,23
PRD	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	1,2	1,0
PROX_MN	207,1	219,1	205,2	317,1	220,8	205,8	225,2	2.166,0	2664,0
PAFRAC	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,5	1,6	1,6

TA: Àrea total, LPI: índex de fragment més gran, ED: Densitat de marge, TCA: total àrea interior, NP: nombre de fragments, SHDI: índex de Shannon, PRD: densitat de riquesa, PROX_MN: la mitjana de proximitat i PAFRAC: la dimensió fractal del perímetre-àrea. Totes les classificacions són de les bandes espectrals i l'NDVI, tret de la número 4, que és únicament de les bandes espectrals (BE). M: filtre *majority*, S: filtre de *sharpen* i MDACV: Model Digital d'Altura de la Cobertura Vegetal.

Les mètriques calculades a l'àrea d'El Julan són presentades a la taula 32. L'ús dels filtres de millora i l'NDVI dibuixen els mateixos comportaments de les mètriques de La Dehesa a El Julan. El nombre de fragments de la classificació de les bandes espectrals, l'NDVI i el model digital d'altures de la vegetació del GE-1 és de 86.559, la quarta classificació del mateix satèl·lit amb filtre de millora *majority* és de 86.482. La classificació de les bandes espectrals i l'NDVI presenta 50.736 nombres de fragments, mentre que la classificació de les bandes espectrals i

el model digital d'altures de la vegetació mostra 70.827. La classificació de les bandes espectrals i model digital d'altures de la vegetació amb filtre de millora *majority* disminueix el nombre de fragments a 49.702. Per tant, el filtre de millora disminueix la fragmentació del paisatge pel seu caràcter generalitzador.

Taula 32. Les mètriques de la classificació S-2 a El Julan.

	S-2							GE-1				
	k=2		k=4	k=8				k=8				
	1. S/S M	2. M	3. S/S M	4. BE	5. BE+ NDVI	6. S	7. S + M	1. NDVI + MDACV	2. NDVI	3. MDACV	4. NDVI + MDACV + M	5. MDACV + M
TA	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
LPI	35,6	39,3	30,9	40,5	25,9	34,6	38,6	31,8	35,7	37,0	31,2	34,8
ED	585,6	381,8	657,6	511,9	786,1	655,2	416,2	4.098,7	2.672,8	3.184,7	3.939,4	2.538,5
TCA	0,6	1,6	0,6	0,5	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NP	3.036	1.796	3.625	2.265	4.621	3.682	2.098	86.559	50.736	70.827	86.482	49.702
SHDI	1,55	1,41	1,64	1,44	1,81	1,49	1,36	1,28	1,23	1,26	1,28	1,22
PRD	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
PROX_MN	149,5	175,5	145,3	220,9	100,8	201,3	208,3	3.958,7	3.801,5	4.150,7	3.785,2	3.721,9
PAFRAC	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6	1,5	1,5	1,7	1,6	1,6	1,7	1,6

TA: Àrea total, LPI: índex de fragment més gran, ED: Densitat de marge, TCA: Total àrea interior, NP: nombre de fragments, SHDI: índex de Shannon, PRD: densitat de riquesa, PROX_MN: la mitjana de proximitat i PAFRAC: la dimensió fractal del perímetre-àrea. Totes les classificacions són de les bandes espectrals i l'NDVI, tret de la numero 4, que és únicament de les bandes espectrals (BE). M: filtre *majority*, S: filtre de *Sharpen* i MDCAV: Model Digital d'Altura de la Cobertura Vegetal.

En el cas de les classificacions del S-2, el nombre de fragments augmenta quan es classifiquen les bandes espectrals, l'NDVI i el nombre de veïns més propers és vuit. Els 4621 fragments són de la classificació per k=8 veïns de les bandes espectrals i el NDVI, consegüentment conté el fragment més del 25% (el més petit de les set classificacions del S-2). La densitat de marge és la més elevada (786,1) i la distància entre fragments és més gran que la resta de les classificacions. En el cas del GE-1, la classificació per k = 8 veïns de les bandes espectrals, l'NDVI i el MDACV és la més fragmentada, té 86.559 fragments. El fragment més gran d'aquesta classificació és del 31,8. Tanmateix, la classificació per k = 8 de les bandes espectrals i l'NDVI té 50.736 fragments i la classificació per k=8 veïns de les bandes espectrals i el MDACV té 49.702 fragments. Totes dues són les classificacions amb el nombre de fragments més baix. També, cal destacar la classificació per k=8 veïns de les bandes espectrals i el MDACV perquè té 70.827 fragments, en canvi el fragment més gran ocupa el 37% de l'àrea d'estudi.

Taula 33. Comparativa de la superfície (ha) de les classes entre el mapa de referència i les classificacions d'El Julan.

			Matollar de				
			Savinar sec	Pineda de pi canari	Tabaibal amargo	brezo i tomillar	Conreus de secà
S-2	k=2	1. S/S M	29,1	125,3	27,7	1,1	185,7
		2. M	18,9	128,5	29,2	2,7	169,8
	k=4	3. S/S M	11,1	134,9	29,6	1,7	183,6
	k=8	4. BE	39,6	125,1	32,8	9,5	125,5
		5. BE+ NDVI	27,7	130,0	31,0	5,3	153,8
		6. S	10,2	131,9	27,9	1,1	170,8
		7. S + M	4,1	139,9	27,2	0,7	183,5
GE-1	k=8	1. NDVI + MDACV	177,9	131,7	27,3	50,8	12,7
		2. NDVI	183,0	141,6	26,8	38,6	10,3
		3. MDACV	185,3	130,9	27,0	44,5	12,0
		4. NDVI + MDACV + M	172,3	138,9	27,6	49,3	12,3
		5. MDACV + M	177,0	148,9	27,1	37,5	9,9
Del Arco et al. (2006)			163,0	167,1	61,6	6,5	1,8

La vegetació d'El Julan (taula 33) esta formada per: savinar sec, pineda de pi canari, *tabaibal amargo*, matollar de *brezo* i *tomillar* i conreus de secà. Del Arco, *et al.* (2006) mostra 163 ha de savinar sec, 167,1 ha de pineda de pi canari, 6,5 ha de matollar de *brezo* i *tomillar* i 1,8 ha de conreus de secà. El GE-1 té valors entre 172 i 185 ha semblants al mapa de referència. La pineda de pi canari és entre 130 ha i 148 ha, 30 ha menys que el mapa de referència. El *tabaibal amargo* del GE-1 és entre 26 i 27 ha, 30 menys que el mapa de referència. El matollar de *brezo* i *tomillar* és representa amb mínim 30 ha més del mapa de referència. El conreu de secà és entre els 9,9 i gairebé 13 ha. Així doncs, el savinar sec és més encertat en el GE-1 que en el S-2, mentre que el matollar de *brezo* i *tomillar* està millor representat per S-2 que el GE-1.

Taula 34. Les mètriques de S-2 i GE-1 a la Villa de Valverde.

	S-2							GE-1	
	k = 2		k = 4	k = 8				k = 8	
	1. S/S M	2. M	3. S/S M	4. BE	5. BE+ NDVI	6. S	7. S + M	1. S/S MDACV	2. MDACV
TA	962	962	962	962	962	962	962	962	962
LPI	35,7	38,3	34,2	35,1	29,7	31,7	34,6	33,9	30,6
ED	561,8	387,4	630,7	564,1	717,4	663,7	461,4	1.219,4	1.440,3
TCA	0,0	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1	0,0	0,0
NP	5.327	3.169	6.402	4.916	7.829	7.454	4.537	28.571	42.450
SHDI	1,66	1,57	1,71	1,66	1,82	1,67	1,59	1,12	1,14
PRD	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	0,4	0,4
PROX_MN	326,1	312,3	310,5	344,6	290,4	282,1	269,9	13.823,0	12.027,5
PAFRAC	1,5	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,5

TA: Àrea total, LPI: índex de fragment més gran, ED: Densitat de marge, TCA: Total àrea interior, NP: nombre de fragments, SHDI: índex de Shannon, PRD: densitat de riquesa, PROX_MN: la mitjana de proximitat i PAFRAC: la dimensió fractal del perímetre-àrea. Totes les classificacions són de les bandes espectrals i l'NDVI, tret de la numero 4, que és únicament de les bandes espectrals (BE). M: filtre *majority*, S: filtre de *Sharpen* i MDACV: Model Digital d'Altures de la Cobertura Vegetal.

Taula 35. Comparativa de la superfície (ha) de les classes entre el mapa de referència i les classificacions de la Villa de Valverde.

			Fayal-breza	Tabaibal amargo	Pastures	Conreus de secà	Urbà
S-2	k = 2	1. S/S M	164,1	8,1	95,0	409,8	29,3
		2. M	163,3	11,0	100,5	410,8	30,7
	k = 4	3. S/S M	169,1	10,2	90,7	434,1	31,4
		4. BE	184,9	12,3	109,7	350,9	30,5
		5. BE+ NDVI	169,4	11,4	99,8	394,7	31,5
		6. S	164,7	13,6	119,1	395,1	26,8
		7. S + M	171,4	12,2	110,0	419,1	27,7
GE-1	k = 8	1. NDVI + MDACV	209,5	0,0	201,3	507,6	43,9
		2. NDVI	179,5	0,0	205,1	529,0	48,8
Del Arco <i>et al.</i> (2006)			286,8	77,7	186,4	343,9	66,4

La Villa de Valverde està composta per *fayal-breza*, *tabaibal amargo*, pastures, conreus de secà i urbà. La taula 35 mostra les diferències de les hectàrees registrades en les diferents cartografies: S-2, GE-1 i Del Arco *et al.* (2006). El mapa de referència Del Arco *et al.* (2006) registra 287 ha de *fayal-breza*, 78 ha de *tabaibal amargo*, 343 ha de conreus de secà i 67 ha d'urbà. Les classificacions del S-2 i del GE-1 mostren valors inferiors a les 200 ha de *fayal-breza*, valors al voltant de les 10 ha de *tabaibal amargo*, entre els 90 ha i 205 ha de pastures, per sobre de les 394 ha fins a 529 ha de conreus de secà i entre les 27 ha a les 49 ha d'urbà. En general, la superfície de les classes de *fayal-breza* i conreus de secà són similars al mapa de referència.

A la taula 36, les classificacions del S-2 amb més nombre de fragments (2.404) és per k = 8 veïns de les bandes espectrals i l'NDVI. Contràriament, el fragment més gran d'aquesta classificació es representa en un 35%. En el cas d'El Golfo, la disminució del nombre de fragments és considerable entre la classificació que utilitza els filtre de millora *Sharpen* amb el filtre de millora *majority*, i les que no. El nombre de fragments és menor a les classificacions que s'apliquen el filtre *majority*. A més, la densitat de marge és menor i les dimensions fractals són més senzilles. Pel que fa a la diversitat, les classificacions de les imatges S-2 són entre el 1,6 i 1,8, en canvi les de les imatges del GE-1 són del 1,1 i 1,2. Aquesta diversitat de les classificacions del S-2 són perquè l'índex del fragment més gran són extensions més reduïdes que les classificacions del GE-1, per tant, es configura un paisatge més diversificat.

Els mapes elaborats a partir de les imatges GE-1, quan es té en compte el model digital d'altures de la vegetació, el nombre de fragments és més alt (42.450), gairebé duplicant els fragments de la classificació que només té en compte les bandes espectrals i l'NDVI. El fragment més gran pràcticament és del 13 % per a totes dues, mentre que la densitat de marge és més elevada per a la classificació de les bandes espectrals, l'NDVI i el model digital de les altures de la vegetació. La dimensió fractal i la diversitat del paisatge són similars en totes dues classificacions. Per tant, el model digital d'altures de la vegetació influeix a la classificació d'un paisatge més fragmentat, però l'encert global és similar a la classificació que no el té en compte (MDACV), en aquest cas, la classificació de les bandes espectrals, l'NDVI i el model digital d'altures de la vegetació és de 61% i 65%, respectivament.

Taula 36. Les mètriques de S-2 i GE-1 a la part d'El Golfo.

	S-2							GE-1	
	k = 2		k = 4	k = 8				k = 8	
	1. S/S M	2. M	3. S/S M	4. BE	5. BE+ NDVI	6. S	7. S + M	1. S/S MDACV	2. MDACV
TA	400	400	400	400	400	400	400	400	400
LPI	34,2	35,8	34,4	35,1	35,4	34,2	36,6	1.332,4	1.637,4
ED	434,5	286,3	466,6	370,9	483,6	434,5	346,8	67,7	83,0
TCA	3,8	34,6	6,2	12,8	6,2	3,8	31,1	0	0
NP	1.957	1.153	2.272	1.477	2.404	1.957	1.764	19.599	29.893
SHDI	1,80	1,75	1,81	1,77	1,79	1,80	1,71	1,25	1,18
PRD	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	1,2	1,2
PROX_MN	171,0	137,4	153,4	185,6	179,8	171,0	126,3	6.131,2	5.110,7
PAFRAC	1,5	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,5	1,5

TA: Àrea total, LPI: índex de fragment més gran, ED: Densitat de marge, TCA: Total àrea interior, NP: nombre de fragments, SHDI: índex de Shannon, PRD: densitat de riquesa, PROX_MN: la mitjana de proximitat i PAFRAC: la dimensió fractal del perímetre-àrea. Totes les classificacions són de les bandes espectrals i l'NDVI, tret de la numero 4, que és únicament de les bandes espectrals (BE). M: filtre *majority*, S: filtre de *Sharpen* i MDACV: model digital de vegetació.

Les classificacions de les bandes espectrals del GE-1 que afegeix el Model Digital de l'Altura de la Cobertura Vegetal (MDACV) produeix un major efecte de fragmentació perquè el nombre de fragments és alt (29.893) i l'àrea de fragment més gran correspon a la classificació amb el MDACV.

Taula 37. Comparativa de la superfície (ha) de les classes entre el mapa de referència i les classificacions d'El Golfo.

			Fayal-brezal	Savinar humit	Tabaibal amargo	Conreus de secà
S-2	k = 2	1. S/S M	142,0	36,9	97,2	28,2
		2. M	140,0	36,2	104,4	33,6
	k = 4	3. S/S M	145,6	36,6	106,4	33,2
	k = 8	4. BE	144,7	45,1	98,9	26,6
		5. BE+ NDVI	141,1	39,9	101,6	33,3
		6. S	140,0	36,2	104,4	33,6
		7. S + M	150,2	26,8	110,7	36,1
GE-1	k = 8	1. NDVI	119,7	106,3	149,7	25,1
		2. NDVI + MDACV	125,3	105,4	159,4	10,7
Del Arco <i>et al.</i> (2006)			130,4	52,8	138,0	74,2

La taula 37 mostra la superfície que ocupen les classes d'El Golfo a cada classificació i en el mapa de vegetació de referència del Del Arco *et al.* (2006). Així que el *fayal-brezal* ocupa 130,4 ha segons el mapa de referència, mentre que les classificacions del S-2 es representa amb una superfície superior i en canvi en les del GE-1 és menor però la més encertada és la que classifica les bandes espectrals, l'NDVI i el MDACV. El savinar humit representa 52,8 ha al mapa de referència, les del S-2 representa de 26,8 a 45,1 ha, en aquest cas, la classificació per k = 8 veïns i les bandes espectrals és de 45,1, i el GE-1 mostra 105 ha aproximadament. El GE-1 ha representat al doble de superfície que el mapa del Del Arco *et al.* (2006) mentre que el algunes classificacions del S-2 s'ajusten més, com ara, la classificació per k=8 veïns de les bandes espectrals. El *tabaibal amargo* ocupa 138 ha però a les classificacions del S-2 és menor i a les del GE-1 s'aproximen més a la realitat. Els conreus de secà tenen una superfície de 74,2 ha, totes les classificacions els representen per sota del valor de referència. Aquesta diferència indica que els errors de comissió i omisió són més destacables a les del S-2 que no pas a les del GE-1. Les bandes espectrals són un factor clau que influeixen en els valors de superfície, tot i que, el *fayal-brezal* i *tabaibal amargo* són les més encertades pel GE-1, el savinar humit es representa similar a la realitat amb el S-2. Pel que fa als conreus de secà és una comunitat que ocupa poca extensió i complica la seva classificació.

En el conjunt de les classificacions de les imatges del S-2, quan s'ha aplicat el filtre de millora *Sharpen* a les bandes espectrals, resulten un paisatge menys fragmentat: el nombre de fragments disminueix, l'àrea del fragment més gran augmenta i la densitat de marge disminueix. Per tant, l'aplicació del filtre de millora *majority* defineix el següent patró: una disminució del nombre de fragments, els fragments són més grans, disminueix la densitat del marge i incrementa l'àrea interior (*core*), lleugerament es dibuixa un paisatge menys proporcional, també augmenta la proximitat entre les classes i les geometries de les classes són més senzilles.

6.4. Lidar

Aquest apartat tracta de les dades Lidar utilitzades per obtenir el model digital d'altures de la cobertura vegetal i el perfil de vegetació d'algunes de les classes classificades. El primer subapartat descriu l'estat de les dades a través del mapa d'intensitat i la densitat de polsos. El segon subapartat se centra a les dades de La Dehesa, on es destaca el contrast entre el savinar vell i el jove. El conjunt de perfils de vegetació de les classes més característiques de l'illa d'El Hierro tanquen aquest apartat.

6.4.1. A nivell exploratori

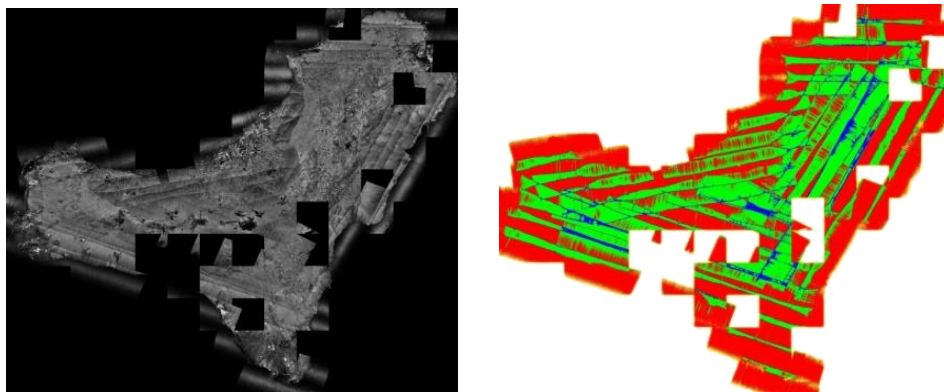


Figura 55. Mapa d'intensitats i densitats de polsos de les dades Lidar de l'any 2009.

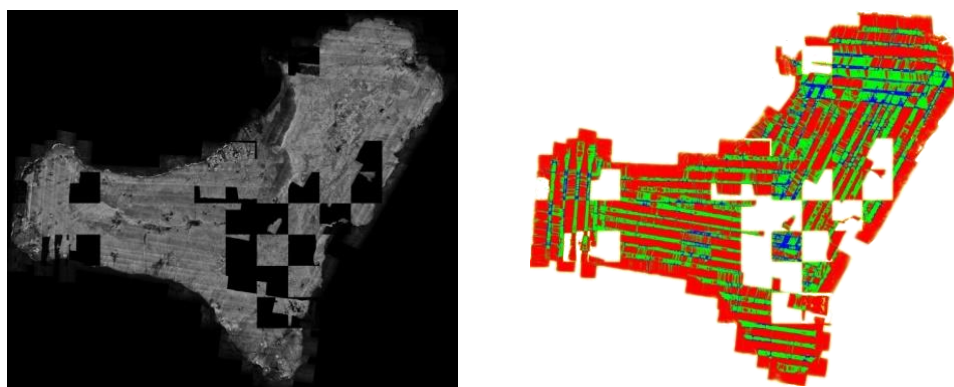
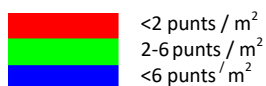


Figura 56. Mapa de primers retorns, intensitats i densitats de polsos de les dades Lidar de l'any 2015.



La figura 55 i 56 mostren la distribució de les dades Lidar que hi ha a l'illa, destaca la manca de dades de la part SW a l'any 2009 i la part SE a l'any 2015. Els colors vermells representen aquelles zones que tenen menys de dos punts per m², les verdes són les que tenen dos a sis punts m² i les blaves són les superiors a sis punts per m². Les zones que més abunden són les vermelles i verdes, en canvi de blaves són gairebé nul·les. Si hi ha menys de 2 punts per m², l'anàlisi del territori es veurà afectat.

Aquesta manca de dades Lidar limita l'estudi de tota l'illa mitjançant el model digital d'altura de la cobertura vegetal (Figura 57). Encara així, s'ha adaptat a zones d'estudi de dimensions

inferiors, les que si disposen de lidar per dibuixar els perfils de vegetació i caracteritzar cada individu.



Figura 57. Model digital d'altura de la cobertura vegetal (MDACV) de les dades Lidar de l'any 2015.

6.4.2. El cas concret de La Dehesa: el savinar vell i el jove

a) Núvol de punts de la Dehesa

A la taula 38, les dues categories destacades al núvol de punts són vegetació (24%) i el sòl (33%). L'altura mínima és de 172,16 m corresponent a l'extrem oest de l'illa, mentre que el punt més alt correspon a la vegetació baixa amb 673,52 m. El rang d'altitud és de 502 m aproximadament en 2 km. Les dades de la taula 38 evidencien dels pendents en el que es troba aquesta vegetació.

La Dehesa es troba al nord-occident de l'illa definida per un pendent que va des dels 300 m als 800-1.000 m. La morfologia d'aquest indret es configura per un conjunt de barrancs amb poca profunditat per la joventut geològica dels materials volcànics. La part nord es delimita per un penya-segat que posa fi al savinar *Juniperus turbinata* (Fernández-Pello *et al.*, 2006).

L'ortofotografia PNOA (A de la figura 58) mostra una ampliació del savinar de La Dehesa. Els quadrats de color vermell assenyalen un conjunt de savines velles i joves. El quadre de l'esquerra agafa de mostra el savinar més dens, amb un to verd més clar i amb les copes més irregulars i el de la dreta és una àrea amb savines joves. El model digital d'altures de la cobertura vegetal de La Dehesa mostra una diferència d'altures dels individus de la banda esquerra del mur i de la banda dreta. Els inventaris de Salvà-Catarineu *et al.* (2012) constaten la diferència del nombre i l'edat dels individus de savina d'un costat del mur i de l'altre que es va construir entre els anys 1940-1950 (Fernández-Pello, 1989) per controlar l'entrada dels ramats. L'abandonament dels conreus d'aquesta zona van facilitar la regeneració del savinar. D'aquest fet s'origina aquest contrast d'edats dins del mateix savinar de La Dehesa.

Taula 38. Resum de les estadístiques de les dades Lidar de La Dehesa.

Categoria punt	Total punts	%	Z min	Z màx
Sòl no classificat	27.862	0,37	195,36	672,85
Sòl	2.514.584	33,08	172,16	673,52
Vegetació baixa	1.555.344	20,46	173,68	673,64
Vegetació mitjana	172.451	2,27	182,68	672,66
Vegetació alta	64.397	0,85	190,04	671,76
Urbà	134	0	298,18	303,43
Soroll	12	0	246,93	549,32
Superposició de punts	3.265.697	42,97	273,42	670,11

Les dues àrees de mostreig estan separades pel mur de pedra seca que diferencia la zona comunal de la zona alta. Al Segle XVIII, aquest terreny comunal va ser cedit pel Conde de la Gomera als pastors de l'illa. Aquesta zona va ser una àrea d'activitat de pastura intensa, on anaven tots els ramats. L'any 1946 aquest terreny es va expropiar i es va dividir una part de la Dehesa Comunal de la zona alta (300 ha) lliurada als veïns de Sabinosa. Llavors es va construir el mur de pedra entre els 800 - 1000 m d'altitud, per tal que no entrés el ramat. A la llarga aquests conreus es van abandonar per les inclemències climàtiques i conseqüentment es va afavorir el creixement de les savines joves. L'any 1975 La Dehesa va ser declarada una zona protegida per l'article 2.17 de la Normativa General¹¹ prohibint completament l'entrada del ramat (cabres, vaques i ovelles) estrictament el Monte Consorciado de El Sabinar (Fernández-Pello, 1989). En l'actualitat de l'any 2018, s'ha refet el mur de pedra seca per evitar l'entrada de les vaques, però les campanyes de treball de camp del projecte JUNITUR s'ha observat que les vaques continuen entrant.

Tots dos models d'un metre de resolució espacial (B i C de la figura 58) s'han realitzat a partir dels filtres de vegetació de les dades del Lidar. S'han tingut en compte els tres tipus d'estrats: la vegetació baixa (inferior als 0,4 m), la vegetació mitjana (0,4 m als 2 m) i la vegetació alta (superior als 2 m). La imatge B és el model digital d'altures de les savines velles representades en 5 classes d'altures. Aquesta resolució espacial ha definit la distribució de les altures més freqüents entre els 0 a 4 metres. Les branques de la savina es reparteixen al llarg de tot el tronc (figura 58). Si només se selecciona el filtre de la vegetació alta, la savina queda representada només pels punts més alts de cada individu i el model és baixa qualitat. El model digital d'altures (B i C de la figura 54) caracteritza els individus amb un alt nivell de detall. Per tant, la llegenda s'ha dividit en cinc classes (B) i quatre (C). En el cas del B, les quatre primeres classes s'agrupen amb un metre de separació perquè la distribució de les dades de les altures de les savines es concentren en aquesta part del conjunt seleccionat. La classe dels 4 als 8 m representat en color vermell es correspon als individus més alts, dibuixa aquelles savines més altes (7,38 m la més alta). L'altura màxima de les savines de la banda dreta del mur (C) és de 3,3 m. Per aquest motiu el model digital d'altures de les savines joves no apareix cap to vermell. Actualment, el savinar jove està en procés de recuperació del seu hàbitat natural perquè té un alt interès ambiental i paisatgístic (Salvà-Catarineu *et al.*, 2014).

¹¹ I.C.O.N.A.: Inventario abierto de espacios naturales objeto de Protección Especial. Normativa General. Santa Cruz de Tenerife, 1975.

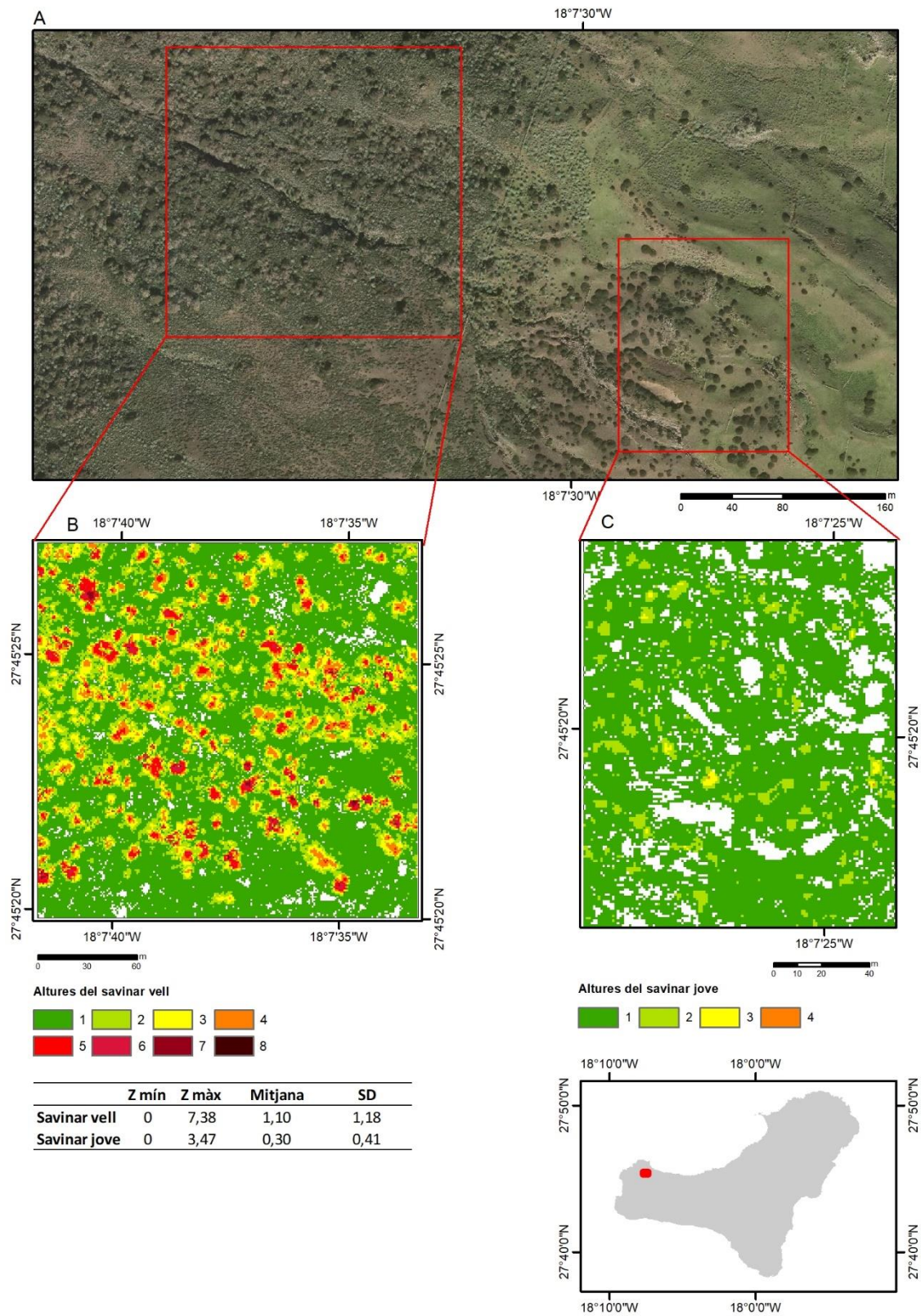


Figura 58. Les diferències entre les altures del savinar vell i el savinar jove localitzat a la Dehesa. A la part superior és l'ortofotografia PNOA cedida per © l'Institut Geogràfic Nacional (A). El Model Digital d'Altures de la Cobertura Vegetal del savinar vell (B) i el model digital d'altures del savinar jove (C). La taula inferior són les estadístiques de les altures (m) de les dues comunitats.

L'activitat de pastura, el creixement de xeròfiles de la costa, com ara, el *tabaibal amargo* (*Euphorbia lamarckii*) i el matollar de substitució *Cistus monspeliensis* van afavorir a la degradació del savinar. La recuperació s'ha pogut donar per la protecció de La Dehesa de l'entrada de ramats.

Les diferències entre el savinar jove i vell és a causa del canvi d'ús de La Dehesa i pels vents alisis humits que arriben des d'El Golfo.



Figura 59. L'estructura de la savina *Juniperus turbinata* ocupa diferents altures degut a la distribució de les branques. Aquesta imatge mostra les espècies que componen el savinar: *tabaiba amarga* o la *jara*.

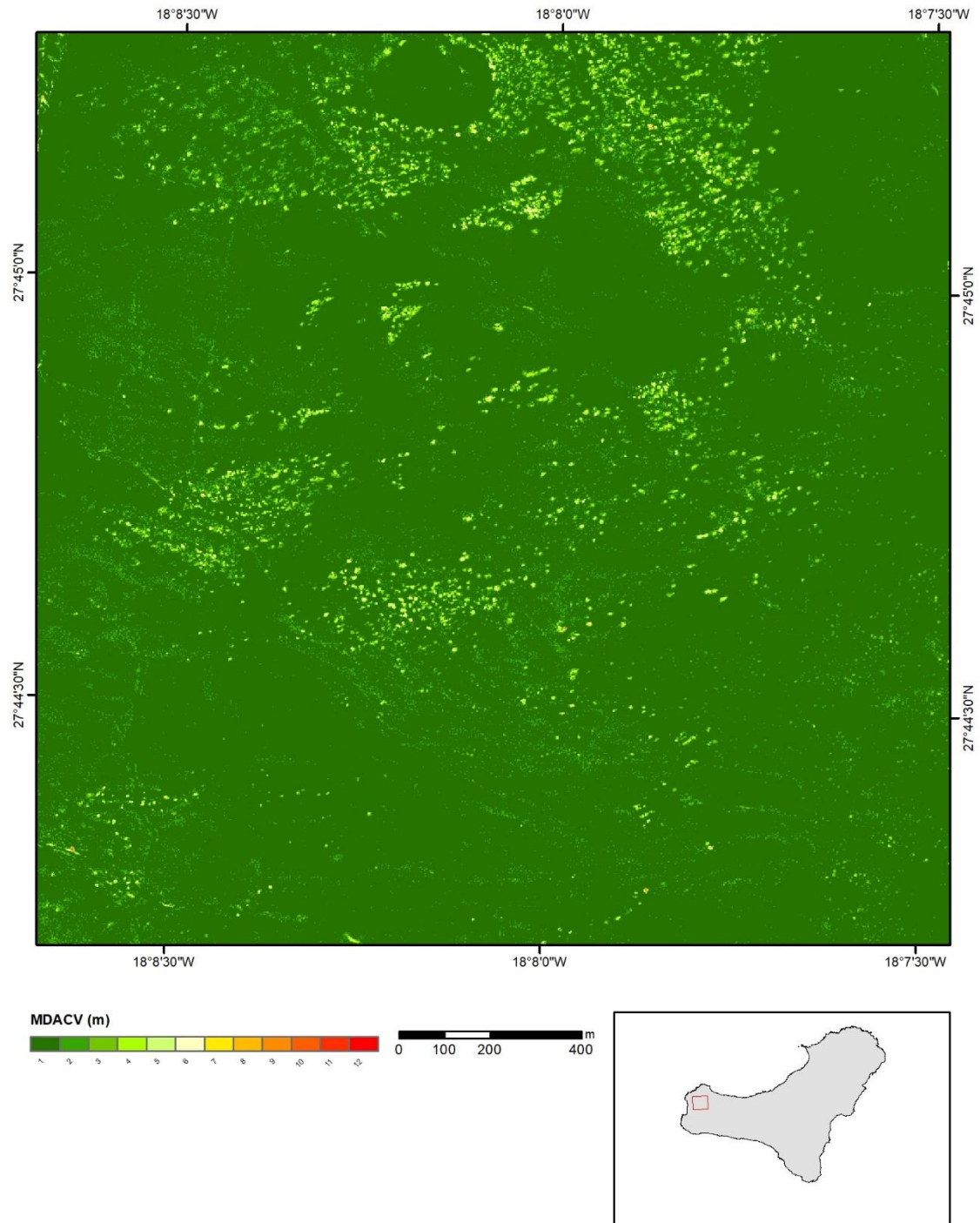


Figura 60. Model digital de les altures de la vegetació de la Dehesa. Elaboració pròpia a partir de les dades Lidar-PNOA cedit per © *Instituto Geográfico Nacional*.

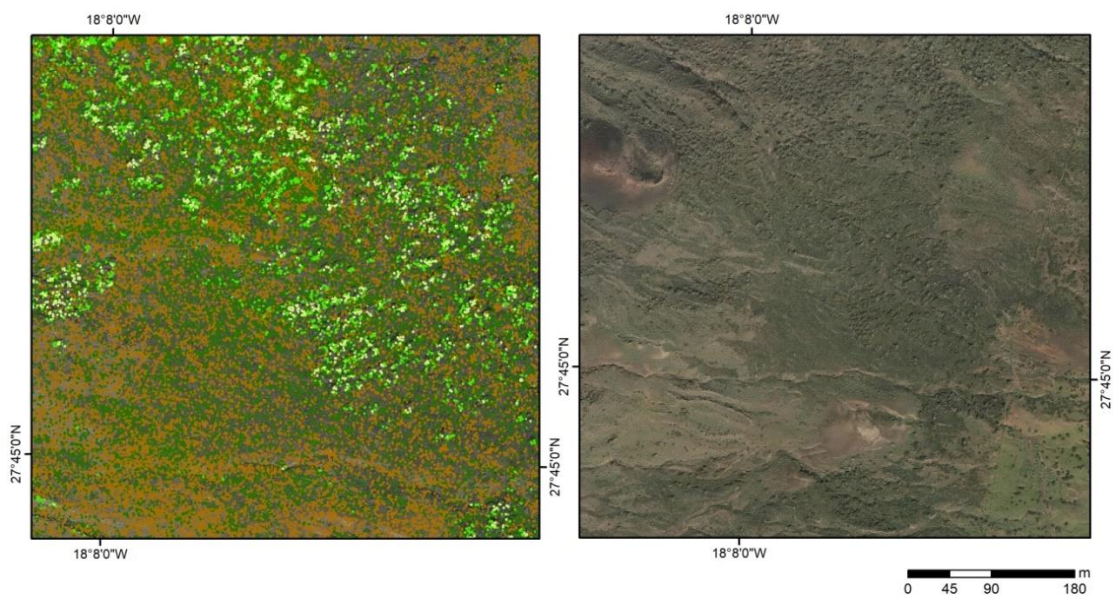


Figura 61. El núvol de punts de les dades Lidar (esquerra) i ortofotografia PNOA (dreta). Aquesta comunitat vegetal és el savinar de La Dehesa, on destaca la savina, la *jara* i la *tabaiba amarga*.

Concretament, la figura 61 representa el savinar de la Dehesa. A l'esquerra, el núvol de punts està classificat per altures dels retorns dels polsos. Aquells punts verds corresponen a la vegetació més alta (11, 53 m), a mesura que els tons són foscos fan referència a la vegetació arbustiva i herbàcia mentre que el marró són els sols.

La intensitat del primer retorn dels polsos es visualitza com una fotografia en blanc i negre (figura 62), i es representa entre els valors de 0 a 255. El color blanc representa la màxima potència d'un punt. Aquesta informació s'utilitza per detectar i extreure objectes de la superfície, de manera que, els tons de gris més fosc són les copes de la savina i el gris més clar representa els sols amb baixa vegetació.

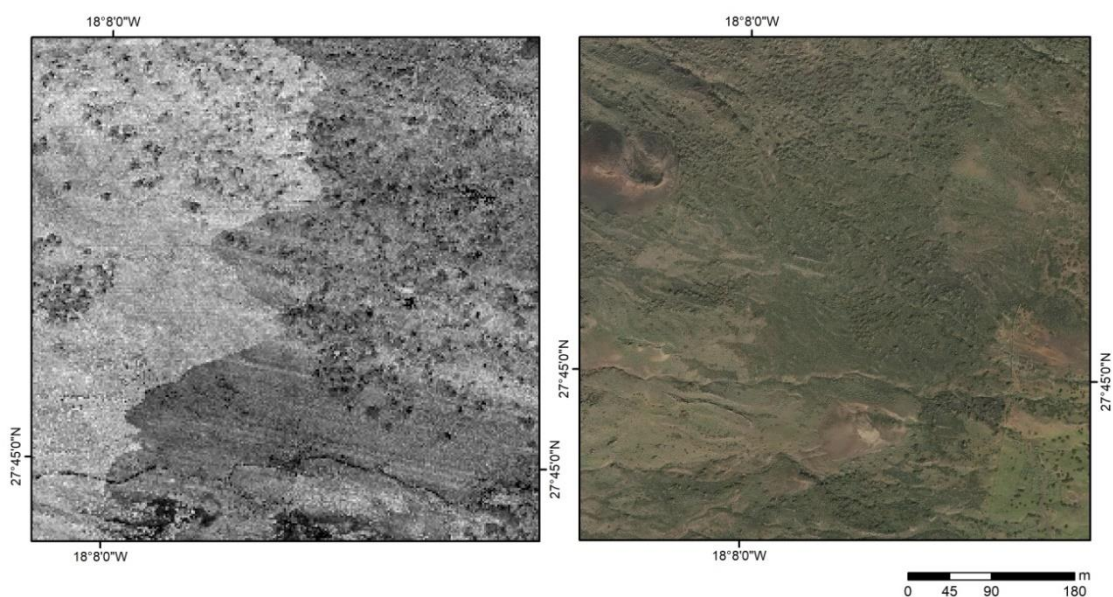


Figura 62. Ampliació de la zona de La Dehesa. A l'esquerra és la imatge que es genera de la intensitat de polsos de les dades Lidar. A la dreta és l'ortofotografia del PNOA.

Si comparem les dues imatges de la figura 63, a la dreta, el bosc de *fayal-breza* és fosc i la zona urbana que s'hi troba no es pot identificar, mentre que a l'esquerra es distingeix el bosc, la zona urbana que el creua i els camins a la part superior.

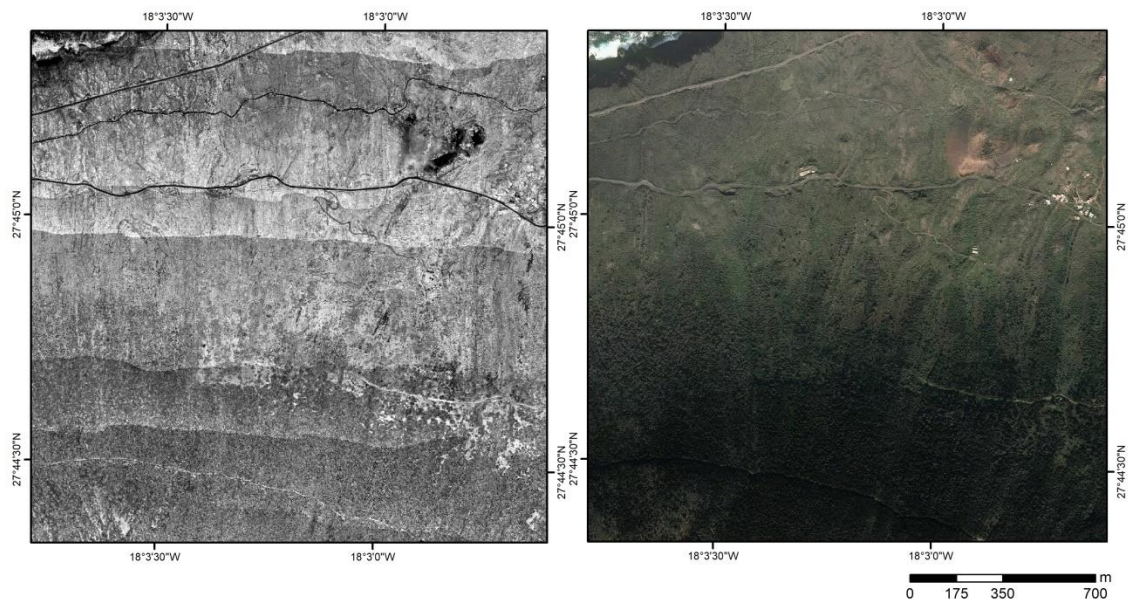


Figura 63. Ampliació de la zona de El Golfo. A l'esquerra és la imatge que es genera de la intensitat de polsos de les dades Lidar. A la dreta és l'ortofotografia del PNOA.

6.4.3. Els perfils de vegetació

Per representar la biodiversitat de l'illa, s'ha realitzat un conjunt de perfils de vegetació per detallar l'estructura dels individus de les comunitats més destacades. En aquests perfils s'han seleccionat els punts classificats com a vegetació baixa, mitjana i alta. S'ha de tenir en compte que la densitat del núvol de punts influeix a la robustesa d'aquests perfils.



Figura 64. Els punts de d'alta vegetació del *fayal-brezal* sobre l'ortofotografia PNOA cedida per © l'Institut Geogràfic Nacional.

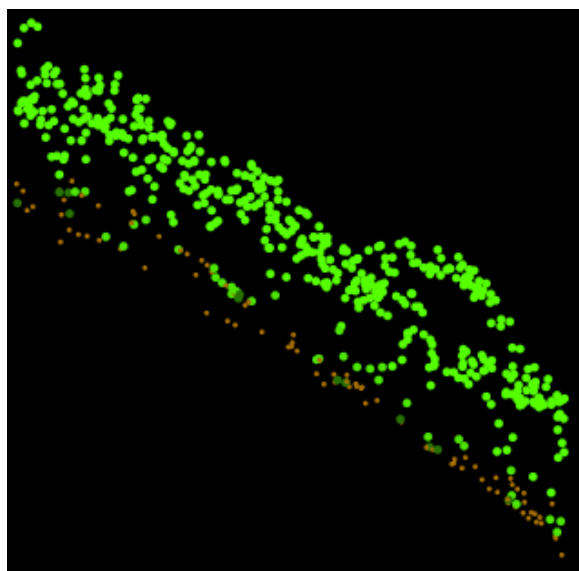


Figura 65. Perfil de vegetació del *fayal-brezal*. L'estrat arbori mostra una gran coberta per la quantitat d'individus que el formen.

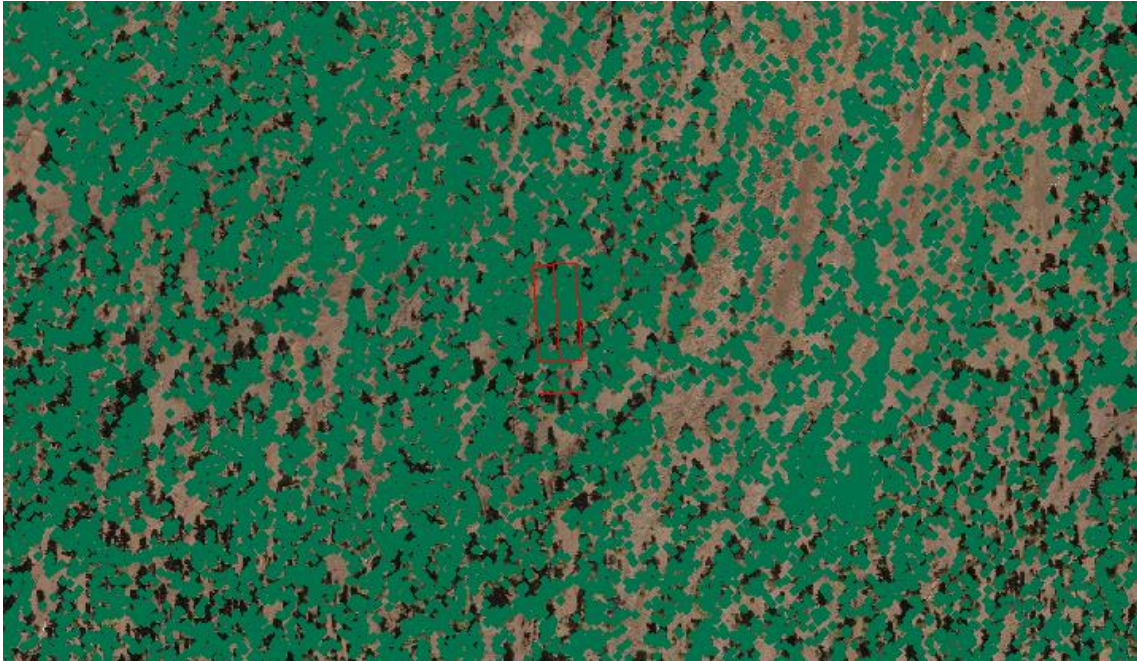


Figura 66. Els punts de d'alta vegetació del pi canari sobre l' ortofotografia PNOA cedida per © l'Institut Geogràfic Nacional.

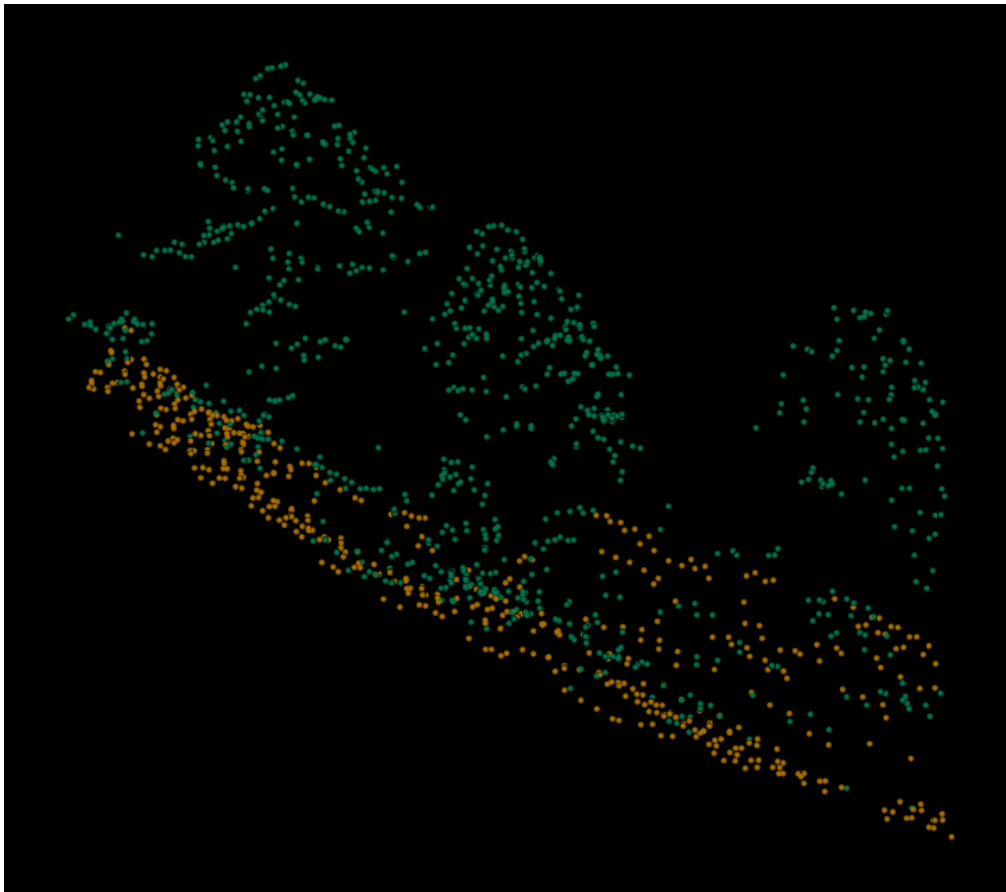


Figura 67. Perfil de vegetació del pi canari.



Figura 68. Els punts d'alta vegetació del savinar sec sobre l'ortofotografia imatge PNOA cedida per © l'Instituto Geográfico Nacional

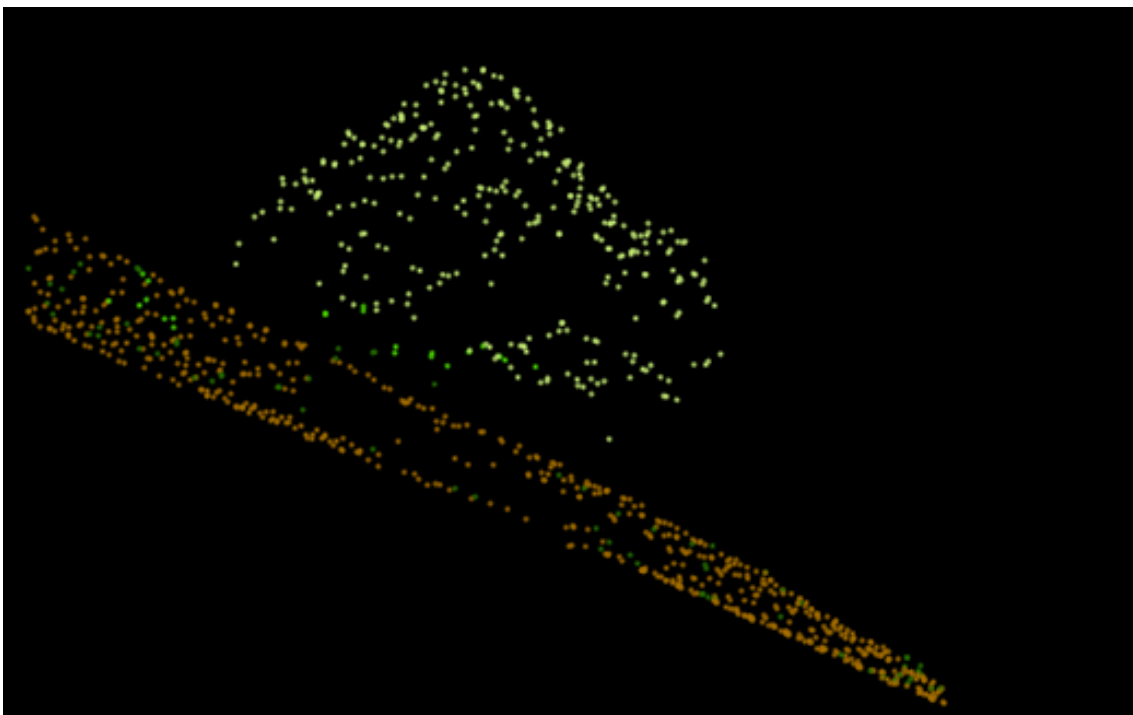


Figura 69. Perfil de vegetació del savinar sec.



Figura 70. Els punts d'alta vegetació del savinar sec de la Dehesa sobre l'ortofotografia PNOA cedida per © l'Instituto Geográfico Nacional.

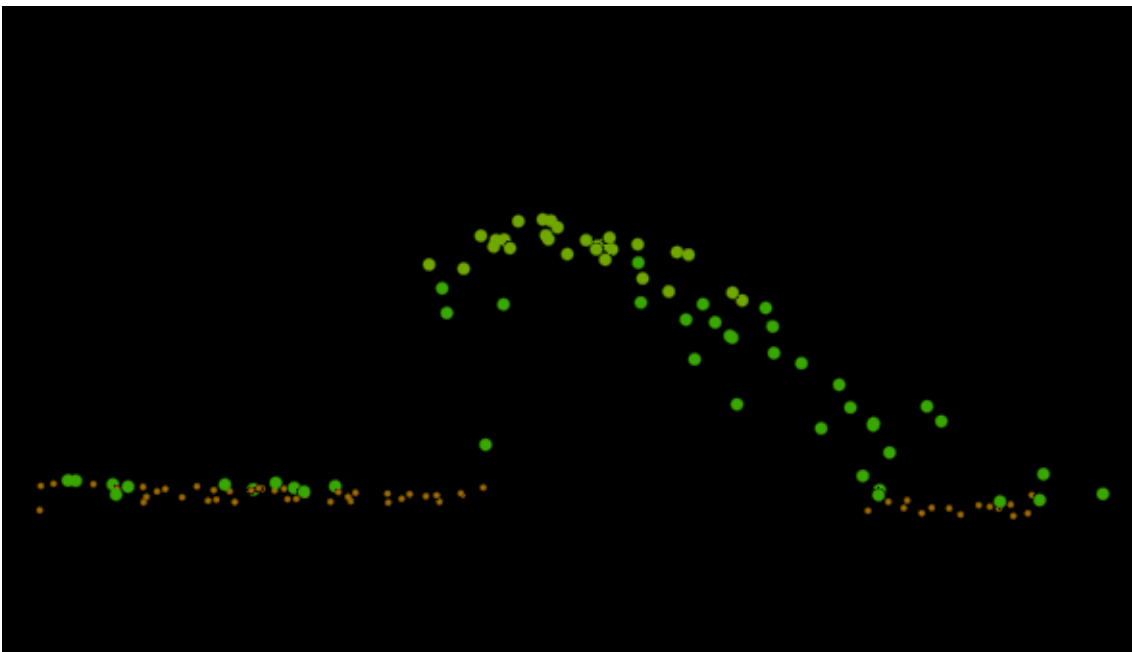
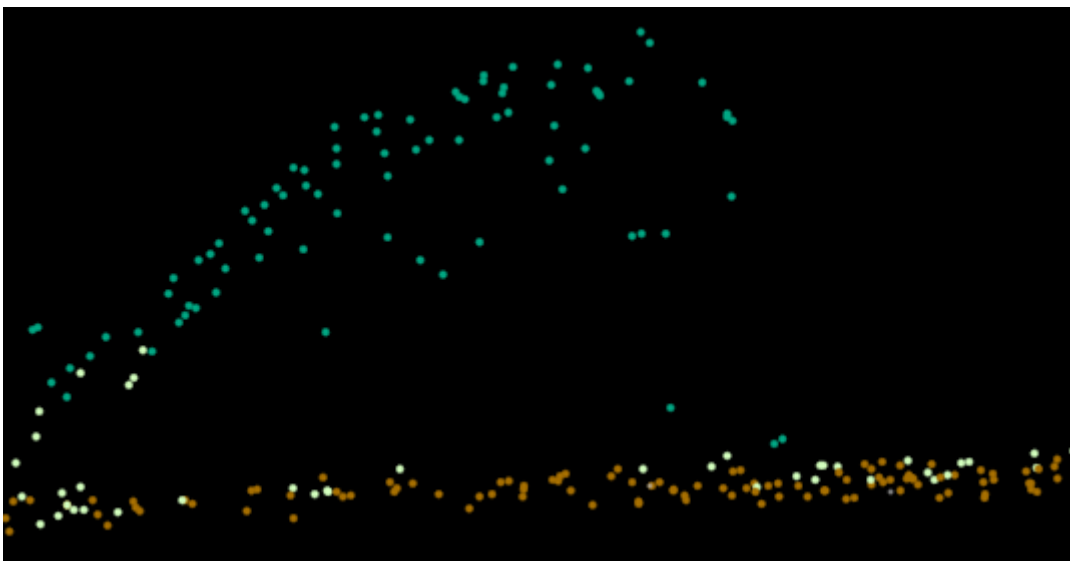


Figura 71. El perfil de vegetació del savinar sec envoltat de *tabaiba amarga* de la Dehesa.



Figura 72. La savina emblemàtica de l'illa d'El Hierro (Salvà-Catarineu).



L'observació del savinar sec més vell de la Dehesa mostra una comunitat més complexa amb individus més voluminosos. En el perfil de vegetació es percep l'estrat arbustiu, en part conformat per la *Euphorbia lamarckii* i *Cistus monspeliensis*.

La quantitat de punts és un factor clau pel perfil de vegetació. Si hi ha més punts, el perfil de la vegetació defineix amb més detall l'individu. En aquest perfil només es poden intuir (figura 72). Els valors més alts corresponen a la savina, mentre que els verds més clars són de la *tabaiba amarga*.



Figura 73. *Tabaiba amarga* i *jara* que envolta la savina vella de la Dehesa. L'estrat arbustiu i herbaci del savinar sec amb reflectàncies similars a la savina obliguen a l'ús de dades complementaries, com ara, les dades Lidar.

CAPÍTOL 7

Conclusions

7. CONCLUSIONS

En aquesta tesi s'ha estudiat l'efecte de la resolució espacial i espectral de les imatges de satèl·lit i de les dades Lidar per l'anàlisi del paisatge a El Hierro, mitjançant el classificador kNN i les mètriques de paisatge.

A continuació es presenten les conclusions segons els mètodes aplicats a les imatges dels diferents sensors; SPOT-5, Sentinel-2 i GeoEye-1.

SPOT-5

Les imatges de l'SPOT-5 s'han sotmès només a les correccions radiomètriques. Les zones d'ombra generades per la incidència solar sobre les formes geomorfològiques del relleu de l'illa compliquen la classificació de la vegetació d'El Hierro. El mòdul CORRAD del MiraMon facilita la tasca de la correcció atmosfèrica i topogràfica de les imatges, que redueix el temps del processament previ a la classificació.

La classificació kNN de les bandes verd, vermell, infraroig proper i infraroig mitjà a les imatges de l'SPOT-5, amb 13 classes calculades amb el mòdul de MiraMon assoleix un encert global del 86,3%. La resolució de 10 metres afavoreix la tasca de la interpretació i la selecció de les àrees d'entrenament i de test. El filtre *Majority* generalitza les cel·les aïllades de les classificacions, en el cas de l'SPOT-5 millora aquelles cel·les incorrectament classificades. L'exactitud d'usuari i de producció superen el 80% en la majoria dels casos. Així que, les bandes espectrals d'aquest satèl·lit són acceptables per l'estudi de la vegetació de l'illa.

SENTINEL-2

La correcció del mètode d'objecte fosc de Chavez i la correcció C aplicades a les vuit bandes de les imatges Sentinel-2 (B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8 i B8a) han suposat una reducció de la desviació estàndard de cada comunitat vegetal i de la zona urbana. En el cas de la zona urbana, les reflectàncies són semblants als valors de referència. Per tant, el mètode de Chavez i la correcció C aplicades a aquestes imatges són vàlids.

Les imatges del Sentinel-2 han estat sotmeses a diverses proves amb canvis en els paràmetres del classificador kNN. La classificació de les bandes espectrals únicament, enumerades anteriorment, és del 78%. Els encerts globals de les classificacions amb l'NDVI són superiors al 80%, tret de la que utilitza el filtre de convolució *Sharpen*. De manera que, les classificacions que disposen dels valors de l'estat de la vegetació són més exactes que les classificacions fetes només amb les bandes espectrals.

Els filtres de convolució, tant l'anterior a la classificació; el filtre *Sharpen* com el filtre de millora posterior a la classificació; el filtre *Majority*, aplicats a una mateixa classificació, representa les comunitats vegetals més semblants als valors de referència. Tanmateix, les que no utilitzen aquests dos filtres, l'encert global és del 83%, excepte la classificació amb $k=2$ veïns de les bandes espectrals i el filtre *Majority*. Per contra, les comunitats vegetals d'extensió minoritària, com ara el *jaral*, es tendeix a reduir la seva presència o eliminar-les. Cal ser acurat a l'hora d'utilitzar aquests filtres perquè l'encert global de la classificació no és l'únic que s'ha de tenir en compte, quan es valida la cartografia de la vegetació.

La classificació de l'SPOT-5 és més uniforme i regular, amb menys fragments i més homogènia que no pas la del Sentinel-2. La resolució espacial de les imatges SPOT-5 i S-2 és la mateixa però el rang espectral de les bandes varia. La resolució espectral del S-2 discrimina amb més exactitud les diferents comunitats vegetals com el savinar respecte a les altres.

GeoEye-1

Les correccions geomètriques amb polinomis de segon grau s'han de realitzar per a minimitzar els errors de captura de les dades del satèl·lit, i així, millorar la detecció i l'extracció d'objectes en el procés de classificació. Tanmateix, aquest preprocessament de les imatges de satèl·lit del GE-1 comporta un temps de dedicació més llarg que d'altres imatges, donada la seva complexitat. La resolució de dos metres implica un alt nivell de detall dels objectes, però per altre banda, el relleu de l'illa d'El Hierro incrementa les deformacions enregistrades a les imatges. Per assolir amb èxit les correccions s'han dividit les escenes en parts de dimensions més reduïdes, de manera que s'obtingui un nombre inferior de GCP.

Les correccions no han resolt completament la variància de les reflectàncies d'una mateixa classe, així que, s'ha seleccionat el classificador kNN per nombre de veïns més propers no paramètric. L'exactitud de les classificacions properes al 70% es relacionen amb les àrees d'entrenament, que seleccionen exclusivament les cel·les d'una determinada classe, i també, les dades auxiliars: l'NDVI i el MDACV.

Lidar

En algunes classificacions s'ha afegit les dades Lidar per discriminar les classes de vegetació de l'illa d'El Hierro. Malgrat no disposar de les dades Lidar de tota l'illa, s'ha analitzat aquelles àrees on es localitzen els savinars. Per una altra banda, el Model Digital d'Altures de la Cobertura Vegetal (MDACV) ha permès conèixer l'estructura dels diferents boscos..

Anàlisi del paisatge

Les classificacions de les imatges dels satèl·lits SPOT-5, S-2 i GE-1 són un recurs disponible pel seguiment de l'evolució de la vegetació. Tot i que, en aquesta tesi s'ha estudiat l'evolució de la vegetació, es conclou que la resolució espectral i temporal del Sentinel-2 afavoreixen els estudis dels canvis fenològics perquè es disposa d'escenes contínues en el temps de lliure accés. Per altra banda el GE-1 ha permès una classificació més precisa de la vegetació de la Illa.

Les mètriques del paisatge calculades per mesurar els efectes de l'ús de diferents resolucions espacials i espectrals dels tres sensors són correctes. El patró del paisatge indica la composició del paisatge, la fragmentació, l'heterogeneïtat i la forma de les classes, que estan influïdes per les dades primàries i el classificador utilitzat. Les classificacions de les imatges del GE-1, que han tingut en compte el Model Digital d'Altures de la Cobertura Vegetal, han mostrat resultats més encertats, així que, les alçades dels boscos són les dades auxiliars que comporten millores en el procés de discriminació de les classes de la cartografia de la vegetació.

Treball de futur:

- Aprofundir més a l'anàlisi del paisatge: aconseguir dades radiomètriques a través de campanyes de camp amb l'espectroradiòmetre (la seva adquisició és un projecte de futur), per conèixer quines radiàncies s'associen a cada espècie i ajustar més les classificacions.
- Continuar amb l'aprenentatge de les imatges del satèl·lit Sentinel-2 de lliure accés i les aprofundir en les oportunitats d'estudi vegetal que tenen les diferents bandes de l'infraroig. També, calcular les temperatures de superfície per relacionar-ho amb la vegetació.

CAPÍTOL 8

Referències

8. REFERÈNCIES

- Adams, R. P., Arista, M., Boratynski, A., Houari, H. H., Leschner, H., Liber, Z., Minissale, P., Sciandrello, S. i Mataraci, T. (2014). Phytologia. In *Phytologia*. (Vol. 96).
- Aguilar, H., Mora, R. i Vargas, C. (2014). Metodología para la corrección atmosférica de imágenes Aster, RapidEye, SPOT 2 i Landsat 8 con el módulo FLAASH del software ENVI. *Revista Geográfica de América Central*, 53, 39–59. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15359/rgac.2-53.2>
- Aguilar, M. A., Saldaña, M. del M. i Aguilar, F. J. (2013). Assessing geometric accuracy of the orthorectification process from GeoEye-1 and WorldView-2 panchromatic images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 427–435. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.06.004>
- Ambrosio, G., González, J. i Arévalo, V. (2002). Corrección radiométrica y geométrica de imágenes para la detección de cambios en una serie temporal. *X Congreso de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*, (9).
- Antonarakis, A. S., Richards, K. S. i Brasington, J. (2008). Object-based land cover classification using airborne LiDAR. *Remote Sensing of Environment*, 112, 2988–2998.
- Balthazar, V., Vanacker, V. i Lambin, E. F. (2012). Evaluation and parameterization of ATCOR3 topographic correction method for forest cover mapping in mountain areas. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 436–450. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.03.010>
- Baraldi, A., Durieux, L., Simonetti, D., Conchedda, G., Holecz, F. i Blonda, P. (2010). Automatic spectral-rule-based preliminary classification of radiometrically calibrated SPOT-4/-5/IRS, AVHRR/MSG, AATSR, IKONOS/QuickBird/OrbView/GeoEye, and DMC/SPOT-1/-2 imagery- Part I: System design and implementation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(3), 1299-1325. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2032457>
- Berk, A., Bernstein, L. S., Anderson, G. P., Acharya, P. K., Robertson, D. C., Chetwynd, J. H. i Adler-Golden, S. M. (1998). MODTRAN Cloud and Multiple Scattering Upgrades with Application to AVIRIS. *Remote Sensing of Environment*, 65(3), 367–375. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00045-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00045-5)
- Bishop, M. P. i Colby, J. D. (2002). Anisotropic reflectance correction of SPOT-3 HRV imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 23(10), 2125–2131. <https://doi.org/10.1080/01431160110097231>
- Bork, E. W. i Su, J. G. (2007). Integrating LIDAR data and multispectral imagery for enhanced classification of rangeland vegetation: A meta analysis. *Remote Sensing of Environment*, 111, 11–24.

- Borràs, J., Delegido, J., Pezzola, A., Pereira, M., Morassi, G. i Camps-Valls, G. (2017). Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes sentinel-2. *Revista de Teledetección*, (48), 55-66. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7133>
- Broszeit, A. i Ashraf, S. (2013). Using different atmospheric correction methods to classify remotely sensed data to detect liquefaction of the February 2011 earthquake in Christchurch. *SIRC NZ 2013 – GIS and Remote Sensing Research Conference*. Dunedin, Nova Zelanda.
- Burel, F. i Baudry, J. (2002). *Ecología del Paisaje. Conceptos, métodos y aplicaciones*. 1ra ed. Traductora: Suárez, S. Madrid. Ediciones undi-Prensa. ISBN 84 - 8476 - 014 - 6.
- Carracedo, J.C. (2008). Segunda parte. Evolución del volcanismo de las Islas Canarias occidentales: El Hierro. *Los volcanes de las Islas Canarias Vol. IV: La Palma, La Gomera, El Hierro*. Madrid: Editorial Rueda S.L., pp 45–93. ISBN 978 - 84 - 7207 - 190 - 2.
- Carracedo, J.C., Badiola, E. R., Guillou, H., De la Nuez, J. i Pérez Torrado, F. J. (2001). Geology and volcanology of La Palma and El Hierro, western canaries. *Estudios Geológicos*, 57, 175–273.
- Carracedo, J. C., Troll, V. R., Zaczek, K., Rodríguez-González, A., Soler, V. i Deegan, F. M. (2015). The 2011-2012 submarine eruption off El Hierro, Canary Islands: New lessons in oceanic island growth and volcanic crisis management. *Earth-Science Reviews*, 150, 168-200 <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.06.007>
- Chavez, P. S. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24, 459–479. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90019-3)
- Chuvieco, E. (2008). Análisis digital de imágenes: correcciones y realces. In *Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona: Ariel, pp. 223–306. ISBN 978-84-344-8072-8.
- Civco, D. L. (1989). Topographic normalization of Landsat Thematic Mapper digital imagery. *Photogrammetric Engineering*, 55(9), 1303.
- Colby, J. D. (1991). Topographic Normalization in Rugged Terrain. *Photogrammetric Engineering i Remote Sensing*, 57(5), 531–537.
- Conde, M. C., Perelman, S. B. i Cerezo, A. (2009). Efecto de diferentes métodos de clasificación de imágenes satelitales sobre índices de paisaje. *Revista de Teledetección*, 32, 5–13.
- Congalton, R. G. (1991). A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote sensing of environment*, 37(1), 35-46.
- Cristóbal-Roselló, J. (2008). *Estimació de l'evapotranspiració real i d'altres fluxos d'energia mitjançant la modelització SIG i la Teledetecció a Catalunya: aplicació amb sensors de mitjana i baixa resolució espacial*. Universitat Autònoma de Barcelona.

- Cuartero, A. i Felicísimo, A. M. (2003). Rectificación y ortorrectificación de imágenes de satélite: análisis comparativo y discusión. *GeoFocus*, 3, 45–57.
- Del Arco, M.-J., González-González, R., Garzón-Machado, V. i Pizarro-Hernández, B. (2010). Actual and potential natural vegetation on the Canary Islands and its conservation status. *Biodiversity and Conservation*, 19(11), 3089–3140. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9881-2>
- Del Arco, M. J., Wildpret, W., Perez, P. L., Rodriguez, O., Acebes, J. R., Garcia, A., Martín, V.E., Reyes, J.A., Salas, M., Diaz, M.A., Bermejo, J.A., González, R., Cabrera, M.V. i Garcia Ávila, S. (2006). *Memoria del mapa de vegetación de Canarias*. Santa Cruz de Tenerife: Cartografía de Canarias, p. 353 - 465. ISBN 978 - 84 - 611 - 3811 - 11.
- Donmez, C., Berberoglu, S., Erdogan, M. A., Tanriover, A. A. i Cilek, A. (2015). Response of the regression tree model to high resolution remote sensing data for predicting percent tree cover in a Mediterranean ecosystem. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(2), 4. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4151-5>
- Dribault, Y., Chokmani, K. i Bernier, M. (2012). Monitoring Seasonal Hydrological Dynamics of Minerotrophic Peatlands Using Multi-Date GeoEye-1 Very High Resolution Imagery and Object-Based Classification. *Remote Sensing*, 4(7), 1887–1912. <https://doi.org/10.3390/rs4071887>
- Drusch, M., Bello, U., Del Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P., Meygret, A., Spoto, F., Sy, O., Marchese, F. i Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA 's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>
- ESA. (2012). GLOBAL MONITORING FOR ENVIRONMENT AND SECURITY.
- Escobar-Perez, J. i Cuervo-Martínez, A. (2008). Validez de contenido y juicio de expertos: una aproximación a su utilización. *Avances En Medición*, (6), 27–36.
- Espinoza-Molina, D., Bahmanyar, R., Díaz-Delgado, R., Bustamante, J. i Datcu, M. (2017). Land-cover change detection using local feature descriptors extracted from spectral indices. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, p. 1938-1941. <https://doi.org/DOI: 10.1109/IGARSS.2017.8127358>
- Esri. (2018). Principios básicos de georreferenciación de un dataset ráster. Consulta a <<http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/fundamentals-for-georeferencing-a-raster-dataset.htm>>
- Everitt J. H., Yang, C. i Johnson H B. (2007). Canopy Spectra and Remote Sensing of Ashe Juniper and Associated Vegetation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 130(1), 403–413. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9407-2>
- Fahrig, L. (2003). Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34(1), 487-515. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419>

- Farina, A. (2006). *Principles and methods in landscape ecology : toward a science of landscape*. Springer, Dordrecht. ISBN 978-1-4020-5535-5.
- Fassnacht, F. E., Latifi, H., Stereńczak, K., Modzelewska, A., Lefsky, M., Waser, L. T., Straub, C. i Ghosh, A. (2016). Review of studies on tree species classification from remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 186, 64–87. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.08.013>
- Feng, Y., Liu, Y. i Tong, X. (2018). Spatiotemporal variation of landscape patterns and their spatial determinants in Shanghai, China. *Ecological Indicators*, 87, 22-32. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.034>
- Fernandes, J. P., Guiomar, N., Freire, M. i Gil, A. (2014). Applying an integrated landscape characterization and evaluation tool to small islands (Pico, Azores, Portugal). *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 14(2), 243–266. <https://doi.org/10.5894/rgci325>
- Fernandes, J. P., Guiomar, N. i Gil, A. (2015). Strategies for conservation planning and management of terrestrial ecosystems in small islands (exemplified for the Macaronesian islands). *Environmental Science & Policy*, 51, 1–22. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.03.006>
- Fernández-Palacios, J.-M., Otto, R., Delgado, J.-D., Arévalo, J. R., Naranjo, A., González Artilles, F., Morici, C. i Barone, R. (2008). Los bosques termofilos de Canarias. *Proyecto IFE04/NAT/ES/000064. Excmo. Santa Cruz de Tenerife. Cabildo Insular de Tenerife*.
- Fernández-Pello, L. (1989). *Los paisajes naturales de la isla de El Hierro*. Centro de la Cultura Popular Canaria.
- Fernández-Pello, L., González, M. L. i Quirantes, F. (2006). La influencia de los factores geográficos en la organización interna de un bosque residual: el Sabinar de la Dehesa (El Hierro, Islas Canarias). *Actas III Coloquio Internacional Sobre Sabinares y Enebrales*, 263–271. Soria.
- Fernandez, I., Aguilar, F. J., Alvarez, M. F. i Aguilar, M. A. (2013). Non-parametric object-based approaches to carry out ISA classification from archival aerial orthoimages. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6(4), 2058-2071. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2013.2240265>
- Fernández N., Paruelo, J. M. i Delibes, M. (2010). Ecosystem functioning of protected and altered Mediterranean environments: A remote sensing classification in Doñana, Spain. *Remote Sensing of Environment*, 114, 211–220.
- Folch, R. i Bruc, J. (2017). *Ambient, territori i paisatge. Valors i valoracions* (2na ed.). Barcelona: editorial Barcino. ISBN 978-84-7226-878-4.
- Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80, 185–201.
- Forman, R. T. (1995). Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology*, 10, 133–142.

- Forman, R. T. T. i Godron, M. (1981). Patches and structural components for landscape ecology. *Bioscience*, 31, 733–740.
- Forman, R. T. T. i Godron, M. (1986). Landscape Ecology. In *Landscape Ecology*. Nova York, NY, USA: John Wiley and Sons, Inc.
- Franco-Lopez, H., Ek, A. R. i Bauer, M. E. (2001). Estimation and mapping of forest stand density, volume, and cover type using the k-nearest neighbors method. *Remote Sensing of Environment*, 77(3), 251–274. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00209-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00209-7)
- Fraser, C. S. i Ravanbakhsh, M. (2009). Georeferencing from GeoEye-1 imagery: early indications of metric performance. *ISPRS Hannover Workshop*. Vol. 6
- Frohn, R. C. i Hao, Y. (2006). Landscape metric performance in analyzing two decades of deforestation in the Amazon Basin of Rondonia, Brazil. *Remote Sensing of Environment*, 100(2), 237–251. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2005.10.026>
- Von Gaisberg, M. i Stierstorfer, C. (2005). *The significance of geological traits for the speciation of endemic angiosperms on El Hierro (Canary Islands)*. 35(1), 39–52. <https://doi.org/10.1127/0340-269X/2005/0035-0039>
- García, M., Riaño, D., Chuvieco, E., Salas, J. i Danson, F. M. (2011). Multispectral and LiDAR data fusion for fuel type mapping using Support Vector Machine and decision rules. *Remote Sensing of Environment*, 115, 1369–1379. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.01.017>
- García, Mariano, Saatchi, S., Ustin, S. i Balzter, H. (2018). Modelling forest canopy height by integrating airborne LiDAR samples with satellite Radar and multispectral imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 66, 159–173. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.11.017>
- Gatziolis, D. i Andersen, H. E. (2008). A guide to LIDAR data acquisition and processing for the forests of the Pacific Northwest. *General Technical Reports*. PNW-GTR-768. Portland, OR: US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 32 p. 768.
- Gaulton, R. i Malthus, T. J. (2010). LiDAR mapping of canopy gaps in continuous cover forests: A comparison of canopy height model and point cloud based techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 31(5), 1193–1211.
- Gianinetto, M., Rusmini, M., Candiani, G., Via, G. D., Frassy, F., Maianti, P., Marchesi, A., Nodari, F.R. i Dini, L. (2014). Hierarchical classification of complex landscape with VHR pan-sharpened satellite data and OBIA techniques. *European Journal of Remote Sensing*, 47(1), 229–250. <https://doi.org/10.5721/EuJRS20144715>
- Gomes, D., Bicudo, R. F., Vicente, L. E. i Castro, D. (2015). Atmospheric correction of GeoEye-1 images using MODIS-based parameters. *Conference: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. João Pessoa.

- Gómez-Candón, D., López-Granados, F., Caballero-Novella, J. J., Peña-Barragán, J. M. i García-Torres, L. (2012). Understanding the errors in input prescription maps based on high spatial resolution remote sensing images. *Precision Agriculture*, 13(5), 581-593. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9270-9>
- Gustafson, E. J. (1998). Quantifying landscape spatial pattern: What is the state of the art? *Ecosystems*, Vol. 1, pp. 143–156. <https://doi.org/10.1007/s100219900011>
- Hagolle, O., Sylvander, S., Huc, M., Claverie, M., Clesse, D., Dechoz, C., Lonjou, V. i Poulain, V. (2015). SPOT-4 (Take 5): Simulation of Sentinel-2 Time Series on 45 Large Sites. *Remote Sensing*, 7(9), 12242–12264. <https://doi.org/10.3390/rs70912242>
- Hantson, S., Chuvieco, E., Pons, X., Domingo, C., Cea, C., Moré, G., Cristobal, J., Peces, J.J. i Tejeiro, J. A. (2011). Cadena de pre-procesamiento estándar para las imágenes Landsat del Plan Nacional de Teledetección. *Revista de Teledetección*, 36, 51–61.
- Hantson, S. i Chuvieco, E. (2011). Evaluation of different topographic correction methods for Landsat imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(5), 691–700. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.05.001>
- Hernández Padrón, C. E. (1987). *Flora y Vegetación Liguénica Epífita de los Sabinares Herreños*.
- Heydari, S. S. i Mountrakis, G. (2018). Effect of classifier selection, reference sample size, reference class distribution and scene heterogeneity in per-pixel classification accuracy using 26 Landsat sites. *Remote Sensing of Environment*, 204, 648–658. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2017.09.035>
- Hulet, A., Roundy, B. A., Petersen, S. L., Bunting, S. C., Jensen, R. R. i Roundy, D. B. (2014). Utilizing national agriculture imagery program data to estimate tree cover and biomass of piñon and juniper woodlands. *Rangeland Ecology and Management*, 67, 563–572. <https://doi.org/DOI:10.2111/REM-D-13-00044.1>
- Immitzer, M., Böck, S., Einzmann, K., Vuolo, F., Pinnel, N., Wallner, A. i Atzberger, C. (2018). Fractional cover mapping of spruce and pine at 1 ha resolution combining very high and medium spatial resolution satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 204(September 2017), 690–703. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.09.031>
- Immitzer, M., Vuolo, F. i Atzberger, C. (2016). First Experience with Sentinel-2 Data for Crop and Tree Species Classifications in Central Europe. *Remote Sensing*, 8, 16. <https://doi.org/doi:10.3390/rs8030166>
- Inglada, J., Arias, M., Tardy, B., Morin, D., Valero, S., Hagolle, O. i Dedieu, G. (2015). Benchmarking of algorithms for crop type land-cover maps using sentinel-2 image time series. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, p. 3993-3996 <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2015.7326700>
- Jensen, J. R. i Lulla, D. K. (1987). Introductory digital image processing: A remote sensing perspective. *Geocarto International*, 2(1), 65. <https://doi.org/10.1080/10106048709354084>

- Jones, H. G. i Vaughan, R. A. (2010). *Remote sensing of vegetation. Principles, techniques and applications* (oxford university Press, Ed.). Nova York, Estats Units d'Amèrica. ISBN 978-0199207794.
- Kardoulas, N. G., Bird, A. C. i Lawan, A. I. (1996). Geometric correction of SPOT and Landsat imagery: A comparison of map-and GPS-derived control points. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(10), 1173–1177.
- Ke, Y., Quackenbush, L. J. i Im, J. (2010). Synergistic use of QuickBird multispectral imagery and LIDAR data for object-based forest species classification. *Remote Sensing of Environment*, 114, 1141–1154. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.01.002>
- Sundseth, K. (2010). Natura 2000 en las Islas Canarias. In *Natura 2000 en la región macaronésica* (Comisión europea, p. 12). Luxemburg.
- Kolecka, N., Kozak, J., Kaim, D., Dobosz, M., Ginzler, C. i Psomas, A. (2015). Mapping Secondary Forest Succession on Abandoned Agricultural Land with LiDAR Point Clouds and Terrestrial Photography. *Remote Sensing*, 7(7), 8300–8322. <https://doi.org/10.3390/rs70708300>
- Krummel, J. R., Gardner, R. H., Sugihara, G., O'Neill, R. V. i Coleman, P. R. (1987). Landscape Patterns in a Disturbed Environment. *Oikos*, 48(3), 321. <https://doi.org/10.2307/3565520>
- Kuester, M. A. (2017). Absolute Radiometric Calibration : 2016v0 Absolute Radiometric Correction of DigitalGlobe Products. *Digital Globe*.
- Kupfer, J. A. (2012). Landscape ecology and biogeography: Rethinking landscape metrics in a post-FRAGSTATS landscape. *Progress in Physical Geography*, 36(3), 400–420.
- Landis, J. R. i Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159–174.
- Lausch, A., Blaschke, T., Haase, D., Herzog, F., Syrbe, R.-U., Tischendorf, L. i Walz, U. (2015). Understanding and quantifying landscape structure - A review on relevant process characteristics, data models and landscape metrics. *Ecological Modelling*, 295, 31–41.
- Lefsky, M. A., Cohen, W. B., Parker, G. G. i Harding, D. J. (2002). Lidar remote sensing for ecosystem studies. *BioScience*, 52(1), 19–30.
- Li, J., Hu, B. i Noland, T. L. (2013). Classification of tree species based on structural features derived from high density LiDAR data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 171–172, 104–114. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.11.012>
- Li, X., Zhou, W. i Ouyang, Z. (2013). Relationship between land surface temperature and spatial pattern of greenspace: What are the effects of spatial resolution? *Landscape and Urban Planning*, 114, 1–8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.02.005>
- Lillesand, T., Kiefer, R. i Chipman, J. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation*. 7na ed. Estats Units: Wiley. ISBN 978-0471152279.

- Lim, K., Treitz, P., Wulder, M., St-Onge, B. i Flood, M. (2003). LiDAR remote sensing of forest structure. *Progress in Physical Geography*, 27(1), 88–106. <https://doi.org/10.1191/0309133303pp360ra>
- Losada, A., Beltrán, E., Hernández, C. i Wild-pret de la Torre, W. (1984). Contribución al estudio de los briófitos epífitos de *Juniperus Phoenicea* L. en la isla del Hierro (I.Canarias). *Anales de Biología*, 2, 307–317.
- Lu, D. i Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*, 28(5), 823–870. <https://doi.org/10.1080/01431160600746456>
- Lustig, A., Stouffer, D. B., Roigé, M. i Worner, S. P. (2015). Towards more predictable and consistent landscape metrics across spatial scales. *Ecological Indicators*, 57, 11–21. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2015.03.042>
- Marzol, V. (2000). El clima. A: VV.AA. *Gran atlas temático de Canarias* Arafo- Tenerife, p. 87–106. ISBN 84-86733-15-4.
- Mas, J.-F., Gao, Y. i Pacheco, J. A. N. (2010). Sensitivity of landscape pattern metrics to classification approaches. *Forest Ecology and Management*, 259(7), 1215–1224. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.12.016>
- Masseti, A., Sequeira, M. M., Pupo, A., Figueiredo, A., Guiomar, N. i Gil, A. (2016). Assessing the effectiveness of RapidEye multispectral imagery for vegetation mapping in Madeira Island (Portugal). *European Journal of Remote Sensing*, 49(1), 643–672. <https://doi.org/10.5721/EuJRS20164934>
- Mazur, M., Zielińska, M., Boratyńska, K., Romo, A., Salva-Catarineu, M., Marcysiak, K. i Boratyński, A. (2018). Taxonomic and geographic differentiation of *Juniperus phoenicea* agg. based on cone, seed, and needle characteristics. *Systematics and Biodiversity*, 16(5), 469–482. <https://doi.org/10.1080/14772000.2018.1439120>
- McAlpine A. i Eyre, T. J. (2002). Testing landscape metrics as indicators of habitat loss and fragmentation in continuous eucalypt forests (Queensland, Australia). *Landscape Ecology*, 17(8), 711–728. <https://doi.org/10.1023/A:1022902907827>
- McGarigal, K. i Marks, B. (1995). *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure* (General Technical Report, Ed.). Portland. DOI: <https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-351>
- McGarigal, K. i Cushman, S. A. (2005). The gradient concept of landscape structure. *Issues and Perspectives in Landscape Ecology*, (Wiens 1989), 112–119. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511614415.013>
- McGarigal, K., Tagil, S. i Cushman, S. A. (2009). Surface metrics: An alternative to patch metrics for the quantification of landscape structure. *Landscape Ecology*, 24(3), 433–450. <https://doi.org/10.1007/s10980-009-9327-y>
- McGaughey, R. J. (2018). *FUSION/LDV v.3.70*. Washington,DC.

- McInerney, D. O. i Nieuwenhuis, M. (2009). A comparative analysis of kNN and decision tree methods for the Irish National Forest Inventory. *International Journal of Remote Sensing*, 30, 4937–4955. <https://doi.org/10.1080/01431160903022936>
- McRoberts, R. E., Tomppo, E. O., Finley, A. O. i Heikkinen, J. (2007). Estimating areal means and variances of forest attributes using the k-Nearest Neighbors technique and satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 111, 466–480. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.04.002>
- Meguro A, Y., & Fraser, C. (2010). Georeferencing accuracy of GeoEye-1 stereo imagery: Experiences in a Japanese test field. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 38(8), p. 1069-1072.
- Melin, M. (2017). Lidar and conservation guidelines. Consulta a:< <http://remote-sensing-biodiversity.org/lidar-and-conservation-guidelines/>>
- Metzler, J. W. i Sader, S. A. (2005). Model development and comparison to predict softwood and hardwood per cent cover using high and medium spatial resolution imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 26(17), 3749–3761. <https://doi.org/10.1080/01431160500104152>
- Minnaert, N. (1941). The reciprocity principle in lunar photometry. *Astrophysical Journal*, 93, 403–410.
- Neel, M. C., McGarigal, K. i Cushman, S. A. (2004). Behavior of class-level landscape metrics across gradients of class aggregation and area. *Landscape Ecology*, 19, 435–455.
- Ng, W. T., Rima, P., Einzmann, K., Immitzer, M., Atzberger, C. i Eckert, S. (2017). Assessing the potential of sentinel-2 and pléiades data for the detection of prosopis and vachellia spp. In Kenya. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs9010074>
- Nogales, M., Padrón, B., Padilla, D. P., Nieves, C. i Marrero, P. (2009). Germination patterns throughout an insular altitudinal gradient : The case of the Macaronesian endemic plant *Rubia fruticosa* Ait. (Rubiaceae) in El Hierro (Canary Islands). *Flora - Morphology Distribution Functional Ecology of Plants*, 204, 543–548. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2008.07.006>
- Nogué, J., Puigbert, L., Bretcha, G. i Losantos, A. (2013). *Reptes en la cartografia del paisatge. Dinàmiques territorials i valors intangibles* (Observatori del Paisatge de Catalunya, Ed.). Olot. ISBN: 978-84-616-2668-7.
- O'Neill, R. V., Krummel, J. R., Gardner, R. H., Sugihara, G., Jackson, B., DeAngelis, D. L., Milne B.T., Turner, M.G., Zygumt, B., Christensen, S.W., Dale, V.H. i Graham, R. L. (1988). Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1(3), 153–162. <https://doi.org/10.1007/BF00162741>
- O'Neill, Robert V., Hunsaker, C. T., Jones, K. B., Riitters, K. H., Wickham, J. D., Schwartz, P. M., Goodman, I.A., Jackson, B.L. i Baillargeon, W. S. (1997). Monitoring Environmental Quality at the Landscape Scale. *BioScience*, 47(8), 513–519. <https://doi.org/10.2307/1313119>

- Olaya, V. (2014). Sistemas de Información Geográfica. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C. E. i Wulder, M. A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42–57. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2014.02.015>
- Ono, A., Kajiwara, K., Honda, Y. i Ono, A. (2007). Development of vegetation index using radiant spectra normalized by their arithmetic mean. *Proceedings of 42nd Conference of the Remote Sensing Society of Japan*,. Tokyo, Japó.
- Otto, R., Barone, R., Delgado, J.-D., Arévalo, J.-R., Garzón-Machado, V., Cabrera-Rodríguez, F. i Fernández-Palacios, J.-M. (2012). Diversity and distribution of the last remnants of endemic juniper woodlands on Tenerife, Canary Islands. *Biodiversity and Conservation* , 21, 1811–1834.
- Pacifici, F. (2012). An automatic atmospheric compensation algorithm for very high spatial resolution imagery. *Society Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Defense, Security, Sensing, Baltimore, MD*. Paper 8390-32.
- Pacifici, F., Longbotham, N. i Emery, W. J. (2014). The importance of physical quantities for the analysis of multitemporal and multiangular optical very high spatial resolution images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(10), 6241–6256. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2013.2295819>
- Padró, J.-C., Pons, X., Aragonés, D., Díaz-Delgado, R., García, D., Bustamante, J., Pesquer, L., Domingo-Marimon, C., González-Guerrero, Ò, Cristóbal, J., Doktor, D. i Lange, M. (2017). Radiometric Correction of Simultaneously Acquired Landsat-7/Landsat-8 and Sentinel-2A Imagery Using Pseudoinvariant Areas (PIA): Contributing to the Landsat Time Series Legacy. *Remote Sensing*, 9(12), 1319.
- Pala, V. i Pons, X. (1995). Incorporation of relief in polynomial-based geometric corrections. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 61(7), 935–944.
- Pelletier, C., Valero, S., Inglada, J., Champion, N. i Dedieu, G. (2016). Assessing the robustness of Random Forests to map land cover with high resolution satellite image times series over large areas. *Remote Sensing of Environment*, 187, 156–168. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.10.010>
- Pérez, P., Vicente, M., Juanes Prats, F. i Rojo Núñez, I. (2006). Metodología aplicada para la estimación del número de pies de *Periploca angustifolia* mediante técnicas de teledetección. *Papeles de Geografía*, 43, 93–104.
- Petersen, S. L. i Stringham, T. K. (2008). Development of GIS-based models to predict plant community structure in relation to western juniper establishment. *Forest Ecology and Management*, 256(5), 981–989. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.05.058>

- Pino, J., Rodà, F., i Guirado, M. (2006). *CUIMPB-El paisaje y la gestión del territorio Incorporación de criterios paisajísticos en la ordenación del territorio y el urbanismo La ecología del paisaje y la gestión de la matriz de espacios abiertos*.
- Podger, N. E. i Colwell, W. B. (2011) *GeoEye-1 Radiance at Aperture and Planetary Reflectance*. Recuperat de http://www.spaceimaging.com/CorpSite/assets/docs/technical-papers/2011/GeoEye-1_Radiance_at_Aperture.pdf.
- Poli, D. (2012). Review of developments in geometric modelling for high resolution satellite pushbroom sensors. *The Photogrammetric Record*, 27(137), 58–73.
- Poli, D., Remondino, F., Angiuli, E. i Agugiaro, G. (2015). Radiometric and geometric evaluation of GeoEye-1, WorldView-2 and Pléiades-1A stereo images for 3D information extraction. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 100, 35–47. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.04.007>
- Pons, X, i Solé-Sugrañes, L. (1994). A Simple Radiometric Correction Model to Improve Automatic Mapping of Vegetation from Multispectral Satellite Data. *Remote Sensing of Environment*, 48, 191–204. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90141-4](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90141-4)
- Pons, X. (2004). *MiraMon. Sistema d'Informació Geogràfica i software de Teledetecció*. <https://doi.org/84-931323-4-9>
- Pons, X. i Arcalís, A. (2012). *Diccionari terminològic de teledetecció*. Barcelona: Institut Cartogràfic de Catalunya: Enciclopèdia Catalana). 597 p (Diccionaris terminològics). ISBN 978 - 84 - 393 - 9008 - 4.
- Pons, X. i Pesquer, L. (2010). Fully Automated and Coherent Radiometric (Atm + Top) Correction. *Proceedings of ESA Living Planet Symposium, Held on 28 June - 2 July 2010 at Bergen in Norway, 2010* (July).
- Qian, Y., Zhou, W., Yan, J., Li, W. i Han, L. (2015). Comparing machine learning classifiers for object-based land cover classification using very high resolution imagery. *Remote Sensing*, 7(1), 153-168. <https://doi.org/10.3390/rs70100153>
- Radoux, J., Chomé, G., Jacques, D. C., Waldner, F., Bellemans, N., Matton, N., Lamarche, C., D'andrimont, R. i Defourny, P. (2016). Sentinel-2's Potential for Sub-Pixel Landscape Feature Detection. *Remote Sensing*, 8, 488. <https://doi.org/10.3390>
- Reese, H., i Olsson, H. (2011). C-correction of optical satellite data over alpine vegetation areas: A comparison of sampling strategies for determining the empirical c-parameter. *Remote Sensing of Environment*, 115(6), 1387–1400. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.01.019>
- Riaño, D., Chuvieco, E., Salas, J. i Aguado, I. (2003). Assessment of different topographic corrections in Landsat-TM data for mapping vegetation types. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(5 PART 1), 1056–1061. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2003.811693>

- Richards, J. A. i Jia, X. (2006). *Remote sensing digital image analysis: an introduction*. Springer, Berlin. ISBN 978-3-642-30062-2.
- Richter, R. (1997). Correction of atmospheric and topographic effects for high spatial resolution satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 18(5), 1099–1111. <https://doi.org/10.1080/014311697218593>
- Richter, R. i Schläpfer, D. (2002). Geo-atmospheric processing of airborne imaging spectrometry data Part 2: atmospheric / topographic correction. *International Journal of Remote Sensing*, 23(13), 2631–2649.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Third ERTS Symposium*, 309–317. Washington.
- Rózycki, S. i Osińska-Skotak, K. (2016). A review of the process of geometric corrections of vhrs images: Ikonos, GeoEye, Worldview and Pléiades. *Surveying Geology & Mining Ecology Management*, 2, 791–798.
- Ruiz, J. (2000). Curso de cristalografía óptica. Consulta a: < <https://www2.uned.es/cristamine/inicio.htm>>
- Saldaña, M. del M. (2013). Generación de datos georreferenciados de muy alta resolución a partir de imágenes de los satélites GeoEye-1 y WorldView-2. Universidad de Almería, p. 241.
- Salvà-Catarineu, M., Salvador-Franch, F., Lopez-Bustins, J. A., Padrón-Padrón, P. A. i Cortés-Lucas, A. (2016). On the detection of thermohygrometric differences of *Juniperus turbinata* habitat between north and south faces in the island of El Hierro (Canary Islands). *EGU General Assembly*, Vol. 18, EGU2016-8722. <https://doi.org/EPSC2016-8722>
- Salvà-Catarineu, M., Salvador-Franch, F., Padrón-Padrón, P. A., Cortés, A., & López-Bustins, J. A. (2014). Termohigrometría del aire y del suelo de los sabinars de la isla de El Hierro (Canarias). In S. Fernandez-Montes & F. S. Rodrigo (Eds.), *IX Congreso de la Asociación Española de Climatología (AEC): Cambio Climático y Cambio Global* (1st ed., pp. 779–788). Almería: Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC).
- Salvà-Catarineu, M. i Romo-Díez, À. (2008). Uso de TIG la conservación del sabinar de *Juniperus turbinata* subsp. *canariensis* en la isla de El Hierro. *Tecnologías de La Información Geográfica Para El Desarrollo Territorial. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de La ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria*, p. 766–776.
- Salvà-Catarineu, M., Romo, À. i Salvador Franch, F. (2012). Estructura de edad y biodiversidad de los sabinars de *Juniperus turbinata* Guss. en El Hierro (Islas Canarias). *Las Zonas de Montaña: Gestión y Biodiversidad*, p. 40–45.
- Salvà-Catarineu, M., Romo, À., Salvador Franch, F., Cortés Lucas, A., Padrón, P., Boratynski, A., Rodríguez, A. i López, J. A. (2014). *Estructura y características ambientales de los sabinars de Juniperus turbinata Guss . en la isla de El Hierro (Islas Canarias)*. (c), p. 1904–1909.

- Salvador, R., Pons, X. i Diego, F. (1996). Validación de un método de corrección radiométrica sobre diferentes áreas montañosas. *Revista de Teledetección*, 7, 3–7.
- Santos, A. (2000). La vegetación. In Editorial Interinsular Canaria (Ed.), *Gran atlas temático de Canarias*.
- Santos, A. (1976). Notas sobre la vegetación potencial de la isla de El Hierro. *Anales Del Instituto Botánico Cavanilles*, 261, 249–261.
- Saura, S. (2004). Comparación de índices de fragmentación estimados en imágenes de satélite con distinta resolución espacial. *Revista de Teledetección*, 21, 89–93.
- Schweichel, R. (1999). *Die Vegetation der Kanareninsel El Hierro: Anwendung von Fernerkundungsdaten (SPOT 2)*. BIS Verlag. ISBN 3-8142-0681-9.
- Serra, P., Moré, G. i Pons, X. (2008). *Consequences on Mediterranean crop mapping by combining raster and vector data: enrichment of a SIGPAC database using remote sensing*.
- Serra, P., Pons, X. i Saurí, D. (2003). Post-classification change detection with data from different sensors: some accuracy considerations. *International Journal of Remote Sensing*, 24(16), 3311–3340. <https://doi.org/10.1080/714110283>
- Shepherd, J. D. i Dymond, J. R. (2003). Correcting satellite imagery for the variance of reflectance and illumination with topography. *International Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/01431160210154029>
- Smith, A. M. S., Strand, E. K., Steele, C. M., Hann, D. B., Garrity, S. R., Falkowski, M. J. i Evans, J. S. (2008). Production of vegetation spatial-structure maps by per-object analysis of juniper encroachment in multitemporal aerial photographs. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 34(sup2), S268–S285. <https://doi.org/10.5589/m08-048>
- Sola, I., García-Martín, A., Sandonís-Pozo, L., Álvarez-Mozos, J., Pérez-Cabello, F., González-Audícana, M. i Llovería, R. M. (2018). Assessment of atmospheric correction methods for Sentinel-2 images in Mediterranean landscapes. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 73, 63–76. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.05.020>
- Solano-Correa, Y. T., Bovolo, F. i Bruzzone, L. (2018). An Approach for Unsupervised Change Detection in Multitemporal VHR Images Acquired by Different Multispectral Sensors. *Remote Sensing*, 10(4).
- SPOT IMAGE. (2010). *SPOT satellite technical data* (p. 4). p. 4.
- Tao, C. V. i Hu, Y. (2001). A comprehensive study of the rational function model for photogrammetric processing. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67(12), 1347–1357.
- Teillet, P. M., Guindon, B. i Goodenough, D. G. (1982). On the slope-aspect correction of multispectral scanner data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 8(2), 84–106.

- Thuiller, W., Araújo, M. B. i Lavorel, S. (2003). Generalized models vs. classification tree analysis: Predicting spatial distributions of plant species at different scales. *Journal of Vegetation Science*, *14*, 669–680.
- Tomppo, E. i Halme, M. (2004). Using coarse scale forest variables as ancillary information and weighting of variables in k-NN estimation: A genetic algorithm approach. *Remote Sensing of Environment*, *92*(1), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.04.003>
- Toutin, T. (2004). Review article: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. *International Journal of Remote Sensing*, *25*(10), 1893–1924. <https://doi.org/10.1080/0143116031000101611>
- Troll, C. (1939). Luftbildplan und ökologische Bodenforschung. *Zeitschrift Der Gesellschaft Fur Erdkunde Zu Berlin*, 241–298.
- Turner, M. G. (1989). Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics*, *20*, 171–197.
- Turner, M. G. (2005). Landscape Ecology: What Is the State of the Science? *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, *36*(1), 319–344. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.36.102003.152614>
- Tzanopoulos, J. i Vogiatzakis, I. N. (2011). Processes and patterns of landscape change on a small Aegean island: The case of Sifnos, Greece. *Landscape and Urban Planning*, *99*, 58–64.
- Uuemaa, E., Mander, Ü. i Marja, R. (2013). Trends in the use of landscape spatial metrics as landscape indicators: A review. *Ecological Indicators*, *28*, 100–106. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.07.018>
- van der Werff, H. i Van der Meer, F. (2015). Sentinel-2 for mapping iron absorption feature parameters. *Remote Sensing*, *7*(10), 12635–12653. <https://doi.org/10.3390/rs71012635>
- Vanonckelen, S., Lhermitte, S. i Van Rompaey, A. (2013). The effect of atmospheric and topographic correction methods on land cover classification accuracy. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *24*, 9-21. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.02.003>
- Vermote, E. F., Tanre, D., Deuze, J. L., Herman, M. i Morcette, J. (1997). Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: an overview. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *35*(3), 675–686. <https://doi.org/10.1109/36.581987>
- Vidal-Macua, J. J. (2017). *Análisis de factores determinantes de las transiciones forestales y el abandono de cultivos en el ámbito mediterráneo. Un modelo de dinámica de cubiertas del suelo basado en Teledetección, SIG y Boosted Regression Trees*. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Vidal-Macua, J. J., Zabala, A., Ninyerola, M., i Pons, X. (2016). Developing spatially and thematically detailed backdated maps for land cover studies. *International Journal of Digital Earth*, *10*(2), 175–206. <https://doi.org/10.1080/17538947.2016.1213320>

- Vuolo, F., Zóltak, M., Pipitone, C., Zappa, L., Wenng, H., Immitzer, M., Weiss, M., Baret, F. i Atzberger, C. (2016). Data service platform for Sentinel-2 surface reflectance and value-added products: system use and examples. *Remote Sensing*, 8(11), 938.
- Wang, J., Xiao, X., Qin, Y., Doughty, R. B., Dong, J. i Zou, Z. (2018). Characterizing the encroachment of juniper forests into sub-humid and semi-arid prairies from 1984 to 2010 using PALSAR and Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 205, 166–179. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.11.019>
- Wiens, A. J. (1989). *The ecology of bird communities*, 2. Cambridge: University Press. ISBN: 9780511608568
- Xiaolin, Z., Desheng, L., Zhu, X. i Liu, D. (2014). Accurate mapping of forest types using dense seasonal landsat time-series. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 96, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjrs.2014.06.012>
- Xie, Y., Sha, Z. i Yu, M. (2008). Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *Journal of Plant Ecology*, 1(1), 9–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/jpe/rtm005>
- Yang, J.-M. i Yu, P.-T. (2010). A Nonparametric Feature Extraction and Its Application to Nearest Neighbor Classification for Hyperspectral Image Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(3), 1279–1293.
- Yu, Q., Gong, P., Clinton, N., Biging, G., Kelly, M. i Schirokauer, D. (2006). Object-based Detailed Vegetation Classification with Airborne High Spatial Resolution Remote Sensing Imagery. *Photogrammetric Engineering i Remote Sensing*, 72(7), 799–811.
- Zengin, H., Değermenci, A. S. i Bettinger, P. (2018). Analysis of temporal changes in land cover and landscape metrics of a managed forest in the west Black Sea region of northern Turkey: 1970–2010. *Journal of Forestry Research*, 29(1), 139–150. <https://doi.org/10.1007/s11676-017-0423-6>
- Zhao, W., Tamura, M. i Takahashi, H. (2001). Atmospheric and spectral corrections for estimating surface albedo from satellite data using 6S code. *Remote Sensing of Environment*, 76(2), 202–212. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00204-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00204-2)

ANNEXOS

ANNEXOS

Annex 1. Punts de control (GCP) de les imatges GE-1

Taula A 1. Els punts de control de la part nord de la imatge de satèl·lit GE-1. Les dues primeres columnes són els punts identificats a les imatges i la tercera i quarta correspon als punts de referència.

Nº	Cel·la img X	Cel·la img Y	CGP X	GCP Y
1	795065,17	3077226,79	795134,62	3077259,33
2	795678,70	3076608,38	795739,56	3076635,83
3	794609,67	3076435,29	794672,78	3076462,81
4	794646,92	3076619,31	794710,97	3076648,96
5	794883,86	3076666,62	794946,46	3076695,12
6	794912,33	3076692,47	794974,97	3076721,51
7	795052,40	3076686,54	795116,48	3076716,33
8	795048,71	3076699,95	795112,99	3076729,58
9	795165,25	3077085,35	795229,52	3077114,93
10	795471,12	3077332,35	795538,47	3077362,36
11	795582,27	3077370,91	795649,80	3077402,16
12	796184,30	3077223,85	796242,87	3077250,07
13	796103,70	3077158,89	796164,98	3077185,95
14	795807,69	3077489,71	795872,38	3077519,29
15	794828,89	3076429,68	794891,06	3076457,89
16	794795,48	3076420,56	794857,93	3076449,00
17	794388,89	3076591,20	794454,89	3076621,93
18	794347,28	3076587,71	794413,51	3076618,33
19	794116,36	3076593,50	794186,92	3076626,57
20	794764,67	3076925,97	794832,58	3076957,36
21	803604,25	3079948,02	803435,21	3079872,17
22	803552,17	3079864,27	803376,37	3079786,66
23	802894,49	3083119,27	802865,86	3083105,60
24	802426,77	3083307,05	802413,69	3083300,10
25	802422,63	3083287,48	802408,45	3083279,62
26	802348,24	3083444,09	802345,85	3083441,52
27	802322,55	3083443,72	802320,34	3083441,09
28	802232,62	3083451,66	802230,91	3083449,98
29	801234,82	3083064,19	801247,84	3083070,00
30	799760,68	3082738,76	799797,71	3082755,04
31	799783,68	3082796,22	799823,32	3082812,61
32	799406,52	3081198,25	799359,74	3081175,48
33	799614,25	3077035,23	799315,35	3076897,14
34	803139,43	3081125,23	803000,77	3081062,95
35	801972,35	3081909,09	801899,35	3081875,04
36	798255,64	3080375,30	798160,85	3080330,01
37	798333,91	3080357,15	798236,31	3080310,78

38	797860,22	3078915,19	797668,78	3078825,49
39	797908,66	3079019,85	797720,38	3078932,25
40	798308,65	3078830,28	798107,47	3078737,28
41	798484,20	3078930,05	798284,96	3078839,51
42	798681,41	3079093,63	798489,05	3079005,60
43	798777,49	3079129,91	798588,27	3079040,66
44	798801,00	3078987,01	798601,17	3078895,14
45	799014,78	3078966,56	798812,17	3078872,98
46	798034,54	3080622,73	797959,51	3080586,02
47	799200,54	3080773,35	799122,44	3080736,16
48	800557,89	3082053,34	800538,34	3082041,82
49	802951,38	3082930,00	802910,58	3082910,27
50	800402,15	3081730,37	800365,35	3081712,05
51	800333,74	3081744,57	800299,87	3081727,13
52	800355,28	3081720,41	800319,18	3081701,73
53	800324,20	3081710,05	800288,23	3081691,81
54	800371,75	3081656,87	800328,23	3081636,66
55	800418,03	3081581,71	800369,34	3081558,02
56	801937,10	3083519,31	801950,06	3083524,83
57	798370,45	3078495,58	798148,45	3078391,99
58	804625,66	3076838,76	804658,67	3076850,90
59	804624,21	3076848,95	804655,36	3076860,36
60	804631,68	3076860,35	804662,38	3076871,60
61	804627,07	3076875,72	804656,55	3076885,76
62	806905,23	3079435,84	806979,54	3079463,82
63	806934,68	3079407,84	807010,49	3079437,15
64	806832,48	3079545,31	806905,88	3079573,84
65	806843,22	3079517,61	806916,20	3079545,90
66	806803,27	3079617,06	806875,08	3079644,96
67	806769,74	3079655,53	806839,52	3079682,26
68	806841,34	3079808,76	806912,82	3079836,83
69	806669,06	3080570,11	806739,88	3080598,15
70	806635,19	3080586,51	806706,30	3080614,51
71	806569,74	3080788,38	806642,78	3080817,52
72	806533,52	3080766,44	806605,73	3080794,90
73	806505,82	3080817,21	806578,10	3080846,29
74	806494,42	3080806,35	806566,62	3080834,97
75	805470,27	3082113,32	805539,47	3082140,75
76	805452,74	3082122,97	805521,26	3082151,44
77	805253,75	3082670,13	805321,99	3082698,35
78	805294,69	3082655,96	805365,14	3082684,58
79	805283,77	3082650,76	805353,04	3082679,90
80	805247,49	3082637,06	805315,80	3082666,15
81	805223,63	3082643,77	805291,52	3082672,10
82	805105,63	3082620,22	805160,66	3082642,71

83	806309,00	3080771,92	806379,33	3080799,64
84	806254,33	3080753,44	806319,90	3080779,17
85	806268,69	3080756,97	806335,67	3080783,72
86	804665,03	3076833,15	804703,86	3076848,11
87	804692,72	3076777,95	804737,92	3076795,37
88	804607,77	3076817,68	804641,74	3076830,19
89	804671,87	3076805,83	804712,96	3076821,62
90	805743,07	3078186,27	805759,08	3078192,40
91	806038,98	3078477,42	806073,04	3078489,29
92	806009,62	3078457,96	806042,61	3078469,98
93	806086,68	3078578,69	806125,98	3078593,55
94	806095,57	3078584,91	806134,87	3078600,11
95	806080,29	3078570,22	806118,57	3078585,08
96	806040,15	3078643,40	806077,50	3078656,63
97	806079,80	3078640,58	806119,09	3078654,88
98	806052,60	3078635,76	806091,15	3078649,80
99	806211,42	3079252,38	806256,61	3079269,58
100	806198,95	3079256,80	806243,99	3079273,53
101	806301,27	3079258,41	806354,80	3079278,19
102	806237,83	3079320,88	806282,10	3079338,36
103	806273,61	3079373,06	806320,04	3079391,54
104	806423,74	3079325,40	806484,24	3079348,45
105	806514,73	3079304,70	806578,72	3079328,62
106	806540,24	3079299,16	806604,81	3079324,22
107	806814,72	3079176,58	806888,78	3079205,30
108	806908,01	3079212,53	806983,55	3079242,45
109	806904,79	3079198,77	806981,65	3079228,32
110	806893,22	3079188,56	806969,26	3079217,36
111	806877,35	3079274,16	806951,23	3079302,97
112	806914,62	3079235,88	806990,44	3079265,19
113	806805,02	3079891,87	806870,96	3079917,57
114	806822,96	3079925,62	806888,95	3079951,23
115	806706,96	3080087,35	806775,50	3080114,21
116	806635,12	3080199,36	806702,24	3080225,35
117	806566,07	3080328,43	806630,22	3080354,14
118	806598,41	3080354,97	806665,49	3080380,76
119	806562,50	3080384,24	806629,35	3080410,23
120	806558,02	3080456,22	806626,49	3080482,78
121	806536,54	3080447,59	806604,43	3080474,21
122	806497,90	3080503,38	806566,80	3080529,77
123	806555,95	3080494,57	806625,06	3080521,36
124	806491,35	3080570,76	806561,56	3080598,51
125	806532,18	3080545,05	806603,32	3080573,27
126	806552,30	3080609,12	806623,64	3080637,72
127	806155,10	3080946,09	806225,48	3080973,24

128	806101,14	3081053,21	806168,19	3081079,71
129	806135,18	3081117,71	806208,83	3081145,97
130	806103,12	3081113,17	806175,81	3081142,58
131	806079,14	3081187,83	806154,64	3081217,93
132	805968,75	3081320,07	806042,42	3081350,45
133	805940,49	3081303,83	806009,72	3081330,93
134	805924,59	3081347,46	805995,11	3081375,54
135	805925,91	3081397,19	806000,83	3081426,97
136	805823,50	3081508,24	805896,90	3081538,93
137	805203,54	3081565,00	805227,30	3081574,90
138	805599,73	3081976,59	805671,96	3082005,17
139	805642,39	3081955,39	805715,01	3081984,91
140	805532,09	3082044,96	805601,77	3082073,28
141	804709,24	3082823,95	804722,29	3082827,03
142	804631,72	3082683,33	804631,01	3082681,18
143	804702,85	3082775,85	804712,33	3082778,73
144	804727,09	3082815,55	804738,36	3082819,85
145	805299,15	3082526,59	805367,32	3082555,14
146	805319,94	3082602,25	805392,19	3082632,66
147	805188,66	3082538,97	805247,20	3082564,66
148	805351,79	3082505,53	805423,27	3082536,09
149	805388,04	3082346,98	805457,74	3082374,98
150	805340,79	3082404,43	805408,84	3082432,77
151	805334,48	3082368,68	805401,22	3082396,15
152	805394,47	3082236,17	805463,89	3082263,53
153	805402,00	3082200,53	805470,56	3082228,93
154	805482,69	3082181,45	805552,47	3082210,67
155	805214,68	3081834,37	805248,99	3081848,57
156	805207,27	3081837,09	805239,04	3081850,16
157	805206,62	3081796,94	805239,46	3081810,37
158	805211,97	3081796,08	805246,34	3081810,26
159	805214,72	3081794,81	805250,05	3081809,20
160	805202,51	3081805,71	805233,75	3081819,05
161	805193,26	3081766,10	805220,89	3081777,82
162	805206,62	3081760,31	805238,77	3081774,01
163	805198,36	3081774,57	805227,98	3081787,13
164	804584,44	3082130,46	804551,58	3082117,83
165	804591,06	3082140,18	804559,85	3082125,77
166	804609,64	3082187,07	804580,35	3082174,72
167	804586,58	3082291,14	804560,84	3082280,88
168	804646,03	3082773,54	804647,43	3082772,94
169	804794,43	3082999,06	804823,52	3083011,68
170	804799,32	3083002,70	804828,02	3083014,32
171	804789,81	3082961,64	804817,09	3082972,70
172	804855,94	3079767,63	804773,04	3079727,95

173	806063,83	3079317,12	806098,22	3079329,45
174	806049,95	3079322,50	806083,00	3079334,35
175	806173,47	3079221,02	806216,26	3079237,73
176	806282,21	3079043,17	806333,74	3079062,29
177	806213,35	3079017,38	806261,46	3079035,69
178	806217,93	3079051,74	806266,43	3079069,66
179	806212,36	3079053,64	806260,29	3079071,88
180	805935,91	3078917,18	805959,97	3078925,76
181	805990,36	3078893,58	806019,13	3078904,10
182	806104,92	3078848,68	806145,01	3078863,16
183	806086,82	3078838,15	806124,80	3078852,26
184	806107,65	3078814,59	806146,49	3078828,87
185	806102,01	3078800,85	806140,14	3078815,54
186	806080,80	3078824,08	806117,62	3078837,45
187	806069,14	3078777,78	806104,49	3078790,82
188	806051,45	3078776,14	806085,60	3078788,77
189	806070,26	3078721,73	806106,05	3078734,11
190	805387,63	3077852,26	805387,46	3077851,54
191	805003,11	3079958,85	804942,01	3079929,84
192	805075,42	3080199,00	805029,73	3080178,19
193	804829,07	3080317,11	804753,16	3080284,22
194	804862,12	3080343,29	804794,50	3080314,64
195	805237,58	3079225,47	805188,91	3079205,47
196	805728,26	3078642,83	805730,02	3078641,83
197	805830,32	3078420,15	805850,19	3078426,78
198	805823,98	3078072,69	805850,14	3078082,08
199	805693,45	3078091,74	805707,73	3078096,08
200	805705,67	3078107,42	805719,05	3078111,42
201	805631,46	3078109,92	805640,77	3078112,49
202	805700,33	3078392,17	805703,58	3078391,89
203	804631,62	3078444,93	804532,10	3078402,50
204	804579,20	3077571,74	804532,37	3077551,87
205	804552,79	3077594,11	804501,41	3077571,89
206	804658,09	3078192,94	804570,21	3078156,16
207	805076,76	3080644,89	805048,21	3080630,20
208	806356,64	3078890,24	806414,78	3078912,46
209	806860,95	3079630,69	806933,65	3079659,08
210	787451,07	3070782,82	787099,05	3070602,39
211	787380,07	3070769,22	787030,05	3070589,23
212	787386,34	3070754,27	787035,97	3070573,68
213	787241,92	3070730,48	786894,50	3070554,02
214	787292,81	3070762,43	786942,81	3070581,91
215	784281,47	3072426,60	784103,54	3072327,89
216	784210,04	3072548,00	784039,61	3072453,19
217	784185,94	3072630,71	784017,60	3072537,65

218	784227,68	3072665,46	784056,12	3072569,82
219	784186,02	3072775,80	784020,77	3072685,39
220	784150,15	3072813,94	783987,59	3072723,54
221	783480,87	3073617,26	783368,85	3073550,90
222	783340,25	3073759,09	783241,21	3073699,24
223	783101,74	3073776,66	783011,90	3073724,64
224	783348,13	3073459,05	783237,06	3073394,55
225	783696,35	3071916,54	783543,83	3071831,83
226	783662,88	3071925,71	783513,14	3071841,62
227	784487,09	3071449,03	784295,49	3071344,79
228	784557,35	3071379,78	784362,30	3071272,36
229	784605,81	3071422,12	784410,67	3071314,30
230	784708,88	3071409,50	784507,76	3071300,33
231	784899,53	3071481,47	784689,00	3071365,15
232	784429,72	3071679,71	784239,89	3071573,39
233	784434,98	3071728,18	784245,84	3071624,19
234	784207,55	3071644,70	784028,18	3071544,98
235	784105,72	3071695,35	783935,15	3071600,85
236	783974,31	3072956,08	783822,44	3072870,22
237	783767,61	3072885,49	783621,35	3072802,48
238	783446,76	3073085,12	783319,27	3073012,46
239	783768,81	3073153,66	783630,46	3073075,64
240	783753,41	3073238,90	783617,89	3073162,29
241	783705,79	3073327,44	783573,58	3073252,25
242	783591,52	3073598,17	783472,42	3073529,47
243	783489,51	3073731,51	783380,34	3073667,84
244	783482,04	3073707,95	783371,43	3073645,77
245	783373,11	3073729,31	783267,19	3073668,00
246	783303,01	3073785,77	783202,68	3073727,98
247	783110,97	3073179,98	783004,12	3073118,97
248	781213,55	3073243,94	781259,07	3073268,99
249	786511,78	3070820,80	786209,84	3070660,66
250	786337,26	3070834,31	786048,18	3070679,44
251	786404,67	3070883,32	786107,97	3070726,54
252	785727,49	3070662,92	785475,09	3070527,83
253	785548,57	3070714,66	785306,02	3070584,19
254	785460,73	3070728,96	785224,53	3070601,39
255	787762,09	3072655,92	787768,94	3072658,05
256	783316,07	3071785,35	783179,62	3071707,85
257	783388,88	3071931,67	783252,64	3071854,29
258	783417,42	3071876,16	783278,89	3071797,35
259	783535,54	3071880,66	783391,29	3071800,11
260	784004,64	3071715,30	783838,90	3071622,30
261	783000,11	3071569,53	782882,99	3071503,10
262	782927,08	3071737,25	782815,13	3071672,57

263	782831,62	3071397,62	782722,68	3071335,94
264	782778,19	3070773,97	782664,22	3070708,79
265	783053,51	3070767,38	782935,79	3070700,88
266	783224,31	3071041,02	783097,45	3070968,95
267	783432,90	3072286,26	783296,05	3072208,77
268	783413,62	3072267,74	783278,12	3072190,99
269	783301,25	3072216,35	783170,16	3072142,48
270	783023,46	3072633,26	782909,79	3072568,22
271	782621,02	3072279,04	782530,10	3072227,23
272	782635,07	3070888,27	782528,81	3070827,43
273	795246,05	3076157,85	795305,60	3076186,00
274	788153,86	3073179,44	788217,30	3073210,69
275	788132,13	3073194,68	788197,45	3073227,09
276	788180,67	3073063,18	788225,58	3073084,76
277	788161,66	3073139,09	788217,66	3073166,23
278	788497,31	3072211,48	788399,91	3072160,31
279	788158,29	3072272,24	788093,38	3072237,63
280	794639,14	3072410,07	794488,72	3072340,64
281	795152,52	3076119,77	795212,53	3076146,87
282	794540,67	3076167,98	794605,01	3076197,67
283	794585,18	3076205,99	794646,95	3076235,77
284	791785,00	3074160,20	791834,68	3074182,94
285	791726,19	3074086,17	791772,77	3074107,01
286	791634,96	3074037,83	791680,96	3074059,38
287	791353,72	3073892,37	791388,20	3073907,38
288	791160,08	3073847,00	791188,97	3073860,15
289	791103,00	3073874,06	791132,88	3073888,06
290	788706,88	3072877,99	788698,24	3072873,01
291	791397,87	3073605,73	791411,65	3073609,98
292	791281,63	3073760,62	791302,38	3073769,53
293	791295,58	3073705,82	791315,87	3073713,43
294	791249,91	3073702,58	791269,84	3073708,67
295	791594,95	3073719,99	791618,56	3073728,25
296	791779,02	3073660,54	791801,39	3073669,78
297	789783,56	3071273,36	789447,33	3071105,00
298	792575,12	3071266,73	792251,69	3071112,77
299	793484,04	3070832,66	793079,14	3070644,91
300	793405,86	3070822,25	792997,38	3070632,48
301	794341,48	3070835,92	793932,93	3070650,37
302	794267,14	3070837,43	793860,15	3070651,68
303	794286,21	3070845,35	793879,29	3070659,69
304	794228,02	3070850,49	793821,72	3070665,42
305	794716,03	3070896,57	794308,01	3070714,11
306	794653,03	3070924,62	794252,13	3070743,32
307	794624,25	3070926,87	794223,13	3070745,65

308	794634,63	3070901,34	794230,54	3070716,86
309	788615,10	3072730,16	788587,04	3072714,04
310	796167,36	3072724,11	795953,72	3072628,79
311	796147,12	3072675,76	795931,97	3072577,97
312	796262,59	3073171,92	796102,29	3073100,07
313	796175,50	3073249,78	796035,08	3073186,85
314	796269,24	3074721,82	796261,33	3074715,86
315	796268,53	3074707,26	796259,51	3074701,89
316	796275,74	3074778,58	796267,76	3074774,12
317	796293,13	3074818,34	796284,59	3074813,57
318	796266,10	3074894,26	796264,13	3074891,64
319	796221,14	3074884,57	796219,68	3074883,44
320	795907,38	3075794,45	795947,61	3075812,53
321	795861,58	3075812,25	795907,61	3075832,21
322	794923,06	3076235,87	794982,02	3076263,53
323	794688,35	3071224,88	794340,70	3071068,19
324	792887,53	3072688,42	792802,47	3072647,58
325	793188,99	3072920,37	793135,54	3072893,76
326	793246,20	3072671,02	793162,00	3072628,12
327	792781,71	3072416,51	792660,88	3072355,60
328	792734,29	3072354,84	792598,96	3072287,87
329	792453,71	3072487,54	792340,73	3072431,80
330	792323,59	3072482,93	792210,03	3072425,45
331	792646,28	3073146,06	792622,83	3073132,09
332	789341,43	3072779,80	789283,52	3072749,58
333	789551,75	3072874,91	789499,49	3072848,13
334	789574,85	3072958,00	789534,21	3072936,44
335	790062,04	3072760,91	789987,64	3072724,77
336	790173,49	3072809,14	790103,73	3072774,38
337	790629,32	3072648,45	790533,68	3072599,42
338	791397,90	3072548,07	791284,44	3072491,28
339	795745,68	3075854,79	795798,20	3075877,62
340	791068,53	3072415,67	790935,76	3072347,13
341	790705,64	3071153,34	790341,24	3070973,62
342	790604,61	3071150,57	790239,64	3070971,24
343	791716,36	3072392,39	791583,72	3072326,76
344	791565,92	3072438,91	791437,20	3072375,78
345	791570,53	3072447,36	791444,61	3072384,67
346	791880,04	3072661,74	791787,74	3072616,13
347	792975,11	3072344,27	792841,29	3072279,83
348	795526,77	3072011,01	795264,53	3071892,06
349	788508,58	3072380,45	788436,29	3072341,05
350	788909,49	3072754,06	788869,90	3072733,28
351	788878,76	3072762,20	788843,23	3072743,76
352	788775,33	3072803,34	788749,41	3072789,16

353	788683,18	3072433,41	788607,12	3072392,64
354	790795,05	3071157,89	790431,26	3070978,50
355	792941,85	3071511,41	792667,76	3071379,85
356	795247,55	3072173,28	795032,70	3072075,25
357	797910,36	3075400,42	797552,78	3075238,44
358	797674,82	3075618,74	797316,60	3075455,78
359	804120,01	3076071,04	804143,24	3076079,26
360	801883,04	3076100,27	801629,00	3075994,21
361	798460,43	3074082,23	798086,57	3073920,40
362	799108,50	3073549,78	798749,10	3073395,37
363	799698,28	3073305,29	799369,15	3073164,37
364	803830,66	3075198,63	803889,61	3075221,00
365	798352,07	3073008,58	797968,37	3072843,14
366	798285,84	3073674,16	797902,98	3073507,77
367	798313,87	3073831,06	797933,50	3073664,05
368	798304,98	3073796,87	797924,11	3073630,58
369	798248,53	3073963,36	797869,76	3073796,89
370	798284,64	3074545,21	797918,37	3074382,53
371	798305,44	3074569,25	797941,24	3074405,69
372	798511,58	3074560,44	798150,90	3074398,91
373	798502,04	3074567,31	798139,07	3074404,96
374	798760,33	3074399,64	798402,17	3074239,53
375	801852,43	3076069,77	801601,02	3075963,52
376	801583,72	3075818,69	801326,76	3075709,68
377	801136,43	3075539,67	800861,96	3075423,08
378	801157,57	3075607,52	800886,57	3075491,98
379	800051,98	3074874,69	799739,38	3074736,75
380	803197,73	3073383,23	803261,35	3073407,61
381	801847,80	3073752,39	801676,71	3073681,65
382	799546,13	3074109,91	799208,76	3073962,25
383	799144,94	3074014,28	798790,00	3073861,13
384	799202,80	3073969,01	798853,76	3073817,35
385	799909,45	3072967,84	799602,65	3072838,02
386	799820,42	3073032,56	799506,61	3072900,20
387	799738,62	3073045,60	799418,35	3072909,26
388	799270,29	3072902,45	798929,18	3072755,51
389	799272,28	3072875,75	798931,66	3072729,61
390	799158,22	3072710,27	798820,46	3072565,28
391	798940,39	3072495,20	798601,68	3072348,44
392	800007,75	3071964,13	799772,24	3071860,08
393	801778,61	3075123,43	801566,13	3075034,14
394	798127,49	3075602,16	797781,73	3075446,14
395	798165,96	3075279,33	797812,76	3075120,66
396	798144,24	3075242,99	797790,06	3075083,99

<Link>	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
1	795065,170227	3077226,789971	795134,623490	3077259,333786	-0,540084	-0,02034	0,540467
2	795678,696547	3076608,381416	795739,555245	3076635,827582	-0,0848917	-0,0641416	0,106399
3	794609,666348	3076435,294261	794672,777365	3076462,814431	0,101584	-0,597068	0,605648
4	794646,921860	3076619,305253	794710,970101	3076648,957254	0,202523	0,331277	0,388279
5	794883,859894	3076666,619370	794946,459835	3076695,116194	-0,870487	-0,776018	1,16617
6	794912,332257	3076692,474026	794974,968746	3076721,508434	-0,917729	-0,30138	0,965948
7	795052,396092	3076686,543034	795116,478779	3076716,327882	0,533711	0,42212	0,680465
8	795048,711239	3076699,952771	795112,986272	3076729,583534	0,686223	0,253334	0,731492
9	795165,253636	3077085,348941	795229,517397	3077114,928482	-1,51385	-0,516342	1,59949
10	795471,116921	3077332,346221	795538,467563	3077362,362900	0,257358	-0,454361	0,522185
11	795582,270519	3077370,908140	795649,804453	3077402,156313	1,10694	1,09845	1,55946
12	796184,300543	3077223,845525	796242,874472	3077250,073509	-0,653116	-0,127785	0,665499
13	796103,702237	3077158,889508	796164,976051	3077185,949778	0,742164	0,162302	0,759704
14	795807,689252	3077489,705297	795872,383222	3077519,285130	-0,458819	-0,374782	0,592433
15	794828,893162	3076429,678996	794891,057551	3076457,891972	-0,130926	0,0450482	0,138459
16	794795,481462	3076420,558732	794857,931651	3076449,001955	0,14796	0,368898	0,397465
17	794388,888644	3076591,204669	794454,893259	3076621,925148	0,244333	0,493629	0,550789
18	794347,276411	3076587,706749	794413,512342	3076618,326807	-0,0340447	0,12295	0,127576
19	794116,356132	3076593,502913	794186,919415	3076626,566390	-0,284687	-0,257463	0,38384
20	794764,667913	3076925,973953	794832,575477	3076957,359718	1,46976	0,205055	1,484

Figura 74. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R1C2.

<Link>	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
1	802894,487934	3083119,274261	802865,861188	3083105,597927	-2,69115	-1,01686	2,87685
2	802348,239533	3083444,090257	802345,849167	3083441,518229	-0,584106	-0,936479	1,10371
3	802322,553517	3083443,719589	802320,343283	3083441,094895	-0,96805	-1,24448	1,57666
4	802232,620483	3083451,660592	802230,913937	3083449,984912	-2,87992	-1,39932	3,20188
5	801234,824879	3083064,187176	801247,843037	3083069,996532	0,429913	1,22469	1,29796
6	799406,516895	3081198,254200	799359,744278	3081175,480656	0,518852	1,09939	1,21568
7	803139,433624	3081125,232296	803000,767943	3081062,954072	0,855078	0,255704	0,892493
8	798255,638669	3080375,297428	798160,849999	3080330,014329	0,593453	0,659188	0,88697
9	798333,910320	3080357,146014	798236,311962	3080310,781728	-1,33897	0,0202267	1,33912
10	798484,199718	3078930,045945	798284,955265	3078839,511567	1,01457	2,88338	3,05667
11	798681,407234	3079093,633446	798489,050846	3079005,599676	-1,5879	0,945326	1,84799
12	798777,493496	3079129,911271	798588,269795	3079040,657038	0,284245	-0,941717	0,98368
13	798801,000179	3078987,005936	798601,168258	3078895,135914	0,258918	1,10025	1,1303
14	799014,779316	3078966,558977	798812,173888	3078872,977015	2,67473	1,40837	3,02287
15	800557,892311	3082053,338346	800538,340634	3082041,823618	2,23757	0,284411	2,25557
16	800402,150710	3081730,374839	800365,354162	3081712,048221	1,28378	0,99673	1,62529
17	800333,736086	3081744,571225	800299,869656	3081727,129501	1,00087	0,445797	1,09566
18	800355,279864	3081720,411261	800319,184278	3081701,729450	1,12266	0,269512	1,15456
19	800324,195565	3081710,046669	800288,227966	3081691,807555	0,945999	0,586879	1,11326
20	800371,745611	3081656,869502	800328,233046	3081636,655049	-1,36826	0,973187	1,67906
21	800418,032100	3081581,705825	800369,338795	3081558,020725	0,271679	0,576435	0,637249
22	801937,095791	3083519,311730	801950,061126	3083524,830443	1,72633	1,12335	2,05964
23	801437,586517	3079996,501625	801237,793566	3079906,707652	-1,15001	-0,406316	1,21968
24	801427,490616	3080028,794628	801228,797715	3079939,251467	-2,46317	-1,18282	2,73245
25	801538,414261	3080247,479416	801355,700073	3080164,174208	1,1105	-0,384596	1,17522
26	801516,041748	3080583,553349	801356,734596	3080511,653077	0,232307	0,539609	0,58749
27	801576,029861	3080753,505898	801424,124105	3080684,988580	-2,99503	-0,740596	3,08523
28	801554,898865	3080696,751076	801401,634477	3080627,309298	-0,830428	-0,117357	0,838679
29	801531,520813	3078860,958427	801263,746285	3078743,221113	-3,19125	-0,505625	3,23105
30	800509,640022	3079972,388016	800337,363864	3079893,259162	1,3571	0,325126	1,39551
31	800404,627213	3080116,087090	800245,090242	3080042,418314	-0,226241	-0,366659	0,430841
32	800296,708733	3080101,579388	800138,595238	3080026,874012	-1,31579	-2,40278	2,73946
33	802698,459404	3079525,545811	802474,678195	3079426,535735	3,34259	1,05154	3,50408
34	802417,137550	3079978,772491	802206,346061	3079885,395370	-0,813378	-0,122834	0,822601
35	802901,993813	3079865,785507	802693,815370	3079771,941809	0,0995268	-1,91122	1,91381
36	802977,075676	3079908,897221	802775,095532	3079819,143570	2,44944	0,464375	2,49307
37	802916,520058	3079889,356819	802710,748737	3079798,823530	1,12896	0,803854	1,3859
38	803425,402573	3079760,665276	803232,384641	3079674,676372	-1,65756	-1,992	2,59144
39	803271,760681	3079774,627571	803072,972864	3079685,590456	-0,214529	-1,75418	1,76724
40	803950,890038	3079409,671837	803793,553233	3079342,758672	1,18868	2,09566	2,4093
41	804000,639420	3079468,333961	803847,528341	3079402,686917	0,427404	1,21153	1,28471
42	802901,794533	3080312,483650	802715,517137	3080228,712275	1,08585	-0,619566	1,25017
43	803425,577538	3080228,270306	803251,168790	3080150,899311	1,08296	0,0887374	1,08659
44	803388,890945	3080105,885357	803208,330398	3080027,263736	1,21448	1,51292	1,94008
45	803408,355652	3080092,967823	803227,380436	3080013,240791	0,40601	0,20964	0,456939
46	803444,278511	3080022,884731	803262,305506	3079942,067732	0,199824	-0,620577	0,651955
47	803378,212234	3080031,046150	803191,926199	3079949,211497	-1,29237	-0,347726	1,33833
48	803640,360008	3079084,763737	803452,234105	3079003,740680	-0,933368	0,37712	1,00668
49	803258,146896	3081416,024811	803136,506123	3081360,915559	-0,326282	-0,50178	0,598534
50	802991,814308	3081751,363503	802887,604146	3081704,046432	-0,716662	-0,257378	0,761478
51	802742,038635	3082246,269894	802668,173283	3082212,215018	-1,98446	-0,741605	2,11851
52	802700,267273	3082219,839607	802626,428565	3082185,284791	-0,86506	-0,739055	1,13777
53	802197,188080	3082367,028057	802144,342103	3082341,826584	1,5035	0,556648	1,60323
54	802201,230576	3082346,996956	802147,389555	3082321,074890	1,84186	0,431141	1,89164
55	802186,980492	3082334,803795	802132,587647	3082308,449734	1,69377	0,186531	1,70401

<Link>	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
56	802194,390633	3082340,120739	802140,569068	3082314,689754	2,11849	1,04053	2,36023
57	802218,469627	3082360,379025	802166,010077	3082335,353060	2,81809	1,13777	3,0391
58	802253,019997	3082362,498745	802198,289309	3082336,808271	1,24185	0,768095	1,46019
59	802186,441765	3082664,440014	802151,483982	3082646,847862	1,46351	0,0968625	1,46671
60	802151,295395	3082708,561905	802117,828915	3082692,356286	-0,446857	-0,0443793	0,449055
61	802300,590851	3082690,375603	802260,578523	3082671,004369	-2,28085	-1,13872	2,54931
62	802335,360184	3082664,156334	802293,254630	3082644,545982	-2,08453	-0,357464	2,11496
63	802349,680786	3082620,001255	802304,896320	3082598,905266	-1,91401	-0,563347	1,9952
64	801500,429268	3083126,791058	801504,313754	3083127,428548	-3,50088	-1,61719	3,85636
65	801395,358658	3083103,829346	801407,872937	3083107,426008	2,99659	0,387117	3,0215
66	801368,958687	3082987,404602	801376,559436	3082990,061017	2,73927	1,6764	3,21153
67	801251,996178	3082987,854637	801262,153374	3082991,436853	1,65183	0,938192	1,89967
68	799797,040031	3082401,606453	799815,062099	3082408,857694	-0,430783	0,227994	0,487396
69	798989,931000	3082311,904648	799007,482258	3082318,573884	-2,81363	-2,11344	3,51897
70	798142,073997	3080648,505207	798065,190221	3080610,965223	1,30099	0,249181	1,32464
71	798035,759209	3080812,863583	797969,410863	3080780,510562	3,30929	1,21659	3,52583
72	798004,492714	3080818,005287	797934,618085	3080783,950153	0,135381	-0,3764	0,400006
73	798159,084862	3080806,666458	798091,251732	3080773,102214	0,00484479	-0,659066	0,659084
74	798181,695702	3080874,407257	798117,842410	3080843,613814	-0,58727	-0,0333265	0,588215
75	798171,486076	3080921,611626	798111,095521	3080891,503493	0,128869	-0,677381	0,68953
76	798242,963379	3080955,548889	798183,326916	3080926,428563	-2,26793	-1,08258	2,51306
77	798727,247597	3082039,679115	798734,724278	3082042,890661	0,742154	0,800401	1,09153
78	798785,237991	3082124,041607	798796,843265	3082128,071786	0,597675	-0,41857	0,729669
79	799788,707993	3082132,080002	799793,511296	3082131,942306	0,512669	-0,347371	0,619271
80	799933,814369	3082073,419067	799932,100323	3082071,140935	0,655392	0,667012	0,935117
81	799697,499252	3081568,914776	799665,943840	3081552,530106	-3,09314	-1,24153	3,333
82	799792,805176	3081587,511532	799760,135695	3081571,315560	-3,08145	-0,550178	3,13018
83	800602,640953	3081419,828907	800533,176981	3081386,210485	-2,44723	-1,31789	2,77952
84	800896,716347	3081354,941917	800811,332990	3081316,169691	-3,10092	0,173849	3,10579
85	801294,779442	3080922,025673	801167,558119	3080864,189899	0,969198	1,10931	1,47306
86	801199,767471	3080972,968933	801077,864189	3080917,371255	-0,610367	0,391252	0,725
87	801433,840004	3080894,953163	801301,437553	3080834,291922	2,12005	0,951601	2,32382
88	797995,832741	3076981,465439	797689,339447	3076841,293392	-1,62764	0,121067	1,63214
89	798104,675987	3076987,862240	797801,523005	3076848,437156	0,717562	0,18748	0,74165
90	797778,012314	3076987,614819	797470,264009	3076843,939231	-0,696188	-1,939	2,06019
91	797649,786003	3077183,550171	797346,438761	3077042,906295	-1,45435	-0,908395	1,71474
92	798166,507813	3076678,007523	797853,970141	3076536,618460	-1,23542	1,24637	1,7549
93	798126,354836	3076883,191898	797819,904969	3076744,647522	0,316918	2,26213	2,28422
94	798321,980171	3076861,608315	798016,358487	3076721,496434	0,74043	0,051419	0,742213
95	798308,924957	3076962,014095	798006,767322	3076822,369031	1,57989	-0,565207	1,67795
96	798028,770859	3077445,893612	797739,125090	3077312,308230	-2,70125	-1,17646	2,94632
97	798105,436653	3077473,853485	797819,558584	3077341,941622	-0,504381	-0,341352	0,609034
98	798022,977402	3077573,439255	797742,035513	3077442,748074	0,151892	-0,838504	0,852151
99	798124,944832	3077674,744968	797849,562394	3077547,668805	0,43274	0,269238	0,50966
100	798079,621681	3077671,281731	797805,376889	3077543,964631	1,85628	0,236844	1,87133
101	798105,304260	3078138,701504	797852,398733	3078021,628461	-2,47081	-0,888274	2,62563
102	798247,760551	3078076,987514	797995,909020	3077961,091673	2,26829	1,69557	2,83198
103	798334,691650	3078101,238113	798082,692527	3077985,221722	0,989845	0,936768	1,36284
104	798444,351891	3078116,766422	798192,124413	3077999,615084	0,45443	-0,511976	0,684563
105	799453,231819	3077819,323879	799169,450899	3077689,324359	-2,50841	-2,77818	3,74305
106	799307,881477	3077778,834274	799029,882911	3077652,282618	2,80472	0,725901	2,89714
107	799352,632294	3077780,919968	799072,216329	3077653,274808	0,97331	-0,198199	0,993285
108	799568,149757	3079222,425209	799366,375155	3079130,477380	-1,72442	0,0550892	1,7253
109	799669,542007	3079310,557240	799472,737868	3079220,435893	-0,323884	0,200202	0,380765
110	802323,116882	3077579,536926	802058,554324	3077464,013255	-0,886396	-1,13581	1,44075

<Link>	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
111	802517,993629	3077941,406429	802256,251386	3077829,985654	-2,62747	1,15395	2,86971
112	802725,167931	3078192,977703	802476,808494	3078086,314500	1,41337	1,88921	2,35939
113	802931,686226	3078413,489803	802692,050112	3078310,049260	-1,16881	0,212949	1,18805
114	801119,484779	3076999,189529	800823,055179	3076869,839565	1,42311	1,08784	1,79127
115	801228,358513	3077042,194912	800932,221251	3076912,277297	-0,181116	-0,450292	0,485351
116	800228,334648	3079832,549168	800053,154646	3079749,348771	-0,245058	-2,89944	2,90978
117	800353,069084	3079787,988731	800172,422165	3079703,355578	1,62717	-1,26089	2,05852
118	803343,725670	3083255,643635	803324,452498	3083246,508341	3,00539	1,77278	3,48929
119	799030,345093	3078252,322044	798779,829988	3078137,958953	1,33848	0,949367	1,64098
120	801267,951404	3077898,550312	800973,053369	3077770,107244	0,115304	1,50195	1,50637
121	803957,353333	3077144,085899	803899,220146	3077120,324416	-1,10283	-0,86017	1,39861
122	804018,120132	3077173,950275	803969,705287	3077153,556149	1,02646	-0,774181	1,28568
123	803916,708870	3077126,287014	803853,500054	3077099,792708	-0,987388	-1,34548	1,6689
124	802898,251640	3076765,995605	802724,451260	3076692,770123	-1,00953	0,142205	1,0195
125	802924,631699	3076805,447796	802754,605013	3076733,871329	3,0898	1,95172	3,65459
126	801214,091965	3077617,988144	800912,857430	3077485,633532	-2,16891	-0,857614	2,33231
127	799593,251320	3077103,097652	799288,968682	3076964,614990	1,15612	-1,51225	1,90356
128	804291,966377	3081935,726830	804230,471088	3081908,368241	-1,89911	-0,157615	1,90563

Figura 75. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R1C3.

<Link>	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
1	804625,664637	3076838,758737	804658,671610	3076850,899074	-1,27118	-0,764454	1,48334
2	804624,214148	3076848,949855	804655,364312	3076860,357947	-1,70597	-0,902425	1,92995
3	804631,684723	3076860,350390	804662,375784	3076871,602761	-0,8305	-0,509406	0,974281
4	804627,072965	3076875,719495	804656,554939	3076885,757997	0,145424	-0,807761	0,820747
5	806905,227032	3079435,839527	806979,538413	3079463,822529	1,01128	-0,393658	1,0852
6	806934,676638	3079407,836793	807010,494725	3079437,152476	1,90113	0,685675	2,021
7	806832,483436	3079545,307783	806905,878266	3079573,836499	2,11151	0,977082	2,32662
8	806843,222456	3079517,608481	806916,197036	3079545,896443	1,27872	0,567841	1,39913
9	806803,266964	3079617,056976	806875,080704	3079644,956641	1,50923	0,743819	1,68257
10	806769,739472	3079655,527772	806839,520633	3079682,262966	0,143436	-0,155289	0,211396
11	806841,342178	3079808,757219	806912,821828	3079836,828449	2,54015	1,45976	2,92972
12	806669,062998	3080570,105736	806739,878130	3080598,154512	1,50119	0,869505	1,73482
13	806635,193816	3080586,507863	806706,302438	3080614,505795	1,32032	0,603398	1,45167
14	806569,740843	3080788,379357	806642,775852	3080817,520993	1,21698	0,730546	1,41942
15	806533,516831	3080766,437464	806605,734112	3080794,899072	0,315335	0,0288785	0,316654
16	806505,823384	3080817,205761	806578,098327	3080846,294488	-0,257706	0,34657	0,431884
17	806494,417400	3080806,348010	806566,615388	3080834,970298	-0,247298	-0,0760162	0,258718
18	805470,271635	3082113,317643	805539,466438	3082140,749868	0,644691	-0,809122	1,03456
19	805452,743319	3082122,965945	805521,263068	3082151,439056	0,969931	0,647438	1,16617
20	805253,751645	3082670,130367	805321,987212	3082698,351870	-0,688661	-0,53515	0,872146
21	805294,694684	3082655,961527	805365,136430	3082684,584689	-1,52342	-1,42475	2,08584
22	805283,766109	3082650,755342	805353,037230	3082679,904862	-1,63637	-0,443122	1,69531
23	805247,487256	3082637,056649	805315,797052	3082666,146501	0,921899	1,00823	1,36617
24	805223,625155	3082643,769843	805291,521482	3082672,099638	2,43152	1,06494	2,6545
25	805105,626669	3082620,221381	805160,662714	3082642,714293	1,76509	0,434344	1,81774
26	806308,999951	3080771,915539	806379,331036	3080799,643717	0,233776	0,000162312	0,233777
27	806254,332015	3080753,444521	806319,902854	3080779,172863	-2,82891	-1,29173	3,10987
28	806268,687329	3080756,965236	806335,672053	3080783,723706	-1,87343	-0,451606	1,9271
29	804665,033437	3076833,151910	804703,859679	3076848,108204	2,696	1,23916	2,96714
30	804692,722292	3076777,950262	804737,920442	3076795,366718	0,740816	0,197078	0,766582
31	804607,765149	3076817,684028	804641,737152	3076830,187719	-2,75159	-1,40167	3,08803
32	804671,867795	3076805,827422	804712,963128	3076821,615201	1,06088	0,435147	1,14665
33	805743,066168	3078186,272962	805759,075796	3078192,400667	-0,348078	0,756975	0,833168
34	806038,983475	3078477,421628	806073,036519	3078489,291542	-3,28158	-2,03717	3,86249
35	806009,615417	3078457,960320	806042,609375	3078469,976920	-2,05272	-0,954194	2,26366
36	806086,683051	3078578,686015	806125,976443	3078593,548608	-0,48248	-0,00402719	0,482497
37	806095,570057	3078584,910339	806134,866461	3078600,110288	-1,1562	0,0567068	1,15759
38	806080,294080	3078570,220231	806118,568095	3078585,081925	-1,07914	0,165707	1,09179
39	806040,146017	3078643,401254	806077,498065	3078656,625401	2,6494	0,481305	2,69277
40	806079,796900	3078640,577171	806119,090648	3078654,879148	1,05824	0,0993972	1,0629
41	806052,601018	3078635,763756	806091,150592	3078649,799138	2,63752	0,789975	2,75328
42	806211,415909	3079252,379035	806256,614064	3079269,578898	-0,232784	0,198172	0,305713
43	806198,949672	3079256,799123	806243,993413	3079273,527812	0,494527	0,0893927	0,502541
44	806301,267396	3079258,406986	806354,804442	3079278,194410	1,98292	0,272852	2,00161
45	806237,825541	3079320,884298	806282,096797	3079338,360780	-3,16672	-0,344752	3,18543
46	806273,605417	3079373,059227	806320,038123	3079391,542137	-3,54165	-0,377297	3,56169
47	806423,743938	3079325,395253	806484,243278	3079348,450245	1,65754	0,558312	1,74904
48	806514,727356	3079304,703649	806578,720883	3079328,617039	0,453152	-0,509601	0,681939
49	806540,236931	3079299,159322	806604,808852	3079324,224946	-0,185151	0,143884	0,234486
50	806814,721889	3079176,584548	806888,776128	3079205,298469	-1,82719	-0,787007	1,98947
51	806908,007778	3079212,528878	806983,550068	3079242,446043	-1,60911	-0,0890026	1,61157
52	806904,789330	3079198,774447	806981,645064	3079228,317265	-0,509782	-0,555835	0,754209
53	806893,219270	3079188,562540	806969,262539	3079217,363493	-1,32306	-1,30194	1,85622

<Link>	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
54	806877,345365	3079274,159942	806951,231149	3079302,969602	-1,67853	-0,529769	1,76015
55	806914,620608	3079235,877326	806990,442477	3079265,187026	-0,979902	-0,545396	1,12146
56	806805,024261	3079891,868603	806870,961697	3079917,571456	-2,5132	-0,734918	2,61845
57	806822,955833	3079925,621585	806888,953400	3079951,226523	-2,21849	-0,741811	2,33923
58	806706,955972	3080087,346304	806775,499839	3080114,210183	0,61576	0,55074	0,82612
59	806635,115912	3080199,356414	806702,235245	3080225,352603	-0,7751	-0,371789	0,859656
60	806566,066486	3080328,426124	806630,224337	3080354,138798	-3,98428	-0,843696	4,07263
61	806598,409724	3080354,971041	806665,493366	3080380,755935	-1,44206	-0,938199	1,72039
62	806562,496030	3080384,243533	806629,351210	3080410,230577	-1,68591	-0,768446	1,85279
63	806558,015003	3080456,217198	806626,493704	3080482,779472	-0,617212	-0,469632	0,775567
64	806536,538704	3080447,591567	806604,427410	3080474,206955	-1,00454	-0,331776	1,05791
65	806497,901942	3080503,380981	806566,803585	3080529,769566	-0,216297	-0,697273	0,730051
66	806555,946161	3080494,569560	806625,064952	3080521,355799	-0,290303	-0,401464	0,495428
67	806491,346507	3080570,757037	806561,564825	3080598,508453	0,419928	0,335312	0,537376
68	806532,180045	3080545,046588	806603,316158	3080573,267153	1,36009	0,840719	1,59895
69	806552,301686	3080609,120544	806623,636199	3080637,719782	0,937423	0,919409	1,31304
70	806155,100402	3080946,094058	806225,477173	3080973,238578	0,819458	-0,526097	0,973802
71	806101,139696	3081053,206827	806168,185459	3081079,713265	-3,25436	-1,57008	3,61331
72	806135,184954	3081117,707854	806208,825541	3081145,965064	0,69279	-0,972032	1,19365
73	806103,115446	3081113,173871	806175,805475	3081142,578391	0,847086	0,635127	1,05874
74	806079,142098	3081187,832130	806154,638766	3081217,931875	2,5981	0,822668	2,72524
75	805968,752842	3081320,072929	806042,422135	3081350,453112	1,39412	1,23574	1,86296
76	805940,486724	3081303,827244	806009,719569	3081330,926823	-1,36124	-1,33203	1,90455
77	805924,590537	3081347,460322	805995,114540	3081375,535662	-0,610085	-0,620596	0,870254
78	805925,910122	3081397,187862	806000,829552	3081426,970765	2,29278	0,420625	2,33104
79	805823,499774	3081508,240984	805896,903656	3081538,925458	2,37334	1,88653	3,03178
80	805203,535188	3081564,996875	805227,302755	3081574,904895	1,28786	1,33234	1,85303
81	805599,733624	3081976,585466	805671,962394	3082005,171172	-0,787774	-1,43814	1,63977
82	805642,385887	3081955,389138	805715,011952	3081984,912867	-2,35725	-1,31246	2,69799
83	805532,087678	3082044,957260	805601,770059	3082073,283877	-1,04943	-0,785959	1,31112
84	804709,243231	3082823,945506	804722,289331	3082827,033913	0,963327	-1,50356	1,78569
85	804631,716028	3082683,325606	804631,007899	3082681,182058	3,28672	0,110307	3,28857
86	804702,847272	3082775,847985	804712,327749	3082778,734129	-0,0391028	-0,609861	0,611114
87	804727,087869	3082815,552745	804738,362801	3082819,850461	-2,98414	-1,21955	3,22372
88	805299,148821	3082526,586219	805367,321467	3082555,139127	-0,267965	0,087373	0,28185
89	805319,941790	3082602,247298	805392,192350	3082632,662199	-0,202288	0,191744	0,278722
90	805188,656666	3082538,972950	805247,200393	3082564,664146	-0,31038	1,2977	1,3343
91	805351,791240	3082505,527254	805423,267724	3082536,093499	-0,622123	0,555398	0,833969
92	805388,036186	3082346,978761	805457,735505	3082374,982652	-0,27661	-1,00109	1,0386
93	805340,788692	3082404,429795	805408,840407	3082432,767768	0,0235582	0,123088	0,125322
94	805334,483097	3082368,676821	805401,220392	3082396,149361	0,405939	0,000374184	0,405939
95	805394,474407	3082236,173100	805463,891049	3082263,534638	2,59408	-0,233676	2,60459
96	805402,004041	3082200,534012	805470,558562	3082228,927068	2,33812	1,07799	2,57466
97	805482,691886	3082181,452560	805552,473726	3082210,670782	-1,94372	-0,414377	1,9874
98	805214,684246	3081834,366235	805248,987216	3081848,573655	-0,61163	0,284612	0,674608
99	805207,270723	3081837,091573	805239,038863	3081850,161158	-2,48084	-0,575552	2,54672
100	805206,618003	3081796,944508	805239,462197	3081810,367745	0,318291	0,521714	0,611142
101	805211,966273	3081796,079069	805246,341377	3081810,261912	1,32066	1,06029	1,69362
102	805214,716246	3081794,808341	805250,045552	3081809,203576	2,03798	1,1741	2,35199
103	805202,511752	3081805,711951	805233,747186	3081819,046096	-1,21818	0,458324	1,30154
104	805193,263005	3081766,101507	805220,888410	3081777,819520	-2,1984	-0,0350752	2,19868
105	805206,619083	3081760,312331	805238,774279	3081774,009513	1,14693	1,45095	1,84952
106	805198,360850	3081774,570114	805227,979257	3081787,132872	-1,10313	0,429144	1,18366

<Link>	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
106	805198,360850	3081774,570114	805227,979257	3081787,132872	-1,10313	0,429144	1,18366
107	804584,438368	3082130,455766	804551,580094	3082117,831722	0,379166	2,02322	2,05844
108	804591,059202	3082140,179360	804559,848340	3082125,769238	0,621274	-0,355888	0,715987
109	804609,638842	3082187,068456	804580,353589	3082174,717253	-2,20995	-0,305822	2,23101
110	804586,580629	3082291,141867	804560,840529	3082280,881527	0,418089	1,39288	1,45427
111	804646,027384	3082773,544630	804647,425598	3082772,941366	0,0397032	-0,628603	0,629856
112	804794,427824	3082999,057851	804823,519388	3083011,675385	-0,0980284	0,703061	0,709862
113	804799,315251	3083002,701566	804828,017313	3083014,321224	-1,22867	-0,61232	1,3728
114	804789,809636	3082961,636810	804817,090000	3082972,702182	-0,161556	-0,0951508	0,187494
115	804855,935074	3079767,625356	804773,042706	3079727,952373	0,809033	-3,49479	3,58722
116	806063,825679	3079317,123130	806098,216273	3079329,451483	-0,209844	-0,222345	0,305732
117	806049,948317	3079322,503927	806083,002701	3079334,346285	-0,476974	-0,269106	0,547652
118	806173,469677	3079221,020915	806216,260363	3079237,726873	0,175387	0,857843	0,875588
119	806282,211560	3079043,165485	806333,735598	3079062,290133	0,783923	-0,0926147	0,789374
120	806213,351057	3079017,378736	806261,455697	3079035,686225	2,27998	1,10573	2,53395
121	806217,925924	3079051,736297	806266,429874	3079069,658793	2,46627	0,641051	2,54822
122	806212,359680	3079053,643297	806260,291528	3079071,881298	2,31576	1,13035	2,5769
123	805935,912163	3078917,175784	805959,974733	3078925,759348	1,01444	0,73609	1,25336
124	805990,359185	3078893,580522	806019,125983	3078904,103158	0,749091	0,621724	0,973488
125	806104,917438	3078848,683629	806145,009693	3078863,164538	1,93549	0,38914	1,97422
126	806086,817240	3078838,149250	806124,795486	3078852,263683	1,26631	0,614753	1,40765
127	806107,649909	3078814,592307	806146,491363	3078828,874470	0,180786	-0,0284955	0,183018
128	806102,014702	3078800,851314	806140,141350	3078815,539443	-0,180061	0,518676	0,549042
129	806080,795671	3078824,077131	806117,619972	3078837,446987	0,514351	0,0312727	0,5153
130	806069,137176	3078777,777838	806104,487793	3078790,818491	-0,360275	-0,0665378	0,366368
131	806051,447372	3078776,140741	806085,599812	3078788,773919	-0,0406757	0,15125	0,156624
132	806070,255362	3078721,734830	806106,054350	3078734,106483	-0,582903	-1,03285	1,18598
133	805387,630280	3077852,258018	805387,461998	3077851,538062	4,87971	2,65179	5,55369
134	805003,112291	3079958,852610	804942,009048	3079929,843310	0,546829	-2,00086	2,07424
135	805075,424046	3080199,002656	805029,725213	3080178,188338	0,437386	-0,29194	0,525867
136	804829,073024	3080317,107023	804753,155811	3080284,217344	-2,93632	-1,27576	3,20149
137	804862,124185	3080343,292407	804794,497040	3080314,644488	0,29805	0,861457	0,91156
138	805237,577342	3079225,469197	805188,914409	3079205,470462	-1,72965	1,03947	2,01796
139	805728,264395	3078642,833509	805730,021701	3078641,830987	-3,58426	-1,62085	3,93371
140	805830,317636	3078420,149731	805850,193045	3078426,776783	0,963461	0,312378	1,01284
141	805823,979626	3078072,694249	805850,139247	3078082,075163	-1,82395	-0,876955	2,02382
142	805693,448977	3078091,740314	805707,725219	3078096,076059	-0,301667	-0,345244	0,458472
143	805705,671851	3078107,419437	805719,049408	3078111,421923	-1,85846	-0,94359	2,08428
144	805631,460046	3078109,915129	805640,771225	3078112,489133	1,45961	0,694863	1,61657
145	805700,333403	3078392,165123	805703,576819	3078391,891897	-3,53311	-1,5778	3,8694
146	804631,619891	3078444,931561	804532,101341	3078402,503694	-0,250328	0,29603	0,387683
147	804579,196340	3077571,736374	804532,366035	3077551,871537	2,44801	2,07721	3,21053
148	804552,792795	3077594,111151	804501,407077	3077571,887306	1,26926	1,13802	1,70473
149	804658,088869	3078192,941012	804570,206819	3078156,160684	-1,69231	0,50028	1,7647
150	805076,757844	3080644,886415	805048,214609	3080630,203684	1,87776	-0,826616	2,05165
151	806356,637244	3078890,236718	806414,777139	3078912,456457	1,02941	0,33436	1,08235
152	806860,952850	3079630,687488	806933,652552	3079659,076839	2,12647	1,13258	2,40928

Figura 76. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R1C4.

<Link>	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
1	787451,065192	3070782,820489	787099,049720	3070602,391484	0,353263	0,365269	0,50815
2	787380,069542	3070769,223844	787030,046248	3070589,232847	0,388789	0,129446	0,409772
3	787386,340125	3070754,265053	787035,972927	3070573,675316	1,55931	0,28508	1,58516
4	787241,917181	3070730,481582	786894,499936	3070554,016735	-0,738391	2,36881	2,48122
5	787292,805550	3070762,431534	786942,808980	3070581,913134	-3,10915	-1,8134	3,59934
6	784281,469460	3072426,601778	784103,535298	3072327,885507	-1,60274	-0,830456	1,80512
7	784210,036021	3072547,997181	784039,611837	3072453,192424	0,796854	0,461978	0,921086
8	784185,940133	3072630,705026	784017,598460	3072537,647593	0,119506	0,806975	0,815776
9	784227,682675	3072665,456315	784056,121870	3072569,820990	-2,5992	-1,48214	2,99208
10	784186,018944	3072775,798198	784020,773466	3072685,391222	-0,680987	1,52402	1,66924
11	784150,147887	3072813,935758	783987,592004	3072723,540687	-0,214537	0,395177	0,449657
12	783480,866171	3073617,263682	783368,845002	3073550,899716	0,842305	-1,14851	1,42427
13	783340,245071	3073759,085493	783241,209747	3073699,243069	2,93514	-0,358156	2,95691
14	783101,743539	3073776,664961	783011,903733	3073724,643119	0,615247	0,853349	1,05201
15	783348,133028	3073459,046114	783237,057324	3073394,546970	1,77514	0,175995	1,78385
16	783696,354791	3071916,542236	783543,831288	3071831,826483	0,154179	0,923496	0,936278
17	783662,875011	3071925,710893	783513,139560	3071841,616086	1,21241	0,627088	1,36498
18	784487,093455	3071449,030061	784295,487583	3071344,793738	-1,1534	1,0527	1,56157
19	784557,347883	3071379,775456	784362,295008	3071272,363906	-1,62402	-0,613469	1,73603
20	784605,807248	3071422,120387	784410,669758	3071314,300448	1,23884	0,444588	1,3162
21	784708,878599	3071409,504821	784507,755499	3071300,327113	0,493387	1,69955	1,76972
22	784899,530784	3071481,467169	784688,995445	3071365,150159	0,983726	-0,567101	1,13548
23	784429,715520	3071679,706524	784239,890797	3071573,390888	-0,86034	-1,84295	2,03387
24	784434,977877	3071728,176882	784245,843933	3071624,190990	0,181694	0,64862	0,673588
25	784207,549216	3071644,703428	784028,180050	3071544,983842	-1,6982	-0,973399	1,95739
26	784105,720807	3071695,347168	783935,149057	3071600,854032	2,22968	1,73531	2,82538
27	783974,308316	3072956,077853	783822,436331	3072870,217161	0,647215	-0,168831	0,668873
28	783767,612628	3072885,489513	783621,352596	3072802,483692	0,417091	-0,586201	0,719442
29	783446,756966	3073085,116071	783319,268381	3073012,457445	0,199285	-0,411253	0,456994
30	783768,812055	3073153,657964	783630,461336	3073075,640071	1,08171	0,847804	1,37436
31	783753,411422	3073238,904765	783617,893603	3073162,291286	0,610057	0,612714	0,864632
32	783705,793889	3073327,442869	783573,575806	3073252,249800	-0,757358	-0,347202	0,833151
33	783591,520974	3073598,170750	783472,416576	3073529,467542	-1,68486	-0,913502	1,91657

<Link>	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
33	783591,520974	3073598,170750	783472,416576	3073529,467542	-1,68486	-0,913502	1,91657
34	783489,506164	3073731,505784	783380,341392	3073667,844902	-0,594266	-0,426485	0,731465
35	783482,041745	3073707,945638	783371,433735	3073645,774198	-1,31017	1,37232	1,89731
36	783373,108562	3073729,309875	783267,187693	3073667,999242	-1,48458	-0,51953	1,57286
37	783303,014210	3073785,773988	783202,682147	3073727,980404	-0,918103	0,316937	0,971268
38	783110,965031	3073179,980412	783004,115927	3073118,969207	0,875521	0,293786	0,923497
39	781213,550613	3073243,938804	781259,068776	3073268,988713	-0,591499	0,171723	0,615922
40	786511,779511	3070820,800618	786209,837020	3070660,655584	0,627978	-1,15294	1,31287
41	786337,256813	3070834,305245	786048,176280	3070679,441038	3,04775	-0,665403	3,11954
42	786404,671303	3070883,320117	786107,972233	3070726,536966	-1,90551	-1,44665	2,39244
43	785727,486646	3070662,919310	785475,087634	3070527,834485	0,889392	0,875712	1,24815
44	785548,565210	3070714,658791	785306,018546	3070584,190848	-0,550836	0,0717474	0,555489
45	785460,725702	3070728,959556	785224,526716	3070601,388799	0,22846	0,280793	0,361993
46	787762,092960	3072655,924381	787768,944978	3072658,045943	0,262185	-0,0121548	0,262467
47	783316,071571	3071785,352655	783179,618833	3071707,845473	-4,02313	-2,55447	4,76559
48	783388,878267	3071931,671269	783252,643979	3071854,292641	0,245946	-0,349779	0,427592
49	783417,420165	3071876,163229	783278,890698	3071797,354194	-0,608592	-0,974291	1,14875
50	783535,535577	3071880,663543	783391,285923	3071800,105866	-0,0918388	0,596154	0,603186
51	784004,640955	3071715,298230	783838,898318	3071622,298455	2,01057	0,615603	2,10271
52	783000,106875	3071569,532904	782882,992101	3071503,103425	-0,364222	0,13561	0,388649
53	782927,080589	3071737,251064	782815,126340	3071672,569389	0,928052	-0,325463	0,983467
54	782831,623857	3071397,624604	782722,680738	3071335,939340	1,29043	1,29541	1,82847
55	782778,186992	3070773,967340	782664,219831	3070708,794006	-1,53139	-1,321	2,02242
56	783053,505694	3070767,376120	782935,794882	3070700,880303	-0,418962	0,404286	0,582217
57	783224,307603	3071041,018756	783097,450109	3070968,947853	-2,81973	-1,31534	3,11143
58	783432,898934	3072286,258201	783296,054694	3072208,774162	1,23301	0,205803	1,25007
59	783413,616793	3072267,737461	783278,115908	3072190,994127	1,62422	0,443584	1,68371
60	783301,247095	3072216,352212	783170,159078	3072142,482676	0,101465	0,151282	0,182157
61	783023,460738	3072633,260397	782909,790918	3072568,224569	-2,0514	-1,79341	2,7248
62	782621,022025	3072279,037149	782530,104256	3072227,228887	0,592553	0,495124	0,772183
63	782635,072836	3070888,270797	782528,814312	3070827,425099	3,19398	1,22778	3,42184

Figura 77. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R2C1.

<Link>	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
1	795831,726962	3075285,209404	795866,089893	3075299,932266	-0,493634	0,270614	0,562944
2	795858,135752	3075251,475304	795891,172443	3075264,610320	-0,24757	-0,461137	0,523391
3	795898,620569	3075209,171055	795927,381406	3075221,492080	-2,18604	-0,000382158	2,18604
4	795931,417753	3075178,573223	795959,660637	3075189,001182	-0,78788	-0,851113	1,15981
5	795769,531104	3075629,784456	795809,742879	3075645,648940	-2,79212	-2,84065	3,98312
6	795714,119119	3075698,781474	795760,636114	3075720,314506	0,982	1,38122	1,69472
7	795696,126885	3075720,959362	795742,538577	3075742,618925	0,0940885	1,05942	1,06359
8	795649,283366	3075740,115095	795699,120366	3075762,224589	2,20588	0,715891	2,31914
9	795597,286894	3075728,526745	795647,817555	3075751,212609	2,07821	0,743401	2,20717
10	795452,048876	3075767,448978	795504,893762	3075791,327381	1,4161	0,106907	1,42013
11	795246,049526	3076157,851497	795305,597731	3076185,995664	-0,892931	-0,269885	0,932825
12	794849,604045	3075980,624373	794906,487968	3076007,456678	-1,05228	-0,487139	1,15957
13	794513,354935	3075756,149065	794565,219745	3075781,300225	-1,80897	0,010308	1,809
14	794388,062876	3075684,591474	794442,399916	3075709,551696	2,23271	0,69229	2,33758
15	794499,392970	3075688,690385	794552,281594	3075712,970120	-0,0759499	-0,599246	0,60404
16	795950,988120	3074153,813584	795940,014018	3074147,600951	3,54048	1,86331	4,00086
17	790653,042868	3073596,395695	790674,595178	3073604,385541	0,00838601	0,13226	0,132526
18	793986,978103	3073000,287979	793943,355409	3072979,225115	-0,542815	-0,0441111	0,544604
19	791278,020886	3073232,979829	791271,225778	3073229,100855	-0,507041	-0,583029	0,772666
20	791294,298212	3073174,194337	791285,469209	3073169,534209	0,963807	0,145781	0,97477
21	791237,324537	3073132,030357	791226,255341	3073126,512873	0,429078	-0,0886742	0,438145
22	791230,838417	3073165,035916	791220,540329	3073160,802941	-0,853378	0,305703	0,906481
23	795777,780294	3073954,883662	795758,052677	3073943,978246	-1,06607	-1,63211	1,94943
24	794760,021138	3072979,840747	794692,453523	3072947,791644	2,10306	0,00105562	2,10306
25	795236,142620	3073229,301461	795175,065072	3073200,742636	-0,709922	-1,38571	1,55697
26	796140,706424	3073563,644232	796060,934838	3073525,705087	2,69875	-0,303229	2,71574
27	796192,136196	3073497,516515	796096,124492	3073454,002860	-0,844655	-0,381219	0,926698
28	796143,453274	3073422,490755	796041,091049	3073378,331876	-1,86513	1,05468	2,14268
29	795273,951032	3073248,991304	795211,789973	3073220,806582	-2,16324	-1,20225	2,47488
30	795082,489695	3073357,945890	795047,079904	3073341,858108	2,54029	1,11171	2,7729
31	795064,761605	3073377,090289	795031,416540	3073362,707317	1,79615	1,55477	2,3756
32	794984,120867	3073396,178186	794956,803890	3073383,239025	2,50872	0,630154	2,58666
33	795082,796197	3073442,457693	795050,254911	3073429,594117	-3,31601	0,384751	3,33826
34	795059,901657	3073471,478429	795033,427377	3073459,015843	-1,04027	-0,927013	1,39339
35	794925,263518	3073494,177802	794904,774356	3073485,728230	-2,28128	-0,161327	2,28697
36	792944,866945	3071626,494403	792683,253281	3071499,031947	-0,0656277	0,0547894	0,0854919

Figura 78. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R2C2.

<Link>	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
1	797910,364320	3075400,418699	797552,776087	3075238,439483	-1,91294	-1,01461	2,16536
2	797674,816037	3075618,742425	797316,595302	3075455,777487	-0,798253	-1,41345	1,62329
3	804120,005781	3076071,040728	804143,236367	3076079,261046	-0,643363	-0,25921	0,693618
4	801883,041759	3076100,268741	801629,000653	3075994,211887	-0,9099	-0,254399	0,944795
5	798460,434359	3074082,225983	798086,574952	3073920,402692	-1,28805	2,01136	2,38844
6	799108,496930	3073549,777419	798749,100881	3073395,373059	-2,67399	-0,428294	2,70807
7	799698,275756	3073305,285252	799369,146548	3073164,369298	-0,401731	-0,689593	0,798077
8	803830,656662	3075198,626541	803889,611374	3075221,000298	0,676926	0,374711	0,773716
9	798352,065887	3073008,577820	797968,368729	3072843,140588	-3,06734	-1,21332	3,29859
10	798285,840088	3073674,164444	797902,976828	3073507,766431	1,25609	1,04666	1,63501
11	798313,874298	3073831,064987	797933,503191	3073664,046197	0,846209	-0,27056	0,88841
12	798304,983551	3073796,868881	797924,110464	3073630,576338	1,11333	0,665915	1,29729
13	798248,534790	3073963,357269	797869,756119	3073796,893754	2,17287	0,75348	2,2998
14	798284,635864	3074545,209610	797918,366106	3074382,527228	0,595812	0,763739	0,968653
15	798305,440857	3074569,249008	797941,244920	3074405,693224	1,5609	-0,520628	1,64544
16	798511,578461	3074560,437317	798150,904879	3074398,909775	0,211001	-0,912559	0,936635
17	798502,036774	3074567,305824	798139,073517	3074404,963030	-2,00058	-1,6531	2,5952
18	798760,328339	3074399,638580	798402,174774	3074239,532228	-0,209137	-1,83235	1,84425
19	801852,432571	3076069,771797	801601,016690	3075963,516177	1,73724	-0,278974	1,7595
20	801583,721100	3075818,689857	801326,757877	3075709,676184	-0,66351	-0,473467	0,815117
21	801136,427048	3075539,674698	800861,964729	3075423,082251	-2,97085	-0,10676	2,97277
22	801157,570602	3075607,516357	800886,571028	3075491,979889	1,44545	1,27634	1,9283
23	800051,981125	3074874,689690	799739,377293	3074736,747302	-0,335445	-1,40323	1,44277
24	803197,727783	3073383,232452	803261,352488	3073407,613660	0,195414	-0,00400815	0,195455
25	801847,797882	3073752,389832	801676,712713	3073681,646800	-2,3338	-1,30732	2,67501
26	799546,134705	3074109,913929	799208,756483	3073962,246635	-0,207628	-1,36757	1,38324
27	799144,941757	3074014,277897	798789,999604	3073861,134809	-2,38715	0,467977	2,43258
28	799202,800629	3073969,009056	798853,764315	3073817,346180	2,00528	0,995167	2,23864
29	799909,452934	3072967,843655	799602,651302	3072838,018389	1,81735	1,29756	2,23303
30	799820,420303	3073032,557533	799506,607359	3072900,195596	2,09738	1,99932	2,89764
31	799738,619560	3073045,602055	799418,346593	3072909,263106	0,597142	0,286994	0,662529
32	799270,293602	3072902,452137	798929,182076	3072755,505620	-0,573814	-1,08062	1,22352
33	799272,276497	3072875,754829	798931,658581	3072729,614766	-1,01082	-0,66537	1,21016
34	799158,221191	3072710,272449	798820,457953	3072565,284375	1,26694	0,550801	1,38149
35	798940,387909	3072495,204632	798601,681494	3072348,439379	0,529425	-0,476972	0,712596
36	800007,747864	3071964,125973	799772,241953	3071860,078423	-0,486776	-0,0250087	0,487418
37	801778,614532	3075123,425064	801566,134928	3075034,144949	2,50947	1,4125	2,87969
38	798127,487442	3075602,159683	797781,725797	3075446,136198	3,09741	1,99714	3,68544
39	798165,961273	3075279,326912	797812,764240	3075120,657257	-0,493115	0,824058	0,96033
40	798144,239746	3075242,990723	797790,062944	3075083,985934	-0,368391	0,92599	0,996579

Figura 79. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R2C3.

<Link>	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
1	804513,785276	3076267,979019	804582,913102	3076295,561887	-0,685623	-0,300711	0,748669
2	804649,143161	3076362,956699	804727,161005	3076393,397072	-0,133127	-0,0584028	0,145374
3	804529,943882	3076078,602219	804603,851696	3076107,540667	0,982229	0,430815	1,07256
4	804500,642658	3075052,815014	804582,201495	3075082,246694	-0,16348	-0,0717015	0,178512

Figura 80. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R2C4.

Taula A 2. Els punts de control de la part nord de la imatge de satèl·lit GE-1. Les dues primeres columnes són els punts identificats a les imatges i la tercera i quarta correspon als punts de referència.

N	cel·la img X	cel·la img Y	GCP X	GCP Y
1	782685,78	3071358,64	782576,68	3071291,04
2	784095,11	3071281,96	783903,19	3071166,11
3	784070,44	3071241,21	783879,11	3071125,10
4	784306,66	3071325,93	784104,23	3071204,84
5	784265,51	3071305,33	784066,45	3071185,79
6	784287,34	3071321,72	784086,13	3071201,03
7	783766,51	3071164,30	783593,32	3071059,16
8	783871,62	3071056,86	783693,68	3070947,48
9	783831,23	3071119,43	783654,23	3071010,71
10	783814,17	3071173,54	783638,86	3071065,83
11	783849,20	3071096,51	783670,46	3070987,22
12	783835,50	3071083,00	783659,35	3070974,78
13	783733,32	3071218,69	783559,49	3071113,40
14	783699,83	3071251,63	783528,53	3071148,20
15	783647,44	3071153,13	783477,37	3071050,71
16	787609,28	3067966,68	787543,86	3067926,70
17	787695,18	3068113,19	787606,30	3068060,32
18	787530,36	3068110,11	787446,76	3068062,17
19	787523,32	3068129,59	787437,50	3068079,63
20	787765,33	3068155,78	787663,71	3068096,30
21	787744,57	3068152,32	787648,10	3068095,77
22	787797,38	3068244,98	787684,75	3068178,27
23	787674,43	3068448,33	787536,72	3068368,26
24	787657,31	3068450,11	787518,53	3068370,90
25	787619,52	3068436,47	787485,27	3068358,18
26	787675,75	3068506,17	787527,84	3068422,50
27	787673,46	3068529,95	787522,13	3068443,46
28	787653,55	3068556,49	787500,22	3068468,86
29	787668,72	3068685,46	787497,86	3068588,51
30	787735,48	3068719,09	787557,72	3068618,94
31	787726,29	3068697,54	787552,76	3068597,77
32	787587,75	3068798,16	787401,29	3068693,68
33	787612,78	3068887,64	787413,19	3068775,70
34	787624,75	3068849,03	787431,72	3068738,99
35	787649,21	3068891,06	787449,91	3068778,02
36	787656,05	3068923,97	787452,22	3068809,44
37	787643,89	3068910,77	787441,64	3068796,87
38	787086,00	3071261,14	786696,77	3071041,48
39	787066,97	3071324,31	786679,75	3071103,82

40	787044,71	3071338,74	786659,53	3071120,33
41	786759,91	3071382,91	786394,92	3071173,69
42	786730,59	3071420,03	786368,89	3071212,74
43	786726,45	3071393,46	786363,01	3071185,12
44	786576,44	3071433,82	786222,99	3071231,66
45	786560,11	3071468,90	786207,12	3071264,68
46	786559,84	3071476,06	786206,27	3071273,35
47	786572,52	3071397,21	786220,03	3071194,83
48	786577,78	3071361,99	786225,11	3071160,11
49	786423,00	3071325,82	786085,08	3071130,53
50	786408,47	3071319,32	786072,07	3071125,45
51	786484,26	3071314,21	786141,28	3071116,88
52	786494,62	3071266,53	786152,55	3071070,36
53	786528,21	3071289,75	786181,92	3071091,00
54	786789,89	3071197,38	786427,68	3070990,52
55	786720,36	3071184,05	786364,18	3070980,60
56	786822,88	3071113,58	786461,62	3070906,33
57	786819,96	3071129,75	786457,09	3070922,45
58	786805,41	3071139,59	786444,08	3070932,05
59	780195,73	3069690,25	780266,61	3069728,81
60	780202,88	3069673,87	780274,15	3069712,93
61	780169,02	3069690,56	780239,62	3069729,87
62	780130,96	3069725,76	780202,45	3069764,93
63	780145,10	3069761,57	780217,17	3069801,07
64	787660,33	3070346,59	787289,98	3070142,38
65	785585,61	3071364,49	785307,29	3071202,43
66	785463,84	3071206,05	785195,61	3071048,54
67	786106,55	3070999,04	785799,52	3070821,37
68	786337,84	3070968,17	786019,11	3070784,65
69	786494,32	3070834,88	786169,87	3070648,37
70	786490,73	3070903,19	786161,80	3070714,78
71	787264,45	3070598,33	786899,57	3070397,66
72	787052,08	3070384,04	786719,09	3070199,01
73	787317,91	3070350,64	786970,55	3070158,16
74	787230,16	3070067,72	786913,93	3069891,54
75	787201,89	3069993,40	786892,66	3069821,22
76	787570,09	3069267,85	787324,30	3069130,02
77	787611,76	3069062,08	787392,67	3068939,20
78	787671,06	3068774,47	787488,68	3068671,71
79	787632,44	3068667,43	787464,49	3068571,02
80	787676,78	3068608,64	787514,66	3068516,98
81	787575,38	3068417,98	787444,86	3068341,72
82	787109,43	3070353,24	786773,98	3070167,01
83	787157,91	3070337,26	786822,56	3070151,61
84	787165,95	3070308,82	786833,20	3070121,77

85	787612,08	3070172,46	787261,85	3069978,87
86	787686,63	3070134,92	787334,24	3069940,61
87	782533,49	3070956,28	782423,84	3070887,12
88	782498,46	3070967,83	782391,23	3070900,28
89	783139,23	3071258,40	783002,33	3071173,64
90	783181,84	3071299,01	783043,04	3071213,61
91	783165,62	3071305,98	783027,80	3071221,01
92	783181,54	3071324,62	783042,83	3071239,01
93	783040,47	3067802,73	783120,27	3067843,26
94	783725,91	3067869,95	783775,11	3067893,71
95	783706,40	3067885,37	783753,83	3067908,42
96	784915,89	3067551,55	784983,24	3067584,22
97	785170,47	3067432,51	785245,42	3067469,77
98	785468,90	3067598,05	785518,02	3067620,05
99	785546,74	3067570,57	785596,71	3067594,91
100	786111,55	3067568,29	786149,82	3067583,65
101	786064,16	3067518,72	786111,93	3067540,46
102	786214,72	3067508,32	786258,44	3067527,42
103	786505,36	3067476,86	786547,34	3067496,16
104	786570,76	3067270,80	786644,87	3067307,48
105	787070,32	3067128,00	787150,99	3067167,41
106	787021,73	3067133,44	787101,78	3067172,18
107	786005,75	3070753,62	785717,64	3070585,88
108	786084,03	3070689,10	785794,70	3070521,38
109	786023,78	3070584,86	785744,10	3070422,50
110	782789,72	3070787,04	782663,87	3070708,51
111	782883,62	3070621,79	782756,80	3070543,55
112	783063,38	3069966,58	782946,54	3069895,88
113	784174,88	3069677,55	784031,02	3069591,40
114	784322,25	3069622,23	784175,23	3069535,28
115	785443,33	3069873,58	785236,33	3069753,70
116	781055,53	3070210,07	781042,08	3070198,17
117	780962,29	3070112,63	780958,59	3070106,43
118	780949,17	3070110,37	780946,32	3070104,95
119	782553,92	3069477,82	782484,27	3069433,83
120	792904,43	3065195,24	792986,21	3065231,86
121	795212,39	3070958,94	794776,41	3070742,47
122	788049,00	3070892,10	787644,84	3070668,94
123	788115,03	3070854,45	787714,35	3070633,19
124	788134,01	3070819,31	787733,24	3070599,64
125	788177,77	3070797,93	787776,31	3070576,78
126	787983,07	3070778,72	787587,47	3070560,08
127	788025,15	3070768,84	787628,41	3070550,29
128	788047,02	3070753,98	787651,17	3070535,54
129	788063,21	3070766,09	787667,04	3070547,38

130	788136,92	3070758,81	787739,07	3070539,25
131	798005,23	3064931,20	797921,50	3064889,56
132	797969,91	3064131,19	797924,80	3064107,48
133	797969,15	3064394,47	797911,01	3064365,00
134	796944,87	3064057,47	796890,21	3064029,43
135	796650,98	3064123,53	796593,22	3064093,67
136	797052,14	3065773,09	796914,22	3065706,48
137	797966,98	3064628,99	797898,11	3064595,23
138	797959,43	3065158,38	797864,73	3065112,63
139	797756,81	3065135,51	797656,48	3065087,02
140	797812,46	3065235,98	797708,98	3065185,71
141	797806,31	3065272,03	797701,68	3065221,37
142	797778,11	3065354,92	797668,87	3065302,76
143	797528,35	3065434,54	797411,10	3065377,64
144	797734,91	3067895,15	797501,11	3067783,16
145	797504,62	3067864,65	797269,87	3067752,70
146	797512,96	3067792,97	797285,15	3067684,18
147	796803,72	3067819,89	796562,90	3067704,17
148	796687,48	3067780,89	796450,21	3067668,58
149	796669,09	3067754,53	796432,62	3067641,72
150	796095,56	3067715,46	795856,28	3067599,78
151	796087,31	3067707,15	795847,08	3067591,64
152	796054,50	3067679,27	795813,53	3067563,70
153	796070,69	3067672,37	795829,93	3067556,39
154	796181,63	3067678,45	795944,11	3067564,63
155	796337,60	3067461,71	796109,72	3067352,46
156	796378,20	3067453,18	796153,12	3067345,47
157	796398,16	3067418,30	796176,08	3067311,60
158	796436,04	3067346,65	796213,81	3067240,17
159	796423,47	3067319,12	796202,83	3067213,05
160	796399,75	3067303,99	796179,65	3067198,43
161	797672,31	3067450,92	797463,63	3067351,32
162	797783,96	3067401,90	797579,94	3067305,39
163	796933,18	3064062,15	796878,61	3064033,64
164	796944,06	3064076,06	796887,68	3064045,84
165	796920,91	3064090,17	796864,61	3064060,92
166	796908,65	3064085,07	796853,34	3064056,32
167	796936,99	3064097,42	796878,42	3064066,90
168	796942,49	3064101,69	796883,13	3064069,92
169	794793,31	3062866,63	794856,08	3062891,56
170	795819,65	3061744,59	795879,83	3061767,74
171	795563,87	3062061,00	795624,92	3062082,20
172	795814,33	3062190,81	795851,93	3062203,91
173	795903,36	3062164,02	795940,67	3062177,02
174	795885,42	3062170,75	795922,89	3062183,58

175	795881,53	3062184,61	795918,76	3062197,45
176	795930,68	3062172,84	795966,18	3062185,06
177	796012,46	3062057,22	796048,04	3062069,14
178	795976,57	3062081,07	796012,45	3062093,08
179	796023,80	3062123,93	796056,90	3062135,02
180	796033,05	3062125,08	796066,03	3062135,95
181	796009,87	3062117,61	796043,81	3062129,46
182	795989,08	3062143,04	796023,57	3062154,47
183	795945,81	3062104,34	795981,74	3062116,86
184	795920,37	3062100,83	795957,08	3062113,05
185	795913,16	3062089,56	795950,52	3062102,47
186	795926,43	3062075,18	795963,22	3062087,87
187	795869,08	3062031,39	795911,89	3062047,12
188	794375,09	3063074,02	794447,49	3063102,88
189	794389,37	3063063,81	794462,63	3063093,99
190	794318,62	3063110,32	794391,83	3063140,98
191	794311,37	3063143,79	794381,45	3063172,09
192	794262,43	3063196,51	794336,48	3063225,43
193	794297,30	3063151,30	794370,13	3063180,77
194	794166,86	3063257,53	794240,79	3063287,54
195	794155,36	3063270,66	794229,52	3063299,76
196	794142,00	3063276,58	794216,42	3063306,83
197	794114,21	3063296,59	794188,56	3063326,27
198	794007,02	3063398,67	794082,77	3063429,83
199	794008,35	3063408,32	794083,83	3063439,55
200	795587,67	3063610,22	795570,51	3063598,55
201	795337,53	3063675,79	795327,84	3063667,81
202	795397,91	3063711,39	795383,14	3063700,15
203	795427,58	3063691,92	795412,37	3063680,31
204	795423,34	3063692,79	795408,47	3063681,57
205	795263,13	3063457,79	795267,75	3063455,80
206	795540,74	3062889,74	795557,98	3062893,81
207	795687,92	3062958,61	795699,08	3062959,99
208	795408,79	3062576,20	795453,17	3062593,12
209	795424,44	3062603,21	795466,11	3062618,83
210	795419,47	3062610,56	795460,95	3062625,74
211	795407,46	3062632,35	795447,30	3062647,17
212	795374,41	3062667,92	795412,77	3062681,78
213	795396,31	3062690,64	795431,50	3062702,73
214	795383,78	3062681,09	795419,76	3062693,84
215	795350,40	3062690,92	795388,40	3062704,48
216	795366,77	3062707,17	795400,47	3062719,01
217	795284,36	3062704,27	795324,41	3062718,73
218	795353,58	3062905,36	795379,19	3062913,75
219	795318,79	3062992,36	795345,23	3063000,69

220	795211,30	3062907,32	795246,17	3062919,54
221	795241,00	3062928,24	795274,43	3062939,65
222	795002,27	3062573,42	795063,69	3062597,95
223	794579,79	3062816,00	794649,99	3062844,49
224	794874,40	3063258,32	794913,60	3063272,00
225	794799,91	3063266,39	794840,83	3063281,39
226	798190,27	3068463,02	797952,19	3068350,90
227	798418,38	3071730,08	798057,78	3071555,65
228	802561,92	3071312,95	802614,65	3071332,73
229	802624,69	3071293,23	802683,80	3071316,38
230	798176,19	3070560,70	797848,18	3070408,17
231	798190,47	3068468,85	797952,35	3068356,38
232	802594,40	3071480,63	802639,50	3071497,32
233	802577,06	3071481,65	802620,13	3071497,56
234	798552,83	3070203,52	798258,33	3070063,58
235	798147,70	3068537,19	797904,33	3068421,90
236	798407,58	3068799,14	798171,40	3068686,58
237	798112,91	3068501,38	797870,57	3068385,81
238	802575,63	3071450,74	802622,35	3071467,95
239	798561,92	3070699,87	798241,12	3070551,46
240	798215,63	3068495,89	797976,45	3068384,06
241	798178,33	3068460,37	797940,37	3068346,46
242	798113,20	3068537,82	797867,08	3068422,54
243	798363,91	3068829,35	798126,11	3068716,21
244	798622,61	3071061,15	798288,34	3070902,29
245	798205,36	3068793,85	797959,25	3068677,69
246	798593,77	3070779,53	798268,90	3070629,88
247	798562,92	3070737,16	798238,62	3070587,85
248	798613,72	3070372,45	798311,91	3070228,68
249	798144,73	3069045,40	797882,38	3068919,03
250	798126,39	3068675,15	797880,07	3068559,49
251	798568,45	3070658,62	798254,93	3070510,02
252	798005,23	3064931,20	797921,50	3064889,56
253	797969,91	3064131,19	797924,80	3064107,48
254	797969,15	3064394,47	797911,01	3064365,00
255	796944,87	3064057,47	796890,21	3064029,43
256	796650,98	3064123,53	796593,22	3064093,67
257	797052,14	3065773,09	796914,22	3065706,48
258	797966,98	3064628,98	797898,11	3064595,23
259	797959,43	3065158,38	797864,73	3065112,63
260	797756,81	3065135,51	797656,48	3065087,02
261	797812,46	3065235,98	797708,98	3065185,71
262	797806,31	3065272,03	797701,68	3065221,37
263	797778,11	3065354,92	797668,87	3065302,76
264	797528,35	3065434,54	797411,10	3065377,64

265	797734,91	3067895,15	797501,11	3067783,16
266	797504,62	3067864,65	797269,87	3067752,70
267	797512,96	3067792,97	797285,15	3067684,18
268	796803,72	3067819,89	796562,90	3067704,17
269	796687,48	3067780,89	796450,21	3067668,58
270	796669,09	3067754,53	796432,62	3067641,72
271	796095,56	3067715,46	795856,28	3067599,78
272	796087,31	3067707,15	795847,08	3067591,63
273	796054,50	3067679,27	795813,53	3067563,69
274	796070,69	3067672,37	795829,93	3067556,39
275	796181,63	3067678,45	795944,11	3067564,63
276	796337,60	3067461,71	796109,72	3067352,46
277	796378,20	3067453,18	796153,12	3067345,47
278	796398,16	3067418,30	796176,08	3067311,60
279	796436,04	3067346,65	796213,81	3067240,17
280	796423,47	3067319,12	796202,83	3067213,05
281	796399,75	3067303,99	796179,65	3067198,43
282	797672,31	3067450,92	797463,63	3067351,32
283	794793,31	3062866,63	794856,08	3062891,56
284	795819,65	3061744,59	795879,83	3061767,74
285	795563,87	3062061,00	795624,92	3062082,2
286	795814,33	3062190,81	795851,93	3062203,91
287	795903,36	3062164,02	795940,67	3062177,02
288	795885,42	3062170,75	795922,89	3062183,58
289	795881,53	3062184,61	795918,76	3062197,45
290	795930,68	3062172,84	795966,18	3062185,06
291	796012,46	3062057,22	796048,04	3062069,14
292	795976,57	3062081,07	796012,45	3062093,08
293	796023,80	3062123,93	796056,90	3062135,02
294	796033,05	3062125,08	796066,03	3062135,95
295	796009,87	3062117,61	796043,81	3062129,46
296	795989,08	3062143,04	796023,57	3062154,47
297	795945,81	3062104,34	795981,74	3062116,86
298	795920,37	3062100,83	795957,08	3062113,05
299	795913,16	3062089,56	795950,52	3062102,47
300	795926,43	3062075,18	795963,22	3062087,87
301	795869,08	3062031,39	795911,89	3062047,12
302	794375,09	3063074,02	794447,49	3063102,88
303	794389,37	3063063,81	794462,63	3063093,99
304	794318,62	3063110,32	794391,83	3063140,98
305	794311,37	3063143,79	794381,45	3063172,09
306	794262,43	3063196,51	794336,48	3063225,43
307	794297,30	3063151,30	794370,13	3063180,77
308	794166,86	3063257,53	794240,79	3063287,54
309	794155,36	3063270,66	794229,52	3063299,76

310	794142,00	3063276,58	794216,42	3063306,83
311	794114,21	3063296,59	794188,56	3063326,27
312	794007,02	3063398,67	794082,77	3063429,83
313	794008,35	3063408,32	794083,83	3063439,55
314	795587,67	3063610,22	795570,51	3063598,55
315	795337,53	3063675,79	795327,84	3063667,81
316	795397,91	3063711,39	795383,14	3063700,15
317	795427,58	3063691,92	795412,37	3063680,31
318	795423,34	3063692,79	795408,47	3063681,57
319	795263,13	3063457,79	795267,75	3063455,80
320	795540,74	3062889,74	795557,98	3062893,81
321	795687,92	3062958,61	795699,08	3062959,99
322	795408,79	3062576,20	795453,17	3062593,12
323	795424,44	3062603,21	795466,11	3062618,83
324	795419,47	3062610,56	795460,95	3062625,74
325	795407,46	3062632,35	795447,30	3062647,17
326	795374,41	3062667,92	795412,77	3062681,78
327	795396,31	3062690,64	795431,50	3062702,73
328	795383,78	3062681,09	795419,76	3062693,84
329	795350,40	3062690,92	795388,40	3062704,48
330	795366,77	3062707,17	795400,47	3062719,01
331	795284,36	3062704,27	795324,41	3062718,73
332	795353,58	3062905,36	795379,19	3062913,75
333	795318,79	3062992,36	795345,23	3063000,69
334	795211,30	3062907,32	795246,17	3062919,54
335	795241,00	3062928,24	795274,43	3062939,65
336	795002,27	3062573,42	795063,69	3062597,95
337	794579,79	3062816,00	794649,99	3062844,49
338	794874,40	3063258,32	794913,60	3063272,00
339	794799,91	3063266,39	794840,83	3063281,39
340	797616,31	3061323,12	797687,75	3061351,57
341	796539,70	3063753,07	796498,42	3063729,92
342	798640,56	3063467,20	798687,04	3063486,10
343	797630,89	3063147,13	797632,89	3063143,38
344	796389,74	3062917,81	796397,36	3062919,54
345	797962,78	3061729,26	798010,96	3061747,11
346	796649,94	3061938,02	796681,18	3061947,89
347	798560,48	3062596,78	798575,50	3062599,88
348	798559,68	3063248,10	798577,58	3063254,97
349	797524,55	3063609,47	797504,83	3063596,97
350	797796,93	3062376,89	797819,17	3062383,22
351	791294,50	3066511,23	791346,70	3066533,14
352	788560,71	3067065,26	788639,01	3067102,62
353	791362,63	3066438,84	791419,93	3066463,53
354	791206,96	3066595,42	791253,87	3066614,84

355	791208,27	3066593,08	791255,39	3066612,79
356	791483,28	3066424,12	791537,72	3066447,57
357	789171,27	3066953,14	789244,60	3066987,27
358	788480,13	3067073,94	788558,31	3067111,75
359	789193,02	3066935,78	789268,90	3066971,32
360	791484,85	3066404,85	791538,58	3066427,20
361	789218,09	3066921,17	789296,42	3066957,76
362	789337,66	3066907,74	789413,51	3066943,59
363	788663,17	3067104,32	788729,65	3067134,86
364	788324,56	3067081,34	788404,05	3067119,42
365	791716,09	3066121,42	791792,76	3066154,81
366	789342,05	3066887,90	789422,10	3066925,20
367	794717,41	3064548,80	794693,91	3064533,58
368	795906,71	3067556,46	795668,44	3067441,04
369	795103,23	3065490,08	795016,21	3065445,60
370	795955,95	3067560,23	795718,54	3067444,99
371	794354,15	3070703,11	793921,10	3070486,01
372	794654,69	3070201,29	794262,65	3070004,19
373	794544,31	3070309,15	794144,77	3070108,09
374	789434,60	3069410,40	789140,83	3069250,76
375	789446,67	3069444,26	789147,29	3069281,88
376	789083,22	3070117,43	788689,17	3069903,65
377	789076,89	3070105,42	788684,44	3069892,82
378	789083,27	3070089,60	788693,37	3069877,69
379	789125,26	3070098,72	788733,82	3069885,47
380	789106,45	3070098,44	788714,90	3069885,60
381	789113,87	3070103,89	788721,09	3069890,87
382	789290,98	3069154,74	789040,42	3069017,58
383	789076,59	3070091,54	788686,74	3069878,96
384	789113,10	3070115,06	788718,69	3069900,94
385	789102,36	3070089,30	788711,59	3069877,53
386	789114,66	3070080,43	788724,95	3069869,20
387	789146,10	3070123,31	788749,83	3069908,22
388	789152,32	3070129,73	788754,59	3069914,44
389	789139,86	3070102,51	788746,25	3069889,17
390	789147,59	3070100,91	788753,93	3069887,85
391	788746,65	3069279,27	788485,81	3069136,35
392	789161,05	3070141,59	788760,81	3069925,55
393	788764,57	3069299,24	788500,62	3069155,14
394	788065,29	3069497,18	787782,31	3069341,35
395	789328,63	3069140,82	789081,06	3069004,24
396	788785,65	3069343,88	788515,70	3069196,15
397	789129,49	3070091,03	788736,33	3069878,99
398	789398,51	3069424,28	789099,24	3069262,61
399	789173,46	3070082,72	788781,58	3069869,73

Annexos

400	789295,51	3069113,29	789052,32	3068980,75
401	788778,03	3069330,77	788510,41	3069184,51
402	789061,90	3069207,77	788809,12	3069068,54
403	791529,23	3069963,28	791130,10	3069753,34
404	791524,40	3069967,84	791125,14	3069757,97
405	789243,33	3070131,55	788841,92	3069913,99
406	791568,80	3070037,14	791159,20	3069821,80
407	789339,01	3069096,04	789099,79	3068964,87
408	788842,15	3069292,25	788580,79	3069149,32
409	788858,76	3069327,19	788592,70	3069180,54
410	788981,42	3069227,88	788728,15	3069088,86
411	788971,72	3069246,39	788715,45	3069106,80
412	791626,41	3068837,26	791376,71	3068705,26
413	791905,04	3068966,36	791632,63	3068822,31
414	791611,76	3068829,78	791363,48	3068697,69

<Link>	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
1	782685,778167	3071358,638140	782576,677845	3071291,042616	-1,33629	0,401854	1,39541
2	784095,114427	3071281,963424	783903,187671	3071166,112510	-0,963971	0,0169289	0,964119
3	784070,441566	3071241,208250	783879,110539	3071125,102011	-1,26827	-0,883604	1,54572
4	784306,662696	3071325,930388	784104,229073	3071204,844060	-0,0249935	1,3352	1,33543
5	784265,510897	3071305,329165	784066,446497	3071185,794021	1,24224	1,63937	2,05686
6	784287,341660	3071321,722867	784086,131537	3071201,034052	0,144759	1,13048	1,13971
7	783766,506444	3071164,304800	783593,315348	3071059,157071	0,982828	0,868111	1,31132
8	783871,616163	3071056,859802	783693,681412	3070947,478068	2,57507	-0,0839513	2,57644
9	783831,227270	3071119,432828	783654,231167	3071010,714490	1,06614	-0,630027	1,23838
10	783814,173953	3071173,544310	783638,857175	3071065,828803	1,35875	-0,253968	1,38228
11	783849,201997	3071096,513354	783670,461981	3070987,215532	0,423834	-0,651453	0,777192
12	783835,496996	3071083,002981	783659,349459	3070974,780090	2,35131	0,0110051	2,35134
13	783733,324908	3071218,686556	783559,486689	3071113,404395	-2,15183	-0,514588	2,2125
14	783699,832613	3071251,629056	783528,530378	3071148,197173	-1,98139	0,0930928	1,98358
15	783647,437511	3071153,127774	783477,369119	3071050,713895	-2,2532	-0,0475796	2,25371
16	787609,279936	3067966,684140	787543,857954	3067926,701765	-1,45393	-0,376776	1,50195
17	787695,180940	3068113,189454	787606,299746	3068060,316616	0,782732	0,449249	0,902494
18	787530,356385	3068110,109867	787446,755676	3068062,168703	-1,25797	1,55164	1,99752
19	787523,322510	3068129,588487	787437,495241	3068079,631238	-0,872282	0,940915	1,28304
20	787765,330076	3068155,783006	787663,714444	3068096,300021	-2,4611	-1,13306	2,7094
21	787744,573251	3068152,319953	787648,103996	3068095,770854	1,24388	1,04399	1,62393
22	787797,384398	3068244,981152	787684,748861	3068178,268102	1,4155	-0,441718	1,48282
23	787674,428322	3068448,331417	787536,719702	3068368,255852	0,765745	-0,661247	1,01174
24	787657,311183	3068450,113569	787518,529561	3068370,901690	-0,845103	-0,0662398	0,847695
25	787619,521833	3068436,467088	787485,266960	3068358,181821	-0,0444871	-1,09051	1,09141
26	787675,749146	3068506,174411	787527,841811	3068422,502158	-0,963968	0,264655	0,999638
27	787673,462747	3068529,948883	787522,126799	3068443,457200	-1,0624	-0,772975	1,31385
28	787653,554900	3068556,494938	787500,219256	3068468,857251	-0,188787	-0,358867	0,405495
29	787668,718109	3068685,456255	787497,861813	3068588,510011	1,42793	0,541341	1,5271
30	787735,484503	3068719,085749	787557,723912	3068618,937155	2,6651	1,58989	3,1033
31	787726,291439	3068697,540827	787552,762965	3068597,770446	3,36795	0,0970413	3,36934
32	787587,752424	3068798,163597	787401,288704	3068693,682096	-2,4514	-0,591837	2,52183
33	787612,781759	3068887,643874	787413,194977	3068775,703094	-1,99881	-0,81963	2,16033
34	787624,752796	3068849,034636	787431,715848	3068738,992083	-0,129436	-1,44995	1,45571
35	787649,206669	3068891,056345	787449,905988	3068778,018202	0,650258	-0,71583	0,967082
36	787656,047322	3068923,973476	787452,221097	3068809,437536	0,989896	0,380022	1,06034
37	787643,890880	3068910,774682	787441,637743	3068796,869803	0,118593	-0,276258	0,300637
38	787085,999423	3071261,144778	786696,770229	3071041,484639	-0,604016	0,482079	0,77281
39	787066,965252	3071324,312064	786679,748226	3071103,820156	2,3147	0,543262	2,3776
40	787044,713592	3071338,737288	786659,534019	3071120,330189	2,994	2,03503	3,62014
41	786759,905197	3071382,911879	786394,921052	3071173,691463	0,912011	0,126873	0,920794
42	786730,586299	3071420,034091	786368,886000	3071212,744041	2,82227	1,59739	3,24297
43	786726,447692	3071393,464509	786363,012238	3071185,121485	0,039742	-0,168787	0,173402
44	786576,444297	3071433,822208	786222,994458	3071231,655172	-1,01367	0,590509	1,17313
45	786560,106878	3071468,896517	786207,119426	3071264,675238	-1,11551	-1,52755	1,8915
46	786559,838149	3071476,057307	786206,272758	3071273,353589	-1,57371	0,0985231	1,57679
47	786572,521975	3071397,210391	786220,031119	3071194,825099	-1,21193	-0,458467	1,29575
48	786577,779684	3071361,994376	786225,111129	3071160,111696	-1,86088	-0,42108	1,90793
49	786422,996786	3071325,819473	786085,082766	3071130,531220	0,121539	-0,627704	0,639362
50	786408,474790	3071319,316297	786072,065240	3071125,451210	0,375917	0,11182	0,392195

<Link>	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
51	786484,264723	3071314,208017	786141,280378	3071116,878693	-0,630007	-0,513343	0,812669
52	786494,623933	3071266,532817	786152,551650	3071070,364850	-0,279382	0,0723733	0,288604
53	786528,210713	3071289,749725	786181,920459	3071091,002391	-1,28608	-0,716462	1,47219
54	786789,887778	3071197,382391	786427,684692	3070990,520055	-0,19619	-0,694106	0,7213
55	786720,357758	3071184,054467	786364,184565	3070980,598160	-0,0626274	-0,380199	0,385323
56	786822,880012	3071113,575959	786461,619226	3070906,334430	-0,166022	-2,05816	2,06484
57	786819,956518	3071129,745109	786457,094842	3070922,447588	-1,29054	-1,77191	2,19207
58	786805,413560	3071139,587259	786444,077316	3070932,051982	-0,468842	-2,30716	2,35432
59	780195,726763	3069690,254863	780266,607690	3069728,809650	0,941713	0,657192	1,14836
60	780202,878241	3069673,869176	780274,148330	3069712,934618	1,18896	1,12504	1,63687
61	780169,024377	3069690,559042	780239,620136	3069729,867985	-1,64698	0,0414469	1,64751
62	780130,955764	3069725,758829	780202,446103	3069764,925347	-2,50894	-1,23645	2,79707
63	780145,095897	3069761,570075	780217,174605	3069801,069708	0,857833	0,655779	1,07978
64	787660,332442	3070346,591155	787289,976959	3070142,382803	1,47572	1,65833	2,21987
65	785585,605887	3071364,485917	785307,290445	3071202,434521	1,64446	2,52558	3,01377
66	785463,841240	3071206,046774	785195,609597	3071048,536010	2,32717	1,34412	2,68745
67	786106,553936	3070999,036701	785799,524688	3070821,368715	-1,06076	-1,32451	1,69692
68	786337,841366	3070968,165711	786019,110773	3070784,645798	1,27809	-0,128189	1,28451
69	786494,318973	3070834,877733	786169,873965	3070648,368572	-0,168393	-1,65167	1,66023
70	786490,731513	3070903,191804	786161,804157	3070714,779122	-1,50971	-1,58782	2,19098
71	787264,446161	3070598,326052	786899,565390	3070397,664338	-1,523	2,5272	2,95064
72	787052,077581	3070384,043306	786719,092737	3070199,014774	-1,48364	0,964618	1,76965
73	787317,912626	3070350,641691	786970,553240	3070158,163026	-0,401563	1,02922	1,10479
74	787230,164348	3070067,719311	786913,932294	3069891,541868	-1,2212	-0,223772	1,24153
75	787201,891280	3069993,397118	786892,659751	3069821,215477	-3,26688	-1,15004	3,4634
76	786494,086644	3069267,851436	787324,301864	3069130,016595	-0,3079	-0,892306	0,943935
77	787611,757356	3069062,075585	787392,670334	3068939,198713	1,95627	0,828043	2,1243
78	787671,062991	3068774,465548	787488,677235	3068671,712365	2,54339	1,49232	2,94887
79	787632,437164	3068667,431788	787464,487655	3068571,024977	-0,00712649	-1,18846	1,18848
80	787676,783307	3068608,639554	787514,659370	3068516,977108	-0,37629	0,182487	0,418205
81	787575,383273	3068417,981739	787444,862147	3068341,716758	-0,991651	-1,52765	1,82129
82	787109,433274	3070353,236259	786773,982203	3070167,011372	-2,64175	0,243309	2,65293
83	787157,910718	3070337,255388	786822,559800	3070151,612591	-0,61679	1,69269	1,80156
84	787165,951349	3070308,817974	786833,196071	3070121,767531	0,0868181	-0,824178	0,828738
85	787612,081560	3070172,461400	787261,847505	3069978,872843	1,14124	1,0466	1,54849
86	787686,634328	3070134,922817	787334,237650	3069940,614016	0,636408	0,923468	1,12152
87	782533,494436	3070956,282751	782423,844707	3070887,119128	-0,934628	-1,61869	1,86914
88	782498,455435	3070967,825519	782391,234746	3070900,282175	-0,678287	-1,2658	1,43608
89	783139,228415	3071258,395838	783002,329541	3071173,639749	0,697751	0,483304	0,848787
90	783181,835787	3071299,005392	783043,038414	3071213,606023	0,205154	0,790475	0,816663
91	783165,615141	3071305,976672	783027,798384	3071221,014371	0,0620025	0,595113	0,598334
92	783181,542772	3071324,618353	783042,826747	3071239,006074	-0,433927	0,243535	0,497596
93	783040,467296	3067802,725289	783120,272649	3067843,260715	0,995946	-0,641812	1,18483
94	783725,908434	3067869,949146	783775,107125	3067893,708920	-1,05861	-0,372314	1,12217
95	783706,402801	3067885,366800	783753,834583	3067908,419782	-1,42269	-0,265368	1,44723
96	784915,886962	3067551,552336	784983,239705	3067584,223853	2,46424	0,607829	2,53809
97	785170,470670	3067432,511263	785245,421803	3067469,772565	-1,30616	-1,18213	1,76167
98	785468,903437	3067598,052081	785518,019029	3067620,048262	1,42587	0,0868171	1,42851
99	785546,739766	3067570,570776	785596,706269	3067594,912795	0,0339744	1,1945	1,19498
100	786111,551606	3067568,294915	786149,820598	3067583,645050	-0,294232	-1,13341	1,17098

<Link>	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
101	786064,163344	3067518,720640	786111,932189	3067540,464964	1,14045	0,715262	1,34619
102	786214,716972	3067508,315753	786258,437565	3067527,420979	-1,14434	-0,861766	1,43254
103	786505,362242	3067476,855676	786547,336684	3067496,155104	-0,840554	0,620501	1,04477
104	786570,762595	3067270,795412	786644,868911	3067307,480352	2,54674	2,04453	3,26588
105	787070,318134	3067128,001766	787150,988074	3067167,414065	-0,330621	0,0547892	0,33513
106	787021,725031	3067133,444289	787101,775476	3067172,176574	-1,35699	-0,908517	1,63304
107	786005,747354	3070753,621439	785717,642178	3070585,877114	1,47429	-1,00741	1,78561
108	786084,034079	3070689,099135	785794,702228	3070521,384798	1,7405	-0,514349	1,81491
109	786023,780246	3070584,859622	785744,100565	3070422,496579	2,39868	-0,243121	2,41097
110	782789,724179	3070787,042106	782663,866401	3070708,510576	-1,85206	-2,22395	2,89415
111	782883,618569	3070621,792626	782756,797073	3070543,546947	1,21274	0,251007	1,23844
112	783063,378217	3069966,580124	782946,540474	3069895,878223	0,559647	1,50306	1,60386
113	784174,882741	3069677,548616	784031,024306	3069591,395996	0,557234	0,9991	1,14399
114	784322,246193	3069622,234847	784175,231331	3069535,277759	-1,2937	0,808605	1,52562
115	785443,327817	3069873,583675	785236,329112	3069753,699869	-0,0680361	0,815119	0,817953
116	781055,531552	3070210,066552	781042,079274	3070198,171783	0,673634	-0,758046	1,01411
117	780962,289684	3070112,632498	780958,594246	3070106,433502	1,61146	-0,175225	1,62096
118	780949,170330	3070110,365160	780946,317554	3070104,951832	1,45457	0,0171396	1,45467
119	782553,924333	3069477,815276	782484,272771	3069433,831227	-2,26897	-0,409747	2,30567

Figura 81. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R1C1.

<Link>	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
1	791294,498239	3066511,231260	791346,696849	3066533,136561	-0,659352	-0,364942	0,75361
2	788560,708916	3067065,263271	788639,005225	3067102,621375	2,12	1,04128	2,36192
3	791362,627762	3066438,835183	791419,933662	3066463,529838	-0,64898	-0,130623	0,661995
4	791206,961802	3066595,420605	791253,870908	3066614,842262	-0,118792	0,0819204	0,1443
5	791208,266785	3066593,083333	791255,392265	3066612,791738	-0,115898	0,260854	0,285442
6	791483,282428	3066424,121161	791537,716255	3066447,571242	0,267166	0,557498	0,618208
7	789171,272114	3066953,138780	789244,595573	3066987,273945	-1,5898	-0,785393	1,77322
8	788480,131322	3067073,942508	788558,307147	3067111,749518	1,22618	0,973582	1,56569
9	789193,017027	3066935,784415	789268,899365	3066971,321302	-0,683025	-0,221487	0,718039
10	791484,847307	3066404,849342	791538,576153	3066427,198285	-2,47432	-1,5675	2,92905
11	789218,094686	3066921,166421	789296,416086	3066957,761379	0,567911	0,244762	0,61841
12	789337,660293	3066907,740480	789413,505470	3066943,586850	-0,15091	0,537232	0,558025
13	788663,169426	3067104,317027	788729,647246	3067134,856509	-1,92347	-1,5515	2,47121
14	788324,559968	3067081,344367	788404,054755	3067119,422450	-0,0714886	-0,358171	0,365235
15	791716,090647	3066121,420879	791792,755255	3066154,805671	1,53898	0,0652306	1,54036
16	789342,052397	3066887,897445	789422,104445	3066925,198272	1,60969	0,724559	1,76525
17	794717,405400	3064548,796092	794693,914849	3064533,583145	-0,356918	0,109474	0,373329
18	795906,708763	3067556,456584	795668,440251	3067441,035689	-1,9757	-0,594518	2,06321
19	795103,225076	3065490,077333	795016,210735	3065445,600302	1,26021	0,147181	1,26878
20	795955,947462	3067560,226676	795718,540639	3067444,989344	0,623464	0,276205	0,681906
21	794354,150893	3070703,110753	793921,100895	3070486,013565	-1,10234	0,118557	1,10869
22	794654,692741	3070201,286543	794262,652644	3070004,191138	0,0896252	-0,489084	0,497228
23	794544,311737	3070309,146464	794144,773814	3070108,086355	2,23797	0,707193	2,34705
24	789434,600043	3069410,401148	789140,832720	3069250,760371	-1,56824	-0,923177	1,81979
25	789446,669012	3069444,259748	789147,288566	3069281,875433	-1,76274	-0,811586	1,9406
26	789083,218881	3070117,431908	788689,165224	3069903,650244	1,18781	0,634787	1,34679
27	789076,886807	3070105,419872	788684,442402	3069892,815535	0,858753	0,792429	1,1685
28	789083,272380	3070089,601672	788693,372108	3069877,694567	1,06257	0,221304	1,08537
29	789125,263041	3070098,722310	788733,818161	3069885,468923	1,52805	-0,161292	1,53654
30	789106,454625	3070098,435674	788714,900415	3069885,601215	1,10347	0,138889	1,11218
31	789113,868012	3070103,888233	788721,091677	3069890,866434	0,825716	0,43667	0,934071
32	789290,982755	3069154,740616	789040,416089	3069017,578644	-0,543277	-0,612781	0,818933

<Link>	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
33	789076,591190	3070091,541849	788686,744282	3069878,964570	1,31688	-0,323791	1,3561
34	789113,095462	3070115,061642	788718,692783	3069900,938260	0,90356	0,248006	0,936978
35	789102,361137	3070089,304179	788711,593116	3069877,531407	0,427077	0,429547	0,605727
36	789114,655753	3070080,427863	788724,954601	3069869,197016	0,308552	0,305582	0,434263
37	789146,099752	3070123,305866	788749,825484	3069908,223135	0,765471	0,126856	0,775911
38	789152,318535	3070129,728716	788754,587994	3069914,440856	0,380497	0,477363	0,610453
39	789139,864251	3070102,513320	788746,253602	3069889,173097	0,15339	0,135915	0,204942
40	789147,592267	3070100,906276	788753,926534	3069887,850178	-0,0376078	0,326985	0,32914
41	788746,646763	3069279,267186	788485,805979	3069136,352104	-2,38489	-1,02784	2,59695
42	789161,053670	3070141,590302	788760,805715	3069925,553378	-0,199374	0,739756	0,766152
43	788764,566272	3069299,241666	788500,622676	3069155,137558	-1,9851	-0,368107	2,01894
44	788065,289963	3069497,181224	787782,308798	3069341,347381	-3,29059	-1,35394	3,55825
45	789328,632493	3069140,815236	789081,056170	3069004,243618	1,06825	-0,811768	1,34169
46	788785,651616	3069343,879470	788515,703956	3069196,148057	-0,545632	-0,0410871	0,547177
47	789129,488220	3070091,032029	788736,331707	3069878,986619	-1,30316	0,437272	1,37456
48	789398,513238	3069424,284464	789099,240137	3069262,613728	-5,60959	-2,10907	5,99297
49	789173,458385	3070082,718948	788781,575548	3069869,726184	-0,672041	-0,968881	1,17914
50	789295,507794	3069113,286721	789052,322362	3068980,748571	0,533643	0,653665	0,843832
51	788778,028052	3069330,770213	788510,412279	3069184,506367	-0,427298	0,252945	0,496553
52	789061,899100	3069207,765177	788809,116876	3069068,537496	0,812478	-0,428702	0,918644
53	791529,225450	3069963,284722	791130,097230	3069753,340505	-1,61187	-0,709368	1,76106
54	791524,402367	3069967,838262	791125,136282	3069757,970722	-1,18965	-0,330326	1,23465
55	789243,333010	3070131,547604	788841,917462	3069913,992290	-1,76269	-1,21112	2,13867
56	791568,797632	3070037,141830	791159,201455	3069821,801579	-2,52994	-1,27821	2,83451
57	789339,012175	3069096,042034	789099,788707	3068964,873539	2,73786	1,02623	2,92387
58	788842,148703	3069292,252199	788580,791586	3069149,316714	1,04634	0,914489	1,38965
59	788858,760213	3069327,191536	788592,697860	3069180,537609	2,15645	0,281658	2,17476
60	788981,422696	3069227,884224	788728,154214	3069088,857537	1,8405	0,704228	1,97063
61	788971,715064	3069246,394556	788715,454189	3069106,796323	1,54576	1,58857	2,21652
62	791626,414689	3068837,264905	791376,710556	3068705,259443	1,93142	1,59171	2,50278
63	791905,044504	3068966,359875	791632,634589	3068822,312226	1,19036	0,349133	1,2405
64	791611,764386	3068829,776356	791363,476953	3068697,688927	2,06806	0,875046	2,24557

Figura 82. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R1C2.

<Link>	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
1	798190,274450	3068463,023985	797952,192376	3068350,902816	0,0415886	-0,0495399	0,0646824
2	798418,379550	3071730,076019	798057,782151	3071555,646187	-0,114623	-0,0344127	0,119678
3	802561,922051	3071312,949525	802614,648080	3071332,734834	-0,0488804	0,263908	0,268397
4	802624,687900	3071293,230445	802683,802475	3071316,377599	-0,111008	-0,27031	0,292216
5	798176,193465	3070560,702027	797848,179918	3070408,172214	0,113374	-0,275998	0,298377
6	798190,468700	3068468,854456	797952,351126	3068356,379702	0,150168	-0,296701	0,332539
7	802594,402700	3071480,627688	802639,495481	3071497,319667	-0,27991	-0,318222	0,42381
8	802577,055483	3071481,654624	802620,127943	3071497,557793	-0,687609	-0,141008	0,701918
9	798552,825296	3070203,524210	798258,330016	3070063,581719	0,252623	-0,760086	0,800968
10	798147,704740	3068537,192208	797904,329155	3068421,903896	-0,798088	-0,535334	0,961003
11	798407,583310	3068799,144275	798171,403193	3068686,581465	-0,947164	-0,409288	1,03181
12	798112,914024	3068501,378580	797870,568254	3068385,814657	1,11922	-0,473013	1,21507
13	802575,633670	3071450,739647	802622,350447	3071467,950858	1,1355	0,48251	1,23376
14	798561,916351	3070699,868398	798241,116190	3070551,458486	-0,283956	1,55536	1,58106
15	798215,633285	3068495,893357	797976,445897	3068384,059584	-1,64669	0,0888704	1,64909
16	798178,331044	3068460,374506	797940,365477	3068346,457870	0,770888	-1,52747	1,71097
17	798113,203330	3068537,816020	797867,075747	3068422,538897	-1,6515	0,468586	1,71669
18	798363,913529	3068829,346363	798126,106436	3068716,214857	1,42827	1,03609	1,7645
19	798622,614613	3071061,150313	798288,337354	3070902,291396	0,755948	-1,94877	2,09026
20	798205,357920	3068793,845215	797959,249268	3068677,691447	1,53778	1,85807	2,41189
21	798593,773837	3070779,530430	798268,897495	3070629,881143	-1,91615	1,49788	2,43213
22	798562,921699	3070737,161008	798238,618518	3070587,854642	-1,97557	1,46345	2,45857
23	798613,719143	3070372,453686	798311,908248	3070228,682049	-1,40689	-2,12668	2,54993
24	798144,727435	3069045,397559	797882,377382	3068919,028090	-1,68616	-2,12046	2,70915
25	798126,391693	3068675,149087	797880,072548	3068559,491914	1,65858	2,23555	2,78362
26	798568,448510	3070658,622212	798254,927467	3070510,024653	4,59071	0,337098	4,60307

Figura 83. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R1C3.

<Link>	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
1	794793,306200	3062866,627000	794856,077400	3062891,560000	1,80035	0,933835	2,02813
2	795819,654500	3061744,588000	795879,834000	3061767,739000	0,420395	0,821215	0,922565
3	795563,871000	3062061,000000	795624,916400	3062082,202000	1,62146	-0,989335	1,89945
4	795814,332000	3062190,808000	795851,929400	3062203,911000	-1,5181	-0,62041	1,63998
5	795903,361600	3062164,023000	795940,670800	3062177,020000	1,15277	0,597758	1,29854
6	795885,424100	3062170,745000	795922,890800	3062183,582000	0,793891	0,204507	0,819809
7	795881,525400	3062184,608000	795918,763300	3062197,446000	0,972559	0,38496	1,04598
8	795930,677600	3062172,840000	795966,176700	3062185,063000	0,869617	0,514064	1,0102
9	796012,461400	3062057,223000	796048,040300	3062069,138000	-0,116476	-0,287871	0,310543
10	795976,569200	3062081,067000	796012,453800	3062093,083000	-0,415478	-0,450551	0,612877
11	796023,803000	3062123,926000	796056,903800	3062135,019000	0,283286	0,226329	0,362596
12	796033,046000	3062125,077000	796066,032000	3062135,945000	0,547633	0,17939	0,576266
13	796009,870400	3062117,609000	796043,806900	3062129,463000	0,364685	0,635832	0,732992
14	795989,083600	3062143,035000	796023,566300	3062154,466000	1,05003	0,27708	1,08598
15	795945,809000	3062104,339000	795981,740900	3062116,864000	-0,784521	-0,123426	0,794171
16	795920,368000	3062100,833000	795957,081600	3062113,054000	-1,28241	-0,996508	1,62407
17	795913,163000	3062089,561000	795950,520000	3062102,470000	-1,43705	-0,661558	1,58201
18	795926,428500	3062075,180000	795963,220000	3062087,865000	-1,97999	-0,878361	2,16607
19	795869,076300	3062031,391000	795911,890700	3062047,119000	-0,63846	0,134611	0,652496
20	794375,093300	3063074,017000	794447,494800	3063102,877000	0,857974	-0,144005	0,869976
21	794389,370800	3063063,808000	794462,629000	3063093,987000	1,9178	1,27522	2,30307
22	794318,615200	3063110,317000	794391,826400	3063140,977000	0,783759	1,21873	1,449
23	794311,368300	3063143,788000	794381,454700	3063172,092000	-1,80725	-0,83959	1,99275
24	794262,426500	3063196,505000	794336,475400	3063225,432000	1,75475	-0,353928	1,79009
25	794297,301700	3063151,299000	794370,130500	3063180,771000	0,666228	0,197872	0,694992
26	794166,859700	3063257,533000	794240,788700	3063287,537000	0,0156516	-0,0182578	0,0240483
27	794155,359200	3063270,663000	794229,517400	3063299,761000	0,128377	-0,953201	0,961807
28	794142,002100	3063276,579000	794216,420500	3063306,825000	0,141401	0,0720775	0,158712
29	794114,214300	3063296,587000	794188,559800	3063326,272000	-0,351401	-0,66748	0,754329

<Link>	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
30	794007,021600	3063398,673000	794082,767100	3063429,830000	-0,523771	0,316227	0,611829
31	794008,345700	3063408,317000	794083,825400	3063439,553000	-0,758561	0,476336	0,895718
32	795587,671800	3063610,224000	795570,506000	3063598,554000	-0,795598	-0,131093	0,806326
33	795337,527600	3063675,789000	795327,839800	3063667,808000	0,673105	1,07051	1,26454
34	795397,907200	3063711,389000	795383,137900	3063700,153000	0,142584	-0,118915	0,185664
35	795427,579700	3063691,915000	795412,374400	3063680,309000	-0,0389148	-0,443526	0,44523
36	795423,342500	3063692,788000	795408,471800	3063681,566000	0,16886	-0,111362	0,202275
37	795263,127100	3063457,793000	795267,745000	3063455,804000	0,0956317	-0,0857376	0,128438
38	795540,737700	3062889,737000	795557,984400	3062893,814000	-1,77855	-1,04247	2,06155
39	795687,924800	3062958,609000	795699,077000	3062959,987000	0,90038	0,450164	1,00664
40	795408,792000	3062576,198000	795453,174100	3062593,116000	3,11391	1,90891	3,65245
41	795424,442800	3062603,212000	795466,112300	3062618,834000	2,64427	1,58195	3,08135
42	795419,471600	3062610,559000	795460,952900	3062625,739000	2,56346	1,1805	2,82222
43	795407,464800	3062632,352000	795447,300400	3062647,170000	1,38412	1,00532	1,71069
44	795374,407600	3062667,921000	795412,772200	3062681,778000	-0,0626007	0,0220639	0,0663752
45	795396,307900	3062690,638000	795431,504700	3062702,733000	-0,874679	-0,704593	1,12317
46	795383,780100	3062681,088000	795419,757200	3062693,843000	-1,26211	-0,560195	1,38085
47	795350,402600	3062690,917000	795388,404000	3062704,479000	-0,562141	-0,353895	0,664262
48	795366,772600	3062707,166000	795400,469000	3062719,005000	-3,13279	-1,31432	3,39733
49	795284,363900	3062704,274000	795324,405600	3062718,727000	-1,51824	-0,808542	1,72011
50	795353,578600	3062905,358000	795379,189600	3062913,753000	-1,84188	-0,628248	1,94608
51	795318,785400	3062992,364000	795345,229900	3063000,685000	1,51876	0,441329	1,58159
52	795211,303600	3062907,315000	795246,169700	3062919,537000	-0,406396	-0,327724	0,522073
53	795240,997100	3062928,243000	795274,427200	3062939,645000	0,921402	0,0921645	0,926
54	795002,267900	3062573,422000	795063,692600	3062597,948000	-2,7094	-0,44363	2,74548
55	794579,793900	3062815,995000	794649,990600	3062844,490000	-2,43704	-0,749941	2,54981
56	794874,403600	3063258,317000	794913,595500	3063271,998000	0,705768	0,0927795	0,71184
57	794799,907300	3063266,386000	794840,834900	3063281,391000	-1,9377	-0,50297	2,00191

Figura 84. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R2C2.

<Link>	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual_x	Residual_y	Residual
1	797616,314298	3061323,122423	797687,751941	3061351,565188	-0,363103	0,00353486	0,36312
2	796539,696103	3063753,069436	796498,421021	3063729,918348	0,187634	-0,00196297	0,187644
3	798640,562195	3063467,201699	798687,041092	3063486,099909	-0,0064315	-0,000110455	0,00643245
4	797630,894156	3063147,133730	797632,894887	3063143,375612	1,0931	-0,011163	1,09316
5	796389,741540	3062917,812549	796397,358805	3062919,537664	-0,270067	0,00254876	0,270079
6	797962,784708	3061729,260148	798010,963178	3061747,113653	0,782022	-0,00804061	0,782063
7	796649,940595	3061938,020838	796681,176223	3061947,890897	0,231605	-0,00248603	0,231618
8	798560,483523	3062596,778443	798575,504075	3062599,878451	-0,275451	0,00277389	0,275465
9	798559,681556	3063248,100260	798577,581058	3063254,970455	0,185955	-0,00201814	0,185965
10	797524,553276	3063609,465468	797504,825787	3063596,971556	-0,667789	0,00661021	0,667822
11	797796,930236	3062376,885159	797819,166850	3062383,215135	-0,897611	0,00895443	0,897655

Figura 85. L'error d'ajust obtingut per a cada punt del R2C3.

Mètriques de paisatge

Taula A 3. Mètriques de les classes de la classificació de la Vila de Valverde. La primera columna correspon a la classe, la segona a les mètriques calculades, la tercera als valors de la classificació amb Model Digital d'Altures de Cobertura Vegetal (MDACV) i la darrera sense MDACV.

		MDACV	S/N MDACV
<i>Fayal-brezal</i>	CA	209,49	179,51
	PLAND	21,77	18,65
	NP	5674	4202
	PD	589,58	436,62
	LPI	12,23	10,49
	ED	473,46	404,57
	FRAC_MN	1,11	1,11
	PAFRAC	1,39	1,36
	PROX_MN	7414,67	5944,34
<i>Pastures</i>	CA	201,33	205,12
	PLAND	20,92	21,31
	NP	16144	13196
	PD	1677,49	1371,17
	LPI	6,49	5,28
	ED	898,87	774,32
	FRAC_MN	1,12	1,13
	PAFRAC	1,51	1,48
	PROX_MN	1601,62	904,46
<i>Conreus de secà</i>	CA	507,63	528,97
	PLAND	52,75	54,96
	NP	12545	8142
	PD	1303,53	846,02
	LPI	30,64	33,94
	ED	1252,64	1098,72
	FRAC_MN	1,10	1,11
	PAFRAC	1,45	1,40
	PROX_MN	34656,62	43399,97
<i>Urbà</i>	CA	43,94	48,79
	PLAND	4,57	5,07
	NP	8087	3031
	PD	840,31	314,95
	LPI	2,80	3,55
	ED	255,65	161,10
	FRAC_MN	1,08	1,08
	PAFRAC	1,50	1,40
	PROX_MN	973,67	1537,55

Taula A 4. Mètriques de les classes de la classificació de la part N. La primera columna correspon a la classe, la segona a les mètriques calculades, la tercera als valors de la classificació amb Model Digital d'Altures de Cobertura Vegetal (MDACV) i la darrera sense MDACV.

		MDACV	S/N MDACV
Fayal-brezal	CA	125,33	119,69
	PLAND	31,27	29,86
	NP	4253	2455
	PD	1061,13	612,52
	LPI	29,02	27,91
	ED	589,50	414,32
	FRAC_MN	1,10	1,11
	PAFRAC	1,57	1,49
	PROX_MN	6620,68	9002,45
Savinar humit	CA	105,40	106,30
	PLAND	26,30	26,52
	NP	14496	7731
	PD	3616,76	1928,89
	LPI	18,43	18,53
	ED	1422,98	953,37
	FRAC_MN	1,09	1,10
	PAFRAC	1,52	1,43
	PROX_MN	3563,37	3814,57
Tabaibal amargo	CA	159,38	149,70
	PLAND	39,77	37,35
	NP	4232	3115
	PD	1055,89	777,19
	LPI	37,70	33,69
	ED	941,83	817,62
	FRAC_MN	1,10	1,11
	PAFRAC	1,57	1,49
	PROX_MN	17222,16	21865,97
Conreus de secà	CA	10,68	25,10
	PLAND	2,66	6,26
	NP	6911	6297
	PD	1724,30	1571,11
	LPI	0,16	0,83
	ED	320,46	479,48
	FRAC_MN	1,09	1,10
	PAFRAC	1,57	1,53
	PROX_MN	11,43	73,35



Figura 86. Perfil de vegetació del savinar humit de la part nord de l'illa a la ortofotografia PNOA.

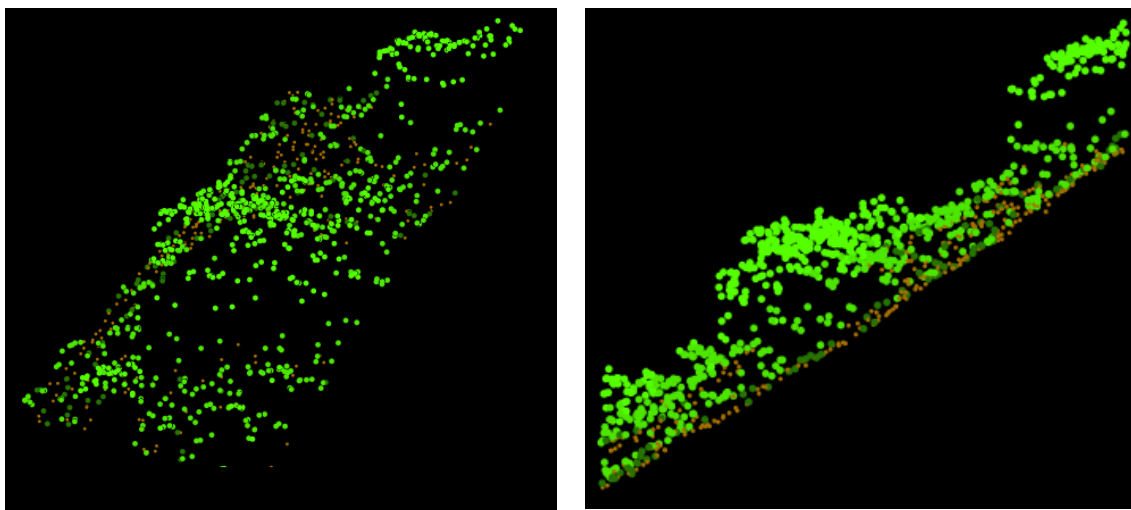


Figura 87. Perfil de vegetació del savinar humit de la part nord de l'illa. A l'esquerra el model 3D i a la dreta el perfil 2D.



Figura 88. Els conreus de secà propers a la Vila de Valverde sobre la orto imatge PNOA.

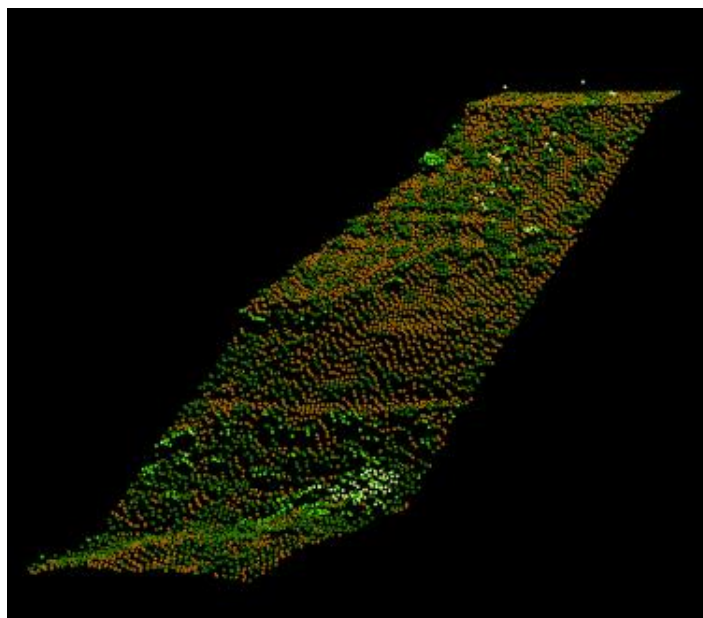


Figura 89. Perfil de la Villa de Valverde en un model de tres dimensions.



Figura 90. Perfil del savinar sec de la Dehesa.

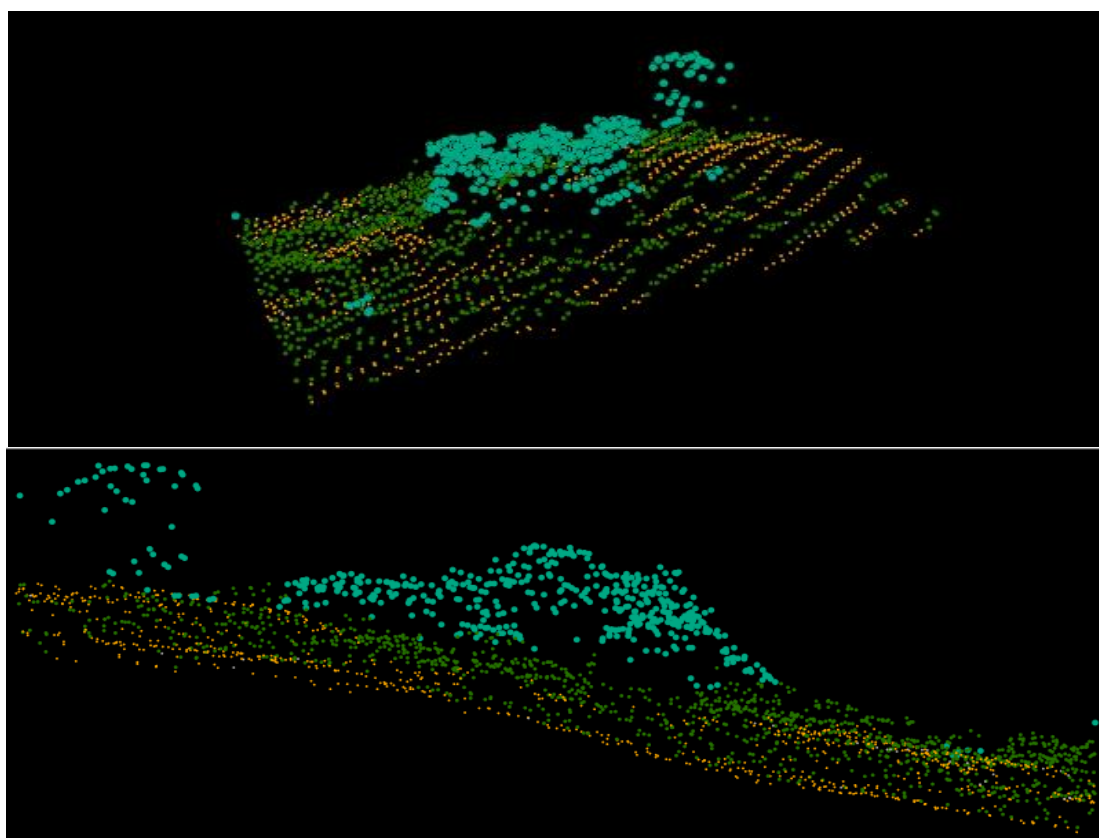


Figura 91. Els punts d'alta vegetació del savinar sec de la Dehesa sobre l'ortofotografia PNOA.

Annex 4. Tractament de les dades de Lidar.

El software FUSION de (McGaughey, 2018) és que s'ha escollit per analitzar les dades Lidar.

➔ Obtenció del Model digital d'elevacions

El comando utilitzat és *gridsurfacecreate*. Selecciona els retorns classificats com a sòl. S'ha calculat dos vegades per obtenir un MDT de 10 m i un altre de 2m.

```
C:\FUSION\GridSurfaceCreate /class:2 G:\miriam\MATERIAL\LIDAR\2009DTM10\188-3070.dtm 10 m m 1 0 0 0 G:\miriam\MATERIAL\LIDAR\2009D\188-3070.las
```

```
C:\FUSION\GridSurfaceCreate /class:2 G:\miriam\MATERIAL\LIDAR\DTM2015\188-3068RGB.dtm 2 m m 1 0 0 0 G:\miriam\MATERIAL\LIDAR\2015D\188-3068RGB.las
```

➔ Obtenció del Model digital de superfícies

El comando utilitzat és el *CanopyModel*. Selecciona aquells retorns classificats com a l'altitud major de cada centre de cel·la. També s'ha calculat per a les dues resolucions: 10 m i 2 m.

```
C:\FUSION\CanopyModel G:\miriam\MATERIAL\LIDAR\CANOPY0910\188-3070.dtm 10 m m 1 0 0 0 G:\miriam\MATERIAL\LIDAR\2009D\188-3070.las
```

```
C:\FUSION\CanopyModel G:\miriam\MATERIAL\LIDAR\CANOPY\188-3070.dtm 2 m m 1 0 0 0 G:\miriam\MATERIAL\LIDAR\2009D\188-3070.las
```

➔ Obtenció de Model digital d'altitud de la vegetació

Aquest model es deriva de la diferencia entre el model digital d'elevacions i model de superfície de les cobertes vegetals (Antonarakis *et al.*, 2008; McGaughey, 2018). Aquest model s'aconsegueix mitjançant el comando *CanopyModel* i especificant quin és l'arxiu del Model Digital d'Elevacions.

```
C:\FUSION\CanopyModel /ground:G:\miriam\MATERIAL\LIDAR\DTM2015\188-3068RGB.dtm G:\miriam\MATERIAL\LIDAR\VEGE\188-3068RGB.dtm 2 m m 1 0 0 0 G:\miriam\MATERIAL\LIDAR\2015D\188-3068RGB.las
```

```
C:\FUSION\CanopyModel /ground:G:\miriam\MATERIAL\LIDAR\DTM2015\188-3068RGB.dtm G:\miriam\MATERIAL\LIDAR\VEGE\188-3068RGB.dtm 10 m m 1 0 0 0 G:\miriam\MATERIAL\LIDAR\2015D\188-3068RGB.las
```
