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

Jodar López, Helena; Pesquer Mayos, Lluís, dir. Anàlisi de la dinàmica de la vegetació periurbana al Parc Natural de Collserola. 2025. 14 pag. (Grau en Gestió de Ciutats Intel·ligents i Sostenibles)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/317284>

under the terms of the  license

Anàlisi de la dinàmica de la vegetació periurbana al Parc Natural de Collserola

Helena Jodar López

Resum— Aquest treball analitza la dinàmica de la vegetació del Parc Natural de Collserola mitjançant tècniques de teledetecció, amb l'objectiu de comprendre com ha evolucionat aquest espai verd periurbà en les darreres dues dècades. S'han utilitzat índexs de vegetació com el NDVI i l'índex d'àrea foliar (LAI) per avaluar la salut i la densitat de la vegetació, i s'han analitzat imatges satel·litals dels anys 2004, 2009, 2014, 2019 i 2024. Els resultats mostren una clara estacionalitat en la vegetació mediterrània, amb un pic de vigor al juny i una davallada al setembre. També s'han identificat anomalies com l'any 2024, on la vegetació es manté activa fins a finals d'estiu. A més, s'ha detectat una pressió creixent per part del creixement urbà, la fragmentació d'hàbitats i els efectes del canvi climàtic.

Paraules clau— Vegetació periurbana, teledetecció, NDVI, LAI, canvi climàtic, Collserola.

Abstract— This research analyses vegetation dynamics in the Collserola Natural Park through remote sensing tools, focusing on the evolution of peri-urban green areas over the last 20 years. Using satellite data and vegetation indices (NDVI and LAI), changes in plant cover were detected during spring, summer, and autumn. Results confirm the Mediterranean seasonal pattern with maximum greenness in June and decline in September. Some years, like 2024, showed exceptional behavior due to favorable climatic conditions. The study also highlights how urban pressure and climate change affect vegetation health. Remote sensing proves essential for understanding environmental changes and supporting conservation strategies in urban-natural transition zones.

Index Terms— Vegetation dynamics, remote sensing, Mediterranean ecosystems, urban sprawl.

1 INTRODUCCIÓ

A l llarg dels anys, la conservació i gestió de les àrees verdes periurbanes ha sigut un repte important pels humans en la planificació ambiental i urbana. Aquests espais verds, situats a les afores d'algunes ciutats, proporcionen béns i serveis ambientals, com per exemple, la regulació climàtica, la protecció de la biodiversitat i el benestar de la població. No obstant això, aquests ecosistemes, estan sotmesos a perills constants derivats de l'expansió urbana, el canvi climàtic i les activitats humanes, el qual provoca canvis en la seva estructura i composició vegetal.

Així mateix, una tècnica que permet obtenir informació sobre la superfície terrestre és la teledetecció, ja que és una eina molt útil per poder analitzar aquests canvis de vegetació i l'expansió urbana en el temps, gràcies a l'accés a imatges de satèl·lits captades al llarg del temps. A més a més, el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) i el LAI (Leaf Area Index) són dos índexs força necessaris, ja que mesuren la salut i la dinàmica de la vegetació a gran escala, mitjançant la diferència entre la llum reflectida en l'infraroig proper (NIR) i la llum vermella (Red). [28] En aquest sentit, aquests indicadors faciliten l'anàlisi de la resposta dels ecosistemes als factors ambientals i d'origen humà, i són imprescindibles per a la presa de decisions per a la conservació i ordenació del territori.

Per tant, aquest treball es centra exactament en l'anàlisi de la dinàmica de la vegetació del Parc Natural de

Collserola, situat al costat de Barcelona, dins de l'àrea metropolitana de Barcelona. Així mateix, es troba en un espai fortament urbanitzat. Tanmateix, mitjançant seqüències d'imatges de satèl·lit, i l'estudi d'indicadors de vegetació, el que he realitzat ha sigut una comprensió sobre com ha evolucionat la vegetació en aquest espai periurbà durant els darrers anys i he identificat les possibles tendències de canvi associades a les condicions ambientals i els humans.

1.1 Context i justificació

Les zones de transició urbana, és a dir, aquells espais que es troben entre la ciutat i la natura, tenen un paper molt important a l'hora de mantenir l'equilibri ecològic dins les ciutats. Actuen com un espai intermedi que connecta els entorns urbans amb els ecosistemes naturals, i per això m'ha semblat interessant centrar el meu treball en la Serra de Collserola. Crec que és un molt bon exemple d'espai periurbà que aporta una gran quantitat de beneficis ambientals, com ara ajudar a regular la temperatura, capturar CO₂, evitar l'erosió del sòl i protegir la biodiversitat que encara hi viu.

Tot i això, he vist que aquests espais verds no estan exempts de problemes. Un dels principals és el creixement de la ciutat, que ha anat trencant i fragmentant els hàbitats naturals, posant molta pressió sobre les espècies de plantes i animals que hi habiten. A més, també cal tenir en compte

els efectes del canvi climàtic, que està modificant el clima, alterant la disponibilitat d'aigua i canviant les condicions i el tipus de vegetació que hi pot créixer. Davant d'aquesta situació, crec que és clau poder disposar de bones eines per seguir l'evolució d'aquests espais. En aquest sentit, la teledetecció em sembla especialment útil, ja que permet observar com van canviant els ecosistemes al llarg del temps i obtenir informació molt valuosa per gestionar-los millor.

1.2 Motivació

Estic molt motivada en la realització d'aquest treball, ja que tinc molt interès per la sostenibilitat ambiental i la gestió dels espais naturals en entorns urbans, sobretot centrat en Collserola, ja que és un espai que està a poca distància d'on visc i vull veure i analitzar els canvis que hi han hagut en les últimes dècades. [5] Per aquest motiu, considero que és important estudiar com ha evolucionat tant la vegetació, com l'ús del sòl a Collserola, i també saber quins factors han influït en aquests canvis. A més, penso que és una molt bona oportunitat utilitzar les tècniques de teledetecció per dur a terme aquestes anàlisis, ja que vull aprofitar els meus coneixements obtinguts en l'assignatura anomenada Teledetecció per als Sistemes Urbans.

1.3 Objectius del treball

Aquest treball té com a objectiu principal analitzar com ha anat canviant la vegetació als voltants del Parc Natural de Collserola en els últims anys, amb especial atenció a les zones periurbanes, que estan més exposades a la pressió humana. Per fer-ho, s'utilitzaran eines de teledetecció que permetin observar l'evolució del paisatge i identificar els factors que han pogut influir en aquests canvis.

Un dels objectius que em plantejo és fer servir imatges de satèl·lit i índexs de vegetació per detectar com ha anat transformant-se la coberta vegetal. Això m'ajuda a veure si hi ha patrons clars tant en l'espai com en el temps, i també fins a quin punt aquests canvis poden estar relacionats amb causes naturals o amb l'activitat humana.

A banda d'això, també em sembla important reflexionar sobre com el creixement urbà de l'àrea metropolitana de Barcelona ha anat afectant la conservació del parc. A través d'aquest estudi, voldria aportar una visió que ajudi a entendre millor la relació entre el desenvolupament de la ciutat i la necessitat de protegir els espais naturals. M'interessa veure, sobretot, com aquest equilibri (o desequilibri) ha influït en la biodiversitat i en l'estructura del paisatge de la zona.

Finalment, vull valorar la teledetecció com una eina molt útil per al monitoratge ambiental. Gràcies a la seva capacitat per captar dades en diferents moments i escales, em permetrà fer una anàlisi molt més acurada dels processos que afecten el territori.

1.4 Organització

Pel que fa a l'organització del treball, l'estructura que segueixo és la següent: en primer lloc, abans de començar

a escriure, m'informo llegint estudis semblants per contextualitzar el problema i aprofundir en aquest àmbit. En segon lloc, realitzo un índex i estableixo el marc teòric. Seguidament, per dur a terme la part pràctica, descarrego les dades de les plataformes de teledetecció com Copernicus, AMB i EarthData, per tal d'obtenir les imatges necessàries de Collserola de les últimes dècades.

Una vegada obtingudes les dades, dedico una part important del temps a processar-les amb el programari de SIG anomenat MiraMon, genero mapes i sèries temporals que permeten visualitzar els canvis en la vegetació periurbana de Collserola. Després, analitzo aquests resultats per identificar els patrons de canvi i establir relacions entre la variació dels índexs de vegetació i factors com el creixement urbà o les condicions climàtiques. Finalment, redacto la interpretació i la discussió dels resultats obtinguts, així com la conclusió i la recopilació de les fonts consultades.

2 MARC TEÒRIC

En aquest apartat, explico els conceptes que em serveixen de base per analitzar com evoluciona la vegetació als espais verds periurbans, centrant-me en el cas del Parc Natural de Collserola. El que vull és entendre com canvia aquest ecosistema amb el temps i identificar quins factors hi influeixen, tant els naturals com els que tenen a veure amb la presència humana.

Per començar, faig una descripció general del parc, tenint en compte on està situat i quins valors ecològics destaca. A partir d'aquí, analitzo com diferents elements com el clima, les característiques del sòl i sobretot la pressió urbana afecten la vegetació del parc i la seva dinàmica.

Finalment, explico els mètodes que faig servir per fer el seguiment dels canvis en la vegetació mitjançant la teledetecció. Em centro en alguns dels índexs més utilitzats com el NDVI i el LAI, que em permeten valorar com varia la coberta vegetal al llarg del temps de manera clara i eficient.

2.1 Caracterització del Parc Natural de Collserola

En aquest apartat he fet una anàlisi de les característiques més destacades del Parc Natural de la Serra de Collserola. Per poder entendre bé la vegetació d'aquest espai verd periurbà, crec que és essencial tenir clar quatre aspectes bàsics. Primer, la seva ubicació geogràfica, després, el clima especial que hi predomina. També cal conèixer quins tipus de vegetació són més habituals i, finalment, quines pressions ambientals exerceixen algun tipus d'impacte sobre el parc. Amb tot això ben clar, és més fàcil fer un estudi complet i correcte del que hi ha a Collserola.

2.1.1 Uicació geogràfica i extensió

El Parc Natural de Collserola està situat entre la ciutat de Barcelona i diversos municipis del seu entorn immediat, com Cerdanyola, Sant Just Desvern o Esplugues, fent-lo

una peça fonamental del paisatge d'aquesta zona. Jo el veig com una mena de pont entre el món urbà i el natural, un espai que, malgrat la pressió de la ciutat, manté una gran biodiversitat. Té aproximadament 8.000 hectàrees i per aquest motiu, és un dels parcs més grans de la zona. La seva orografia no és gens monòtona, ja que té turons, valls i altituds que van dels 100 als 500 metres, els quals li donen un relleu molt especial.

Aquesta varietat de formes no només marca el paisatge sinó que també condiciona com es distribueixen les plantes i els animals, i fins i tot com circula l'aigua o com es comporta el clima local. A més, un factor molt important, és que Collserola és essencial per a la població de Barcelona i els voltants, ja que és el pulmó verd de la metròpolis i un refugi per als ciutadans que busquen escapar del soroll de la ciutat.

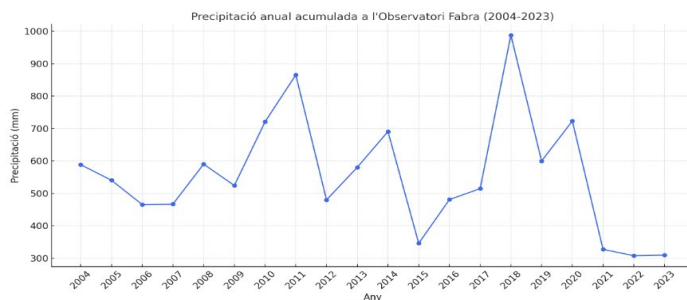


Figura 2: Precipitacions a Barcelona des del 1914-2023 [30]

2.1.3 Tipus de vegetació

A Collserola trobem diferents tipus de vegetació típics del Mediterrani. Allà on hi ha més humitat i ombra, sobretot a les parts de nord i als fons de les valls, creixen boscos d'alzines. Aquests arbres, que mantenen les fulles tot l'any, fan una ombra densa on també creixen heura i falgueres.

A les parts més seques i assolellades, especialment als turons i vessants de sud, predominen els pins blancs. Aquí el bosc és més obert i hi creixen arbusts com la garriga i plantes oloroses com el romaní i la farigola.

A les rieres, com la de Vallvidrera, la vegetació canvia completament. Aquí hi ha arbres que necessiten més aigua, com els salzes i les vernes, que creixen a les vores del curs d'aigua. Aquests espais, encara que petits, són molt importants per als animals i plantes que necessiten més humitat.

2.1.4 Pressions ambiantales

Collserola és un espai natural que té un valor ecològic molt important, però també s'enfronta a reptes complicats, sobretot perquè està molt a prop de zones urbanes. Per una banda, la presència humana afecta el parc de moltes maneres, perjudicant tant la vegetació com els ecosistemes que hi ha.

Un dels problemes més visibles és la fragmentació del territori. Això passa perquè s'hi han construït infraestructures com carreteres i urbanitzacions que no només alteren els hàbitats naturals, sinó que també aïllen les espècies i dificulten que es connectin diferents parts del parc.

D'altra banda, la contaminació de l'aire que ve de l'àrea metropolitana de Barcelona també suposa un risc important, sobretot per a les plantes que són més sensibles. A més, les espècies invasores estan competint amb les natives pels recursos, i això desestabilitza l'equilibri ecològic del parc.

Per si no n'hi hagués prou, el canvi climàtic empitjora encara més la situació. A la zona mediterrània, s'observa un augment general de les temperatures, però pel que fa a les precipitacions, el que sembla més clar és un canvi en el seu patró, ja que hi ha períodes curts de pluges intenses, alternats amb llargs períodes de sequera. Aquesta variabilitat provoca un estrès hídric important per als ecosistemes, que dificulta l'adaptació i augmenta el risc d'incendis forestals. Tot això posa en perill la sostenibilitat del parc a llarg termini.



Figura 1: Mapa del Parc Natural de Collserola [13]

2.1.2 Clima

El clima de Collserola és típicament mediterrani amb hiverns suaus i estius calorosos i secs. Les temperatures a l'hivern rarament baixen de zero graus mentre que a l'estiu poden superar els trenta graus fàcilment. Les pluges són irregulars al llarg de l'any amb una mitjana anual entre 600 i 800 mil·límetres però amb molta variació d'un any a l'altre, ja que hi ha anys molt plujosos, amb més de 800 mm, i d'altres secs, on no s'arriba ni als 500 mil·límetres.

La primavera i la tardor són les estacions més humides amb aiguats sobtats mentre que a l'hivern plou menys, però de manera més constant. De fet, als mesos d'estiu les precipitacions són gairebé inexistents, cosa que provoca un estrès hídric important per a la vegetació. Aquesta manca d'aigua constant posa a prova la vegetació del parc, ja que les alzines i els pins que dominen el paisatge estan adaptats a aquestes condicions, però en anys especialment secs es nota com algunes plantes més dèbils no sobreviuen.

Pel que fa a les zones altes com el Tibidabo, tenen un clima una mica diferent amb temperatures més baixes i fins i tot alguna nevada ocasional. En canvi, a les parts baixes properes a la ciutat el clima és més càlid i sec.

2.2 La dinàmica de la vegetació en espais verds

periurbans

Els espais verds periurbans no són només zones verdes qualsevol, sinó que funcionen com a ecosistemes molt importants que ajuden a conservar la biodiversitat i, a més, milloren la qualitat de vida de la gent. Aquests espais actuen com un filtre contra la contaminació, regulen la temperatura, eviten que el sòl erosioni i fins i tot capturen CO₂. A més, són llocs ideals per a l'oci i el benestar de la població. Però no tot és estable, ja que la vegetació en aquests espais està en constant canvi i s'enfronta a amenaces serioses.

Un dels problemes més grans és l'expansió urbana. A mesura que les ciutats creixen, aquests espais verds es fragmenten o es converteixen en zones urbanitzables. A les zones de transició entre ciutat i bosc, sovint es deixa d'explotar els conreus, fet que provoca un creixement espontani de la vegetació, però això pot desequilibrar l'ecosistema. Aquest abandonament també pot facilitar l'aparició d'espècies invasores i augmentar el risc d'incendis si no es gestionen correctament aquests nous paisatges. Així, es redueix l'hàbitat natural de les espècies autòctones i es perden funcions ecològiques fonamentals, com la regulació del microclima i la protecció dels recursos d'aigua. A més, la contaminació, tant de l'aire com acústica o lumínica, juntament amb el trànsit humà, debilita la vegetació i fauna i les fa més vulnerables.

El canvi climàtic també està modificant molt la situació. Les sequeres més llargues, les onades de calor i els canvis en el règim de les pluges afecten directament el creixement de les plantes. Això fa que algunes espècies natives no puguin adaptar-se i perdin terreny davant espècies invasores que suporten millor aquestes condicions extremes, cosa que acaba desequilibrant tot l'ecosistema.

També cal tenir en compte la pressió que genera l'activitat humana. Els espais verds periurbans són molt utilitzats per activitats com el senderisme, el ciclisme o simplement per passejar. Tot i que això és positiu per a la salut, també pot perjudicar el medi ambient. El sòl es compacta, les plantes es trenquen i fins i tot poden aparèixer malalties que afecten la vegetació. Per això, si no es gestiona bé aquesta pressió, l'oci pot acabar dificultant la regeneració natural d'aquests espais.

2.3 Índexs de vegetació i teledetecció

La teledetecció s'ha convertit en una eina clau per estudiar la vegetació a diferents escales, ja que mitjançant sensors satel·litaris puc obtenir imatges multispectrals que em donen dades molt precises sobre l'estat i l'evolució de la coberta vegetal. Llavors, per poder interpretar tota aquesta informació, faig servir dos indicadors matemàtics que es coneixen com a índexs de vegetació, els quals són el NDVI i el LAI.

Aquests índexs són una eina molt útil per analitzar els espais verds perquè em permeten tenir una visió objectiva i quantificada de com està la vegetació. La gràcia és que transformen dades complexes en valors numèrics que es poden interpretar fàcilment. A més, no només serveixen per saber la salut i la densitat de la vegetació en un moment concret, sinó que també m'ajuden a detectar canvis

importants com ara sequeres o incendis, i a seguir tendències a llarg termini. També són imprescindibles per valorar com afecten factors ambientals, com el canvi climàtic o l'impacte de les activitats humanes.

2.3.1 NDVI (Índex de Vegetació de Diferència Normalitzada)

El NDVI [18] és l'índex més utilitzat per avaluar la salut i densitat de la vegetació. Serveix per detectar canvis en la coberta vegetal, monitorar l'estress hídric i analitzar la productivitat dels ecosistemes. Es calcula amb la fórmula: $NDVI = (qNIR - qRed) / (qNIR + qRed)$, on $qNIR$ representa la reflectància en l'infraroig proper (700-1100 nm) i $qRed$ la reflectància en l'espectre vermell (600-700 nm). Aquesta fórmula aprofita que les fulles sanes absorbeixen fortament la llum vermella i reflecteixen molt l'infraroig proper. Els valors típics d'aquest índex són:

- Aigua: -0.1 a 0.1
- Sòl nu: 0.1 a 0.2
- Vegetació escassa: 0.2 a 0.5
- Vegetació densa: 0.5 a 0.8
- Vegetació tropical: 0.8 a 1

2.3.2 LAI (Índex d'Àrea Foliar)

El LAI [23] és un índex que mesura com està estructurada la vegetació, i resulta molt útil per analitzar processos com la fotosíntesi, l'evapotranspiració o la capacitat de retenir l'aigua de la pluja. També serveix per fer estimacions de la productivitat primària. Es calcula amb la fórmula: $LAI = \text{Àrea foliar (m}^2\text{)} / \text{Àrea del sòl (m}^2\text{)}$, on Àrea foliar (m²) representa l'àrea total de les fulles per unitat de sòl i Àrea del sòl (m²), l'àrea de sòl considerada. Els valors típics d'aquest índex són:

- Conreus: 1-4
- Boscos temperats: 3-6
- Boscos tropicals: 6-10
- Desert: <1

En ecosistemes com el bosc mediterrani de Collserola, el LAI estimat per satèl·lit normalment es troba entre 1 i 3, segons dades del programa Copernicus Land Monitoring Service [11].

3 DESENVOLUPAMENT PRÀCTIC

En aquest apartat explico el procés que he seguit per analitzar la dinàmica de la vegetació al Parc Natural de Collserola mitjançant imatges del satèl·lit MODIS Terra i l'ús del programari MiraMon. El meu treball s'ha centrat en l'obtenció de dades, el seu processament i l'extracció de resultats a partir de l'anàlisi d'aquestes.

3.1 Obtenció i selecció de les dades satèl·lit

Per tal de dur a terme l'anàlisi de la dinàmica de la vegetació al Parc Natural de Collserola, vaig iniciar el procés descarregant dades de teledetecció procedents del portal EarthData de la NASA, centrant-me concretament en el producte MOD13Q1 [20] i en el MOD15A2H [21] de

la missió MODIS.

Aquest producte ofereix informació sobre diversos índexs de vegetació ja calculats, entre ells el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), que és l'indicador de vegetació principal que he utilitzat en aquest estudi per avaluar la salut i densitat de la coberta vegetal i també, la utilització del LAI (Índex d'Àrea Foliar), el qual quantifica l'estructura física de la vegetació.

Pel que fa als anys i mesos que he estudiat en aquest treball, he seleccionat imatges corresponents als anys 2004, 2009, 2014, 2019 i 2024, escollint març, juny i setembre com els mesos clau del meu estudi. La selecció d'aquests tres mesos representa tres moments clau del cicle anual de la vegetació, ja que el mes de març correspon a la primavera incipient, quan comença la recuperació de la cobertura vegetal després de l'hivern, el juny reflecteix el màxim vigor de la vegetació en ple creixement abans de l'estrès hídric estival i el setembre permet observar l'estat de la vegetació després de l'estiu, sovint marcat per la sequera i les altes temperatures. Pel que fa als anys seleccionats, he escollit intervals regulars de cinc anys, cobrint un període de vint anys, la qual cosa facilita detectar tendències a llarg termini, identificar anomalies puntuals i avaluar l'impacte de fenòmens com el canvi climàtic o les pressions urbanes.

3.2 Preprocessament de les imatges

Les imatges descarregades estaven en format .HDF, que és un format de dades multidimensionals típic dels productes de teledetecció satel·lital, però que no pot ser visualitzat o manipulat directament en alguns dels Sistemes d'Informació Geogràfica convencionals. Per tal de convertir aquests arxius en un format compatible amb el programari SIG que vaig utilitzar, vaig optar per MiraMon. Fent servir les funcionalitats d'importació de MiraMon, vaig transformar tots els arxius .HDF en arxius .IMG, que conserven les capes ràster i permeten una manipulació i anàlisi espacial molt més àgil. Una vegada ja tinc els arxius en el format correcte, només quedava canviar el sistema de referència al Sinusoïdal global usat pels productes MODIS (model esfèric).

3.3 Delimitació de la zona d'estudi

Amb les imatges ja preparades i en format IMG, el següent pas va ser localitzar exactament l'àmbit territorial del Parc Natural de Collserola, per tal de limitar l'anàlisi només a aquesta zona específica. Per fer-ho, vaig accedir a la biblioteca dels mapes preferits que ofereix MiraMon i vaig descarregar el mapa oficial dels Parcs Naturals de Catalunya, el qual inclou les delimitacions oficials de tots els espais naturals protegits del territori català. Al seu torn, vaig canviar el sistema de referència d'aquest, per tal de tenir la mateixa referenciació a les dues capes.

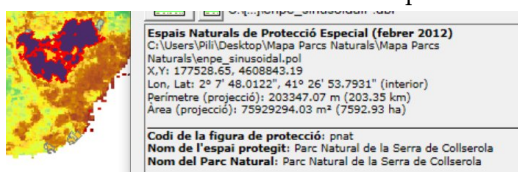


Figura 3: Ubicació de Collserola gràcies a la capa dels Parcs Naturals

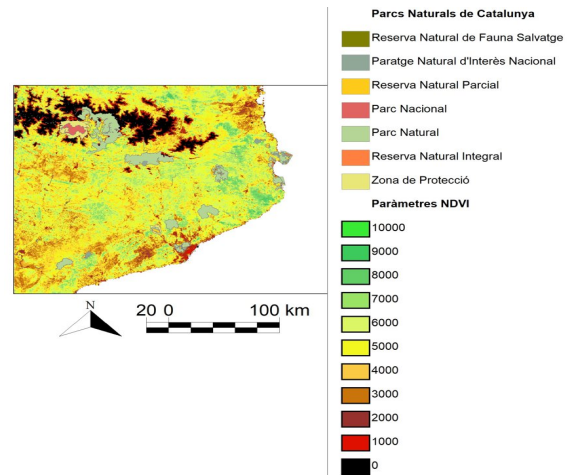


Figura 4: Mapa dels Parcs Naturals de Catalunya sobre una imatge descarregada de MODIS de març de 2004

Un cop carregat aquest mapa en el meu projecte de MiraMon, vaig identificar la zona corresponent a Collserola i vaig digitalitzar-ne els límits. Aquesta digitalització es va fer manualment, utilitzant l'eina d'edició vectorial del programa, i va permetre generar una nova capa vectorial que contenia exclusivament el contorn del Parc Natural de Collserola.

A continuació, vaig aplicar un retall sobre cadascuna de les imatges, usant la capa digitalitzada de Collserola. Aquest retall va permetre conservar únicament l'àmbit de Collserola, eliminant la informació sobrera del voltant i facilitant així una anàlisi més precisa i centrada. D'aquesta manera, vaig obtenir les trenta imatges (15 per al NDVI i 15 per al LAI) retallades específicament per a Collserola.

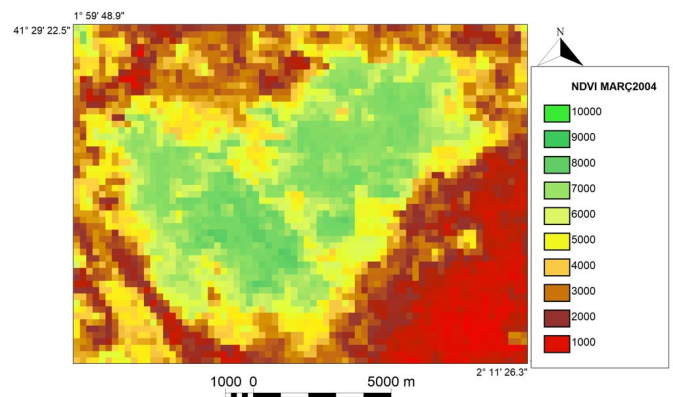


Figura 5: Retall sobre l'imatge de març del 2004 (NDVI)

3.4 Càlcul d'estadístiques

Finalment, un cop vaig tenir totes les imatges retallades i classificades, em vaig posar a fer una anàlisi quantitativa de les dades amb l'eina d'estadístiques de MiraMon. Aquesta eina és capaç de calcular diversos paràmetres estadístics per a cada imatge, com ara el valor mínim i màxim dels índexs de vegetació dins de l'àrea estudiada, així com la mitjana i la desviació estàndard, entre d'altres. Totes aquestes dades estadístiques em van oferir informació clau per entendre com ha canviat la vegetació a Collserola durant els últims vint anys.

```

lai_real_032004: Bloc de notes
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
[VERSIO]
Vers=10
SubVers=0

[RASTER_1]
Fitxer=lai_real_032004.img
N_VALORS=393
MIN=0.300000011920929
MAX=4
MITJANA=2.11603052880018
DESV_STD=0.737351370038026
MEDIANA=2.20000004768372
MODA=1.89999997615814
DESV_MEDIANA=0.589821889351949
PRIMER_QUARTIL=1.60000002384186
TERCER_QUARTIL=2.59999990463257

```

Figura 6: Estadístiques de la capa de l'any 2004 del mes de març amb l'Índex d'Àrea Foliar

4 RESULTATS I DISCUSSIÓ

4.1 NDVI

En aquest apartat, explico els resultats que he obtingut a partir de l'anàlisi de l'índex de vegetació de diferència normalitzada (NDVI) al Parc Natural de Collserola, centrat en els anys 2004, 2009, 2014, 2019 i 2024. He treballat amb dades dels mesos de març, juny i setembre de cada any, i a través de les principals estadístiques descriptives, presento l'evolució estacional i interanual del vigor vegetal. L'objectiu és identificar possibles variacions que puguin estar relacionades amb les condicions ambientals.

4.1.1 Any 2004

Al llarg de l'any, es pot veure clarament com els valors mitjans de NDVI van canviant. Per exemple, al mes de març el valor mitjà és de 0.4305 i la mediana és de 0.4153, però el que més destaca és la desviació estàndard, que arriba fins a 0.2125. Això ens indica que hi ha molta variabilitat en l'estat de la vegetació just a l'inici de la primavera.

A mesura que avança l'estació, concretament al juny, aquests valors pugen i el NDVI mitjà arriba a 0.4684, que és el punt més alt de l'any pel que fa a l'activitat fotosintètica. Aquest augment es pot explicar pel fet que la vegetació està en el seu màxim esplendor, amb tot el fullatge desenvolupat i unes condicions climàtiques encara favorables, abans que comenci la sequera típica de l'estiu.

Quan arribem al setembre, els valors tornen a baixar de forma clara. La mitjana es queda en 0.4023 i la mediana en 0.3835. Aquesta caiguda reflecteix els efectes de l'estrès hídric que pateixen els ecosistemes mediterranis durant els mesos més calorosos, així com una possible pèrdua de massa foliar.

Pel que fa a la variabilitat dels valors NDVI, tant la desviació estàndard com l'IQR es van reduint a mesura que avança l'any. A març teníem una desviació de 0.3939, però al setembre ja només és de 0.3149. Això ens mostra que, amb el pas dels mesos i sobretot a finals d'estiu, el vigor vegetal es torna més homogeni, possiblement perquè la major part de la vegetació perd verdor de manera

generalitzada. També cal dir que el coeficient de variació baixa una mica, cosa que reforça aquesta idea d'una dinàmica més estable i uniforme durant els períodes secs.

Tot aquest comportament encaixa força bé amb la fenologia típica de la vegetació mediterrània. A la primavera, la vegetació revifa aprofitant la pujada de temperatures i l'aigua acumulada durant l'hivern. Al juny és quan assoleix el màxim vigor, amb la coberta foliar al complet i una activitat fotosintètica molt intensa. En canvi, quan arriba el setembre, després d'un estiu llarg, càlid i amb poca aigua, la vegetació comença a mostrar símptomes clars d'estrès hídric, cosa que es tradueix en una reducció de la verdor i, per tant, en una baixada dels valors de NDVI.

4.1.2 Any 2009

Els resultats indiquen que a març el NDVI mitjà és de 0.4199, amb una mediana de 0.3872 i una desviació estàndard de 0.2084. Aquests valors revelen una vegetació moderadament activa a l'inici de la primavera, quan les espècies comencen a rebrotar aprofitant l'aigua acumulada a l'hivern.

Al juny, el NDVI mitjà puja a 0.4507, amb una mediana de 0.4292, mostrant un augment del vigor vegetal durant la primavera avançada i l'inici de l'estiu, coincidint amb el màxim desenvolupament foliar de les espècies de Collserola. Aquesta tendència és típica en medis mediterranis, on la primavera marca el pic d'activitat fotosintètica abans de la sequera.

Al setembre, després de l'estiu, el NDVI mitjà baixa lleugerament a 0.4321, amb una mediana de 0.4087. Aquesta disminució reflecteix una pèrdua parcial de verdor per l'estrès hídric estival, però no és tan pronunciada com en altres anys. Els valors encara relativament alts podrien deure's a una sequera menys intensa o a la resistència de certes espècies mediterrànies.

La desviació estàndard i l'IQR disminueixen progressivament, passant de 0.2084 a març a 0.1874 a setembre, i de 0.3819 a 0.3480, respectivament. Això indica una reducció de la variabilitat del NDVI al llarg de l'any, amb una vegetació que es torna més homogènia en els períodes secs.

Aquest patró s'ajusta a la fenologia mediterrània, on la primavera afavoreix el creixement i l'estiu redueix l'activitat vegetativa per la sequera. Els valors estables a setembre suggereixen una menor afectació per la sequera el 2009, possiblement per condicions meteorològiques més suaus.

4.1.3 Any 2014

Quan vaig analitzar els valors de NDVI de març del 2014, vaig observar que l'activitat vegetal ja era força destacada des de l'inici de la primavera. La mitjana se situava al voltant dels 0.45 i la mediana també era força similar. Aquestes dades, juntament amb una desviació estàndard alta i uns quartils força separats, em van fer pensar que hi havia una gran diversitat de cobertes vegetals al parc en aquell moment.

Amb l'arribada del juny, es va notar un petit increment

en el valor mitjà de l'NDVI. Això coincidia amb el que s'esperava per aquesta època de l'any, ja que és quan la vegetació sol arribar al punt més alt de l'activitat fotosintètica. A més, la reducció de la desviació estàndard va indicar que els valors estaven més homogenis, cosa que em va semblar interessant perquè reflectia una certa estabilitat dins del conjunt.

Quan vaig revisar les dades del setembre, em va cridar l'atenció que els valors es mantien molt semblants als del juny. Tant la mitjana com la mediana eren pràcticament idèntiques i la variabilitat general era més baixa. Aquest comportament no és el més habitual, ja que després de l'estiu normalment es detecta una caiguda per l'estrès hídric o la calor. Tot plegat em va portar a pensar que la vegetació havia mostrat una certa resiliència davant les condicions més dures.

En resum, el 2014 em va semblar un any amb una dinàmica vegetal força estable, sobretot si el comparo amb altres anys. Els valors de NDVI es van mantenir a bon nivell durant gairebé tot l'any, i això em fa pensar que probablement hi van influir unes condicions climàtiques més favorables o bé una capacitat d'adaptació més gran de la vegetació a l'estiu.

4.1.4 Any 2019

El març del 2019 he vist que la vegetació presenta un vigor notable, amb valors mitjans força alts. Tot i això, hi havia molta variació entre zones, cosa que indica que la recuperació després de l'hivern no va ser igual a tot arreu. Aquesta diferència potser es deu a factors com la humitat del sòl o l'exposició solar.

Al juny es va arribar al màxim del cicle anual, amb un NDVI més alt i una resposta vegetal molt uniforme. Això segurament va ser gràcies a unes condicions de primavera molt favorables, amb un bon equilibri entre temperatura i pluja.

Al setembre, tot i que els valors van baixar una mica, la vegetació es va mantenir activa i resistent. La poca variació entre les dades fa pensar en una bona adaptació a l'estiu, ja sigui perquè aquest no va ser especialment dur o perquè les espècies ja estan molt acostumades al clima mediterrani.

En resum, el 2019 va seguir un patró típic, amb el punt més alt al juny i un descens suau després. Els bons valors de setembre reforcen la idea d'una vegetació ben adaptada i resistent.

4.1.5 Any 2024

Aquest 2024, he observat que el Parc de Collserola ha tingut un comportament força peculiar pel que fa al vigor de la vegetació, que va anar augmentant fins a la tardor. A principis de març, l'NDVI mitjà era de 0.4108 mentre que la mediana era 0.3996, amb una desviació força alta i una variabilitat notable. Això em va fer pensar que l'activitat vegetal estava moderada, però força desigual, tot i que es notava un bon rebrot després d'un hivern que no va tenir una sequera molt marcada.

Quan va arribar juny, la mitjana de l'NDVI va pujar fins a 0.4644 i la mediana gairebé igualava aquest valor. En aquell moment, la desviació i la variabilitat van baixar,

cosa que indica que la vegetació estava més uniforme. Segurament això va ser gràcies a les condicions ideals que hi havia a finals de primavera, que van ajudar que la resposta de les plantes fos més homogènia.

Una cosa que em va cridar molt l'atenció va ser que a setembre, els valors van continuar pujant, amb una mitjana de 0.4809 i una mediana que va arribar fins a 0.4982. La desviació es va mantenir estable i la variabilitat encara es va reduir una mica més. Això no és gens habitual i em fa pensar que vam tenir un estiu suau i amb pluja suficient, cosa que va mantenir activa la fotosíntesi més temps del que és normal.

Tot plegat em fa veure que el 2024 va ser un any diferent del patró mediterrani típic, ja que les pluges durant l'estiu i les temperatures més moderades van permetre un creixement vegetal molt destacat. Aquest comportament reflecteix unes condicions climàtiques especialment favorables que no acostumen a donar-se en aquesta zona.

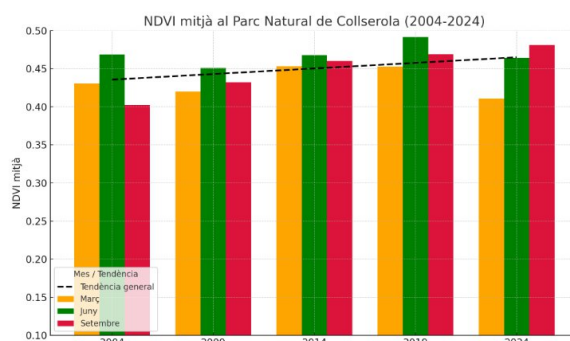


Figura 7: Gràfic sobre els resultats obtinguts amb l'Índex de Vegetació de Diferència Normalitzada

4.2 LAI

En aquest apartat faig una anàlisi dels valors de l'índex d'àrea foliar (LAI) al Parc Natural de Collserola durant els mesos de març, juny i setembre dels anys 2004, 2009, 2014, 2019 i 2024. Amb aquests resultats vull identificar els patrons temporals i espacials de la cobertura vegetal, així com observar possibles tendències o canvis al llarg dels vint anys estudiats.

4.2.1 Any 2004

Quan vaig mirar les dades del mes de març, vaig veure que la mitjana del LAI era de 2.116 i que la desviació estàndard era de 0.737. Això em va fer pensar que hi havia una certa variabilitat entre zones, però tampoc exagerada. La mediana era de 2.2 i la moda d'1.9, o sigui que molts valors es concentraven en una densitat foliar mitjana. El primer quartil era 1.6 i el valor mínim, 0.3, cosa que mostrava que encara hi havia zones amb bastant poca cobertura vegetal.

Després, quan vaig revisar les dades del juny, em vaig adonar que tot seguia molt similar al març. La mitjana i la desviació estàndard es mantien igual, així que la distribució no havia canviat gaire. Tant la mediana com la moda també eren les mateixes. El primer quartil i el valor mínim tampoc variaven, així que vaig arribar a la conclusió que la densitat foliar s'havia mantingut bastant estable durant aquest període.

Al setembre, però, vaig notar canvis. La mitjana baixava fins a 1.756 i la desviació estàndard pujava a 1.015, cosa que indicava més dispersió dels valors. També vaig veure que la mediana i la moda baixaven a 1.4 i 1.2, respectivament, i això em feia pensar que la densitat foliar general havia disminuït. El primer quartil era ara d'1.1 i el valor mínim de només 0.2, senyal clar que hi havia zones on la cobertura vegetal havia empitjorat força.

En resum, al llarg del 2004 hi va haver estabilitat entre març i juny, però al setembre es va notar una baixada clara de la densitat foliar, segurament per qüestions estacionals o perquè hi havia zones més afectades.

4.2.2 Any 2009

Al març la mitjana del LAI estava al voltant d'1.5 i la desviació estàndard era d'uns 0,6, cosa que em fa pensar que la cobertura foliar era força baixa però bastant uniforme entre zones. La mediana i la moda eren una mica més altes que la mitjana i això em fa creure que, tot i que la mitjana era baixa, moltes zones tenien una densitat foliar moderada. També vaig veure que el primer quartil era 1 i el valor mínim 0.2, així que hi havia alguns llocs amb poca vegetació.

Més endavant, al juny, la mitjana va pujar gairebé fins a 2 i la desviació també va créixer una mica. Això indica que la cobertura va millorar, però que hi havia una mica més de variabilitat entre zones. La mediana i la moda es van situar en 2, que em sembla un valor bastant estable i representatiu. A més, el primer quartil va pujar a 1.5 i el mínim a 0.4, cosa que vol dir que hi havia menys zones amb poca cobertura i que en general la vegetació estava més present.

Però al setembre la mitjana va baixar força fins a 0.95 i la desviació també es va reduir, així que la cobertura es va reduir bastant en general, tot i que la variabilitat va ser menor. La mediana i la moda estaven prop d'1, així que moltes zones tenien poca densitat foliar. El primer quartil va baixar a 0.5 i el mínim a 0.1, que és un indicador que durant aquest període hi havia moltes zones amb gairebé cap cobertura.

En resum, l'any 2009 la densitat foliar va ser baixa si ho comparem amb altres anys, però va estar relativament estable durant la primavera i l'estiu, tal com es veu a les medianes i modes que no van variar gaire. Tot i això, al setembre els valors mínims i primers quartils van variar més i això em fa pensar que la distribució de la vegetació era més desigual i que hi havia més heterogeneïtat espacial.

4.2.3 Any 2014

Al març, la mitjana del LAI va ser d'1.4, i la desviació estàndard no era gaire alta, així que la vegetació estava bastant dispersa però sense grans diferències entre zones. La mediana va quedar una mica per sota d'1.5 i la moda va ser 1.6, que són valors baixos, així que la major part del terreny tenia poca densitat de fulles. El primer quartil va ser 1 i el mínim 0.2, això em fa pensar que hi havia zones amb molt poca vegetació, que encaixa amb la baixa cobertura general.

Quan va arribar juny, la mitjana va pujar per sobre de

2, cosa que ja mostra que hi havia més vegetació, encara que la desviació estàndard també va pujar una mica, així que la cobertura era més abundant però també més irregular depenent de la zona. La mediana i la moda es van quedar en 2.2, deixant clar que moltes àrees tenien més fulles que al març. També el primer quartil va pujar a 1.7 i el mínim a 0.4, cosa que vol dir que fins i tot les zones més despoblades van millorar força.

Però a setembre la mitjana va baixar a poc més d'1 i la desviació estàndard va ser semblant a la del març, així que la vegetació va baixar i la variabilitat es va mantenir similar. La mediana va ser 1 i la moda baixà fins a 0.7, el que mostra que hi havia menys zones amb molta cobertura. A més, el primer quartil va baixar a 0.7 i el mínim a 0.3, deixant clar que la vegetació es va fer més escassa, sobretot a la tardor.

En general, el 2014 vaig veure que la cobertura vegetal va ser més densa i abundant a l'estiu, mentre que a la primavera i a la tardor va ser més escassa i dispersa. Aquestes diferències reflecteixen els canvis naturals de les estacions, amb una clara caiguda de vegetació quan arriba la tardor.

4.2.4 Any 2019

Al març, la mitjana del LAI va ser de 1.621, mentre que la desviació estàndard es va situar en 0.590. La mediana i la moda van quedar en 1.6 i 2.2, respectivament, cosa que mostra que la densitat foliar era moderada. A més, el primer quartil va ser d'1.1 i el valor mínim de 0.3, fet que indica que encara que hi havia zones amb poca cobertura, no eren gaire freqüents.

Al juny, la mitjana va pujar fins a 2.165 i la desviació estàndard també va augmentar, arribant a 0.851. En aquest cas, la mediana i la moda van ser una mica més altes, amb valors de 2.2 i 2.5, la qual cosa confirma que la densitat foliar va créixer durant aquest mes. A més, el primer quartil es va situar en 1.6 i el mínim va pujar lleugerament fins a 0.4, indicant que hi havia menys zones amb valors molt baixos.

Ja a setembre, la mitjana va baixar a 1.485 i la desviació estàndard va disminuir també fins a 0.516. La mediana i la moda van baixar una mica, amb valors d'1.4 i 1.7, cosa que reflecteix una reducció de la densitat foliar respecte al juny. El primer quartil va ser d'1.2 i el mínim va tornar a ser 0.3, el que vol dir que la variabilitat de la vegetació va augmentar una mica a les zones menys densament cobertes.

En general, durant el 2019 es va poder veure un patró clar que relaciona la densitat foliar amb les estacions de l'any. Al juny va haver-hi un augment important, probablement per la fenologia natural de la vegetació, mentre que al març i al setembre la densitat era més baixa i amb més variabilitat, especialment en les zones amb menys cobertura. Crec que aquestes fluctuacions també poden estar influïdes pel clima, que afecta la manera com creix i es desenvolupa la vegetació al llarg de l'any.

4.2.5 Any 2024

Al març, la mitjana del LAI va ser d'uns 0.985, i la desviació estàndard era bastant baixa, al voltant de 0.318, això vol

dir que la diferència entre les diferents zones no era gaire gran. El valor mínim va ser de 0.2, i el primer quartil estava en 0.7, així que encara hi havia alguns llocs amb poca vegetació. La mediana i la moda estaven molt a prop d'1, cosa que indica que la majoria de les zones tenien una coberta bastant similar al voltant d'aquest valor.

Després, a juny, la mitjana va pujar fins a 1.632 i la desviació estàndard també va augmentar fins a 0.785, això vol dir que hi havia més variabilitat entre zones, però la coberta generalment era més densa. El valor mínim va ser una mica més alt que al març, 0.4, i el primer quartil també va pujar fins a 1.2, el que mostra que la vegetació estava més uniforme en aquest moment. A més, la mediana i la moda estaven cap a 1.6 i 1.9, la qual cosa confirma que la vegetació era més abundant i diversa.

Finalment, a setembre la mitjana va baixar una mica fins a 1.418 i la desviació estàndard va disminuir a 0.518, això reflecteix que la coberta foliar es va tornar una mica més homogènia. El valor mínim es va mantenir en 0.4, però el primer quartil va baixar lleugerament fins a 1.1. La mediana i la moda es trobaven a prop d'1.4, mostrant que la coberta es manté bastant estable en aquesta etapa.

En resum, aquestes dades mostren que la coberta vegetal té uns valors moderats i que es manté relativament estable al llarg de l'any. Durant l'estiu, especialment a juny, la coberta es fa més densa i variada, mentre que a la tardor la vegetació es manté força homogènia. Tot i que els valors no són molt alts comparats amb anys anteriors o amb el màxim possible, s'observa clarament com la vegetació s'adapta a les diferents estacions, amb zones on la coberta és menor però amb una tendència general cap a una vegetació més espessa a l'estiu.

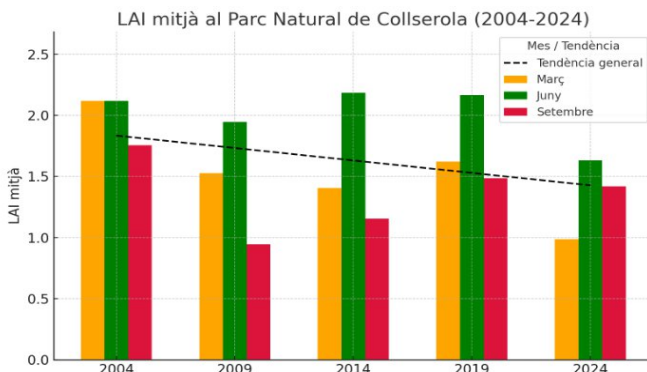


Figura 8: Gràfic sobre els resultats obtinguts amb l'Índex d'Àrea Foliar

5 CONCLUSIÓ

Després d'haver fet aquest treball d'anàlisi sobre la dinàmica de la vegetació al Parc Natural de Collserola amb tècniques de teledetecció, crec que he aconseguit els objectius que m'havia plantejat. Això m'ha permès treure unes conclusions que em fan entendre millor com està ara mateix aquest espai verd tan important dins l'àrea metropolitana de Barcelona i com ha evolucionat amb el temps.

Primer de tot, he comprovat que utilitzar eines com els índexs NDVI i LAI és clau per poder seguir els canvis en

la vegetació d'una manera precisa, ràpida i efectiva. Aquests índexs no només em donen una idea quantitativa sobre la salut i la densitat de la vegetació, sinó que també m'han ajudat a veure com ha canviat el paisatge durant les últimes dues dècades. A més, gràcies a analitzar dades de diferents moments de l'any, com ara març, juny i setembre, he pogut identificar patrons repetitius que tenen a veure amb la fenologia mediterrània i també detectar algunes anomalies que podrien estar relacionades amb el canvi climàtic o amb l'activitat humana.

Pel que fa als valors de l'índex NDVI, he observat que en la majoria dels anys, la vegetació arriba al seu punt màxim de vigor a la primavera, sobretot al juny. Això encaixa amb el cicle natural de les espècies mediterrànies que aprofiten les condicions més favorables abans que arribi l'estiu, que és sec i calorós. En canvi, al setembre, els valors solen baixar, cosa que reflecteix l'estrès per la falta de pluja i les altes temperatures. Tot i això, cada any no segueixen aquest patró, perquè per exemple el 2024 va mostrar un augment inesperat al setembre, que podria indicar que aquell estiu va ser més plujós o que la vegetació s'ha adaptat d'alguna manera als canvis climàtics recents. Aquesta variabilitat any a any és una mostra clara que és important continuar fent aquest tipus d'anàlisis de manera regular.

D'altra banda, l'índex LAI m'ha permès entrar més a fons en l'estructura de la vegetació i veure com està distribuïda per l'espai. Els valors mitjans han estat relativament elevats en determinades èpoques de l'any, i en molts casos la mediana i la moda se situen a la part alta del rang observat, fet que suggereix una densitat de fulles important en diverses zones del parc. Tot i això, he detectat zones amb valors més baixos i una variabilitat espacial que és força significativa, sobretot durant març i setembre. Això em fa pensar que la cobertura vegetal no és igual a tot arreu i que hi ha àrees més vulnerables o menys desenvolupades, probablement perquè estan més afectades per la pressió humana, la fragmentació del territori o perquè algunes espècies tenen menys capacitat de recuperació.

A més, penso que és molt important utilitzar la informació que ens dona la teledetecció per ajudar a prendre decisions sobre la gestió i la conservació d'aquest espai natural protegit. Aquesta informació no només serveix per detectar canvis, sinó que també permet anticipar possibles impactes i planificar mesures de restauració o adaptació davant el canvi climàtic.

En definitiva, aquest treball m'ha permès posar en pràctica els coneixements adquirits durant el grau, especialment en relació amb la teledetecció. A més, ha estat una oportunitat per vincular teoria i pràctica, analitzant un espai que conec. Considero que la metodologia utilitzada ha estat adequada, tot i que en futurs estudis seria interessant complementar les dades satel·litàries amb treball de camp.

Agraïments

Primer de tot, vull donar les gràcies al meu tutor, en Lluís Pesquer, perquè ha estat sempre al meu costat durant tot el procés d'elaboració d'aquest Treball de Fi de Grau. La

seva dedicació, suport i els seus consells han estat clau perquè pogués tirar endavant el projecte amb la seriositat i coherència que calia.

També m'agradaria destacar la gran ajuda del Mario Padal, que ha estat el meu professor de teledetecció i m'ha transmès uns coneixements molt importants sense els quals no hauria pogut fer aquest treball.

A més, estic molt agraïda a tot l'equip docent del grau en Gestió de Ciutats Intel·ligents i Sostenibles, ja que gràcies a la seva excel·lent formació he pogut despertar encara més la meua passió per la investigació i la gestió ambiental.

Finalment, no puc deixar de mencionar l'ajuda dels meus amics i familiars, que amb la seva confiança i paraules d'ànim m'han ajudat a mantenir la motivació i a superar tots els obstacles que han sortit pel camí.

En resum, estic molt agraïda a totes les persones que d'una manera o altra han col·laborat en aquest projecte, ja que sense la seva aportació no hauria estat possible aconseguir els objectius i acabar aquest treball amb èxit.

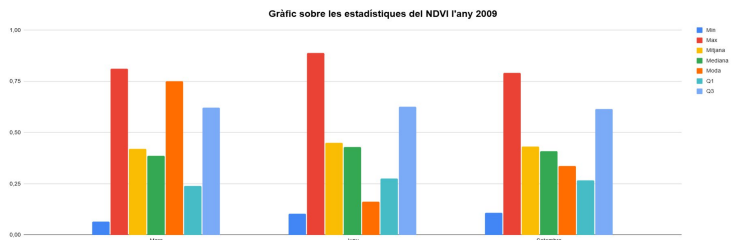
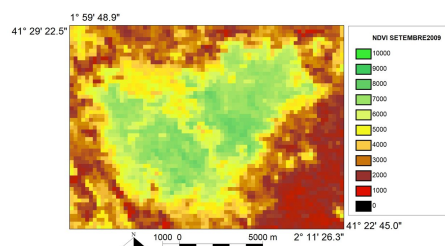
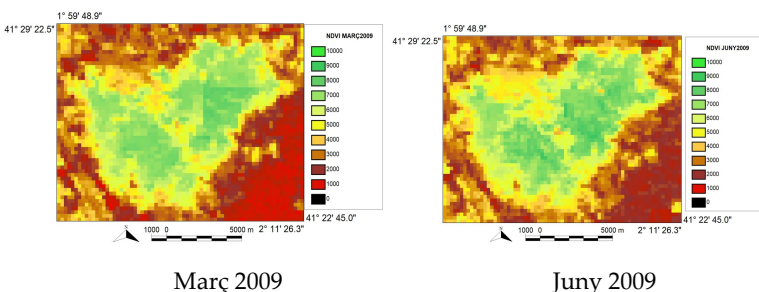
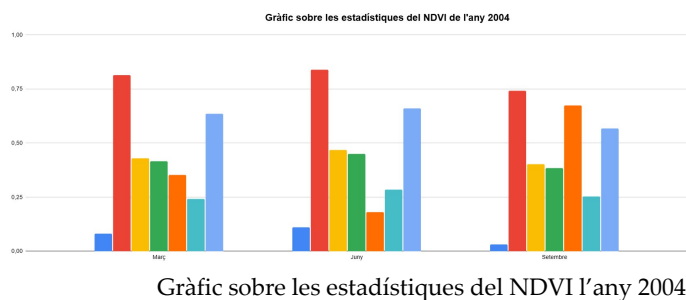
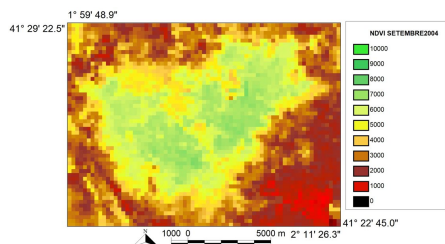
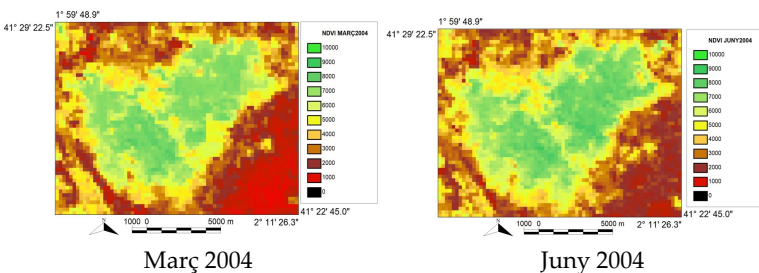
BIBLIOGRAFIA

- [1] Amb.cat. (s/f-g). Observatori de l'hàbitat urbà. <https://www.amb.cat/s/web/observatori-habitat-urba>
- [2] Benvinguts al Parc Natural Collserola – La serra de Collserola. (s/f). [Parcnaturalcollserola.cat](https://www.parcnaturalcollserola.cat/). <https://www.parcnaturalcollserola.cat/>
- [3] Bio.ub.edu. (s/f-a). Memòria de cartografia d'hàbitats Collserola 2012. http://atzavara.bio.ub.edu/geoveg/docs/Memoria_cartografia_habitats_Collserola2012.pdf
- [4] Catpaisatge.net. (s/f). Catàleg de paisatge – Regió Metropolitana de Barcelona. <https://www.catpaisatge.net/ca/catelegs/2-regio-metropolitana-de-barcelona>
- [5] CatPaisatge. (s/f). Fitxa M2 U19 – Collserola. https://content.catpaisatge.net/uploads/B_Fitxa_M2_U19_4efe858738.pdf
- [6] Ciren.cl. (s/f-c). Biblioteca digital. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/af8fd625-0d58-4941-8530-7186a6b3d93e/content>
- [7] Cobertes del sol. (s/f). [Icgc.cat](http://www.icgc.cat/ca/Geoinformacio-i-mapes/Mapes/Cobertes-del-sol). <http://www.icgc.cat/ca/Geoinformacio-i-mapes/Mapes/Cobertes-del-sol>
- [8] Consorci del Parc Natural de la Serra de Collserola - Mapa Barcelona + Sostenible. (s/f). BCN Sostenible. <https://www.bcnostenible.cat/web/punt/centre-dinformacio-del-parc-natural-de-la-serra-de-collserola>
- [9] Copernicus. (s/f). LAI - Leaf Area Index. <https://land.copernicus.eu/global/products/lai>
- [10] Copernicus. (s/f). NDVI - Normalised Difference Vegetation Index, Version 3. <https://land.copernicus.eu/en/products/vegetation/normalised-difference-vegetation-index-v3-0-1km>
- [11] Copernicus Land Monitoring Service. (n.d.). Map viewer [Mapa interactiu]. European Environment Agency. <https://land.copernicus.eu/en/map-viewer?dataset=b20d8414df59420796cd564cd308c98a>
- [12] Earth Observatory. (2000). Measuring vegetation (NDVI & EVI). <https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation>
- [13] Etsy.com. (s/f). Colored topographic map of the natural park. [map-of-the-natural](https://www.etsy.com/listing/1108450125/colored-topographic-map-of-the-natural)
- [14] Europa.eu. (s/f). Urban Atlas. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas>
- [15] Farré, G. (2025, enero 16). Un estudio señala que recuperar 17.000 hectáreas de cultivos y pastos ayudaría a proteger la región de Barcelona contra los incendios. *El País*. <https://elpais.com/espana/catalunya/2025-01-16/un-estudio-senala-que-recuperar-17000-hectareas-de-cultivos-y-pastos-ayudaria-a-proteger-la-region-de-barcelona-contra-los-incendios.html>
- [16] Geoinnova. (2021, noviembre 25). Los 9 principales índices de vegetación más usados en teledetección. <https://geoinnova.org/blog-territorio/analisis-de-indices-de-vegetacion-en-teledeteccion/>
- [17] Gencat.cat. (s/f-f). Biodiversitat. <https://biodiversitat.gencat.cat/>
- [18] Huete, A., Justice, C., & van Leeuwen, W. (1999). MODIS Vegetation Index (MOD 13) Algorithm Theoretical Basis Document (Versión 3). NASA Goddard Space Flight Center. Recuperado de https://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf tahr.hawaii.edu+3
- [19] Icgc.cat. (s/f). Inici ICGC. <https://www.icgc.cat/>
- [20] LP DAAC. (s/f). MOD13Q1 Vegetation Indices. <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod13q1v006/>
- [21] LP DAAC. (s/f). MOD15A2H Leaf Area Index. <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod15a2hv006/>
- [22] MDPI. (2016). Vegetation Condition Index (VCI). Remote Sensing, 8(3), 224. <https://www.mdpi.com/2072-4292/8/3/224>
- [23] Metergroup.com. (s/f). The Researcher's Complete Guide to Leaf Area Index (LAI). <https://metergroup.com/es/education-guides/the-researchers-complete-guide-to-leaf-area-index-lai/>
- [24] Meteo.cat. (s/f-e). Atlas climàtic de Catalunya. <https://www.meteo.cat/wpweb/climatologia/serveis-i-dades-climatiques/atles-climatic/>
- [25] Metropoliabierta. (2023, setembre 20). Este es el año que más llovió en Barcelona. https://metropoliabierta.espanol.com/vivir-en-barcelona/20230920/este-es-el-ano-que-mas-llovio-en-barcelona/795920656_0.html
- [26] MODIS. (s/f). MODIS Web – MOD13. <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod13.php>
- [27] ResearchGate.net. (s/f-b). Acerca de los índices de vegetación. https://www.researchgate.net/profile/Ma-Gilabert/publication/39195330_Acerca_de_los_indices_de_vegetacion/links/00b7d5187635eb5a1a000000/Acerca-de-los-indices-de-vegetacion.pdf
- [28] ScienceDirect. (s/f). Vegetation indices for remote sensing. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666017221000122>
- [29] Search EarthData. (s/f). MOD13Q1 MODIS product search. <https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=MOD13Q1&fi=MODIS>
- [30] Servei Meteorològic de Catalunya. (s. f.). Sèries climàtiques des de 1950. Meteo.cat. <https://www.meteo.cat/wpweb/climatologia/dades-i-productes-climatiques/series-climatiques-des-de-1950/>
- [31] Sig.ac.in. (s/f). Project Details on Vegetation Indices. <https://dms.sig.ac.in/facts/indices.html>
- [32] Unirioja.es. (s/f-d). Artículo en Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=86491>
- [33] USGS. (s/f-h). Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). <https://www.usgs.gov/landsat-missions/normalized-difference-vegetation-index>

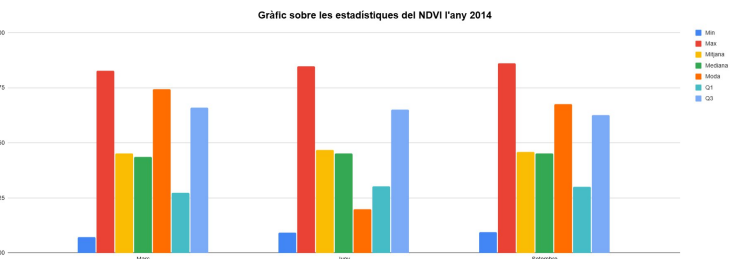
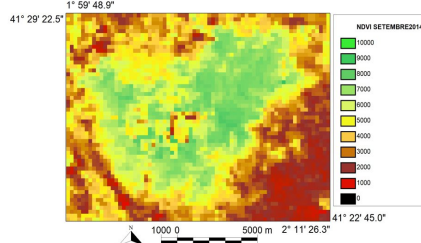
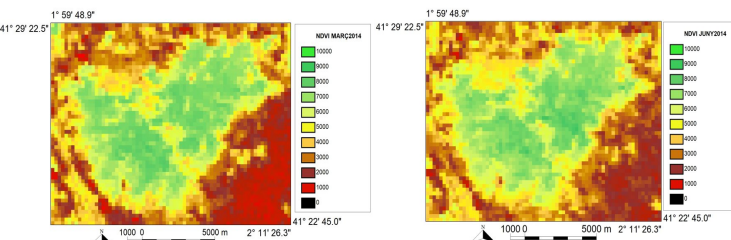
APÈNDIX

A1. ÀNALISI TEMPORAL DEL NDVI AMB IMATGES I GRÀFICS PER ANYS ESTUDIATS

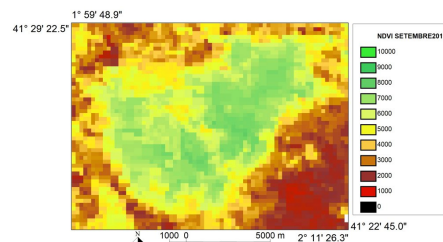
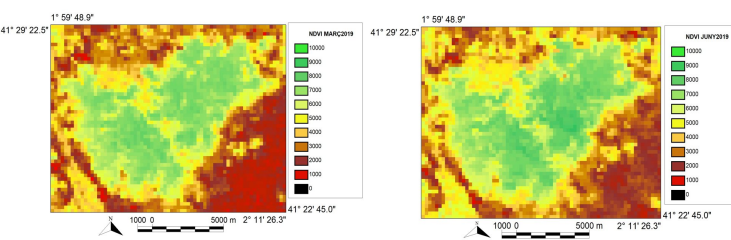
A continuació, es presenten per anys les imatges del NDVI amb el retall realitzat del Parc Natural de Collserola i uns gràfics per poder visualitzar les estadístiques de cada any.



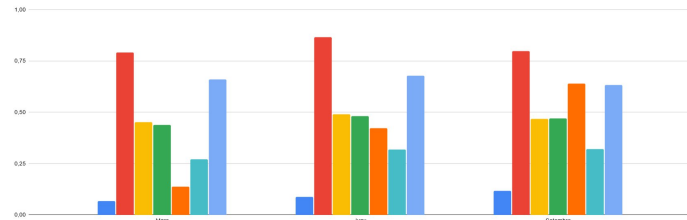
Gràfic sobre les estadístiques del NDVI l'any 2009



Gràfic sobre les estadístiques del NDVI l'any 2014

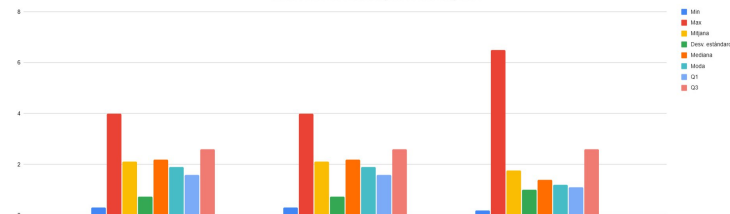


Gràfic sobre les estadístiques del NDVI l'any 2019

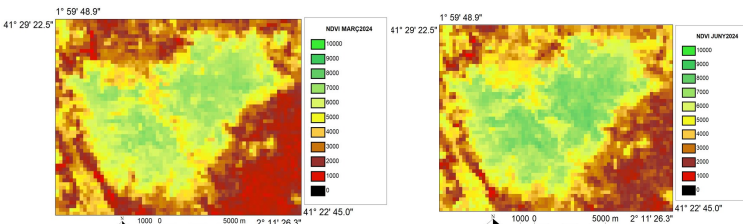


Gràfic sobre les estadístiques del NDVI l'any 2019

Gràfic sobre les estadístiques de LAI l'any 2004

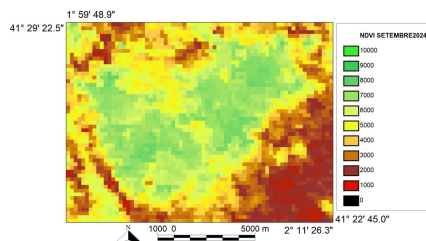


Gràfic sobre les estadístiques del LAI l'any 2004



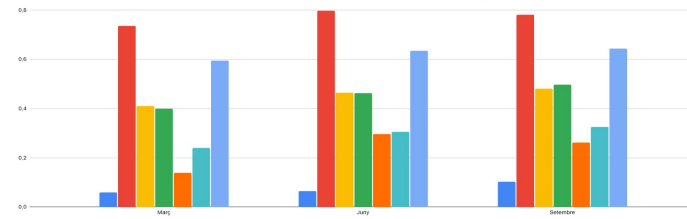
Març 2024

Juny 2024

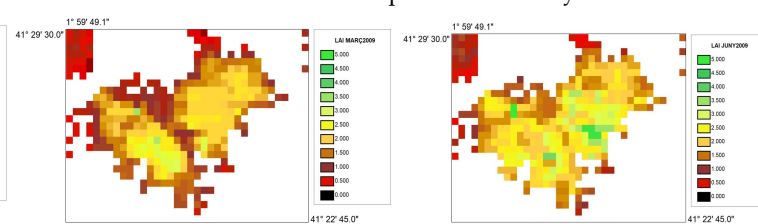


Setembre 2024

Gràfic sobre les estadístiques del NDVI l'any 2024

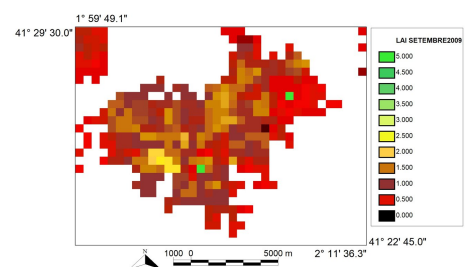


Gràfic sobre les estadístiques del NDVI l'any 2024



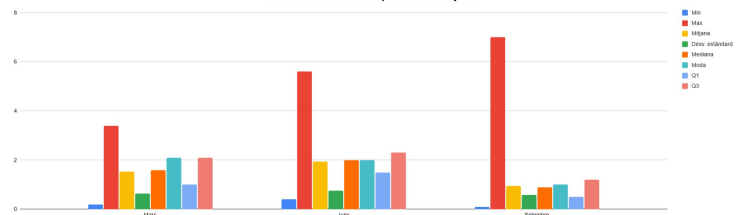
Març 2009

Juny 2009



Setembre 2009

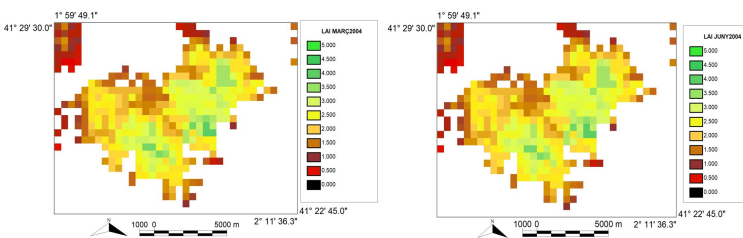
Gràfic sobre les estadístiques del LAI l'any 2009



Gràfic sobre les estadístiques del LAI l'any 2009

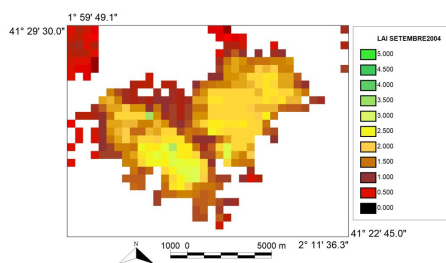
A2. ÀNÀLISI TEMPORAL DEL LAI AMB IMATGES I GRÀFICS PER ANYS ESTUDIATS

Seguidament, es presenten per anys les imatges del LAI amb el retall realitzat del Parc Natural de Collserola i uns gràfics per poder visualitzar les estadístiques de cada any.

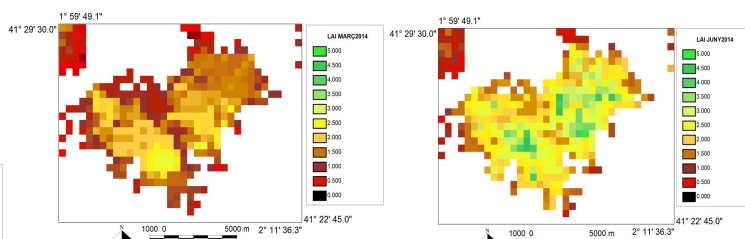


Març 2004

Juny 2004

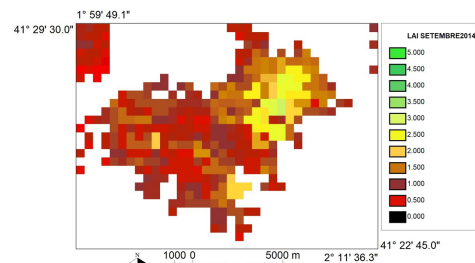


Setembre 2004



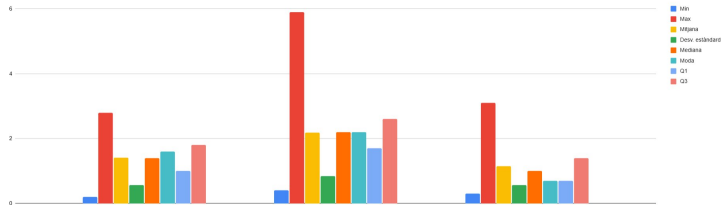
Març 2014

Juny 2014

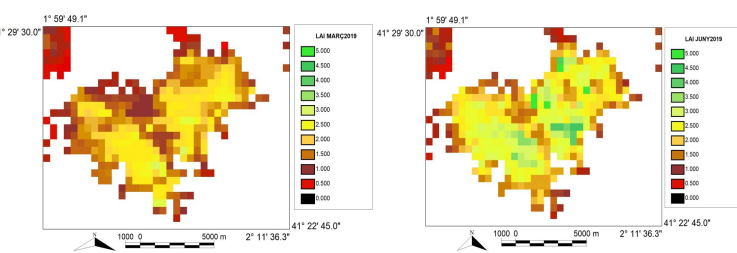


Setembre 2014

Gràfic sobre les estadístiques de LAI l'any 2014

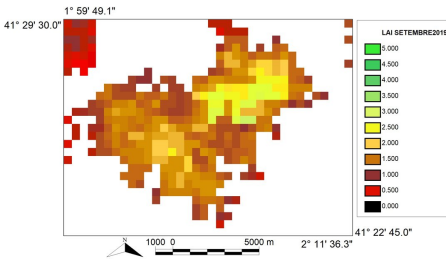


Gràfic sobre les estadístiques del LAI l'any 2014



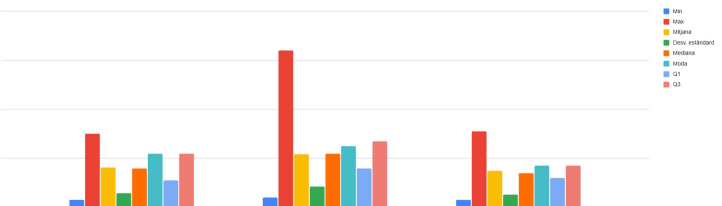
Març 2019

Juny 2019

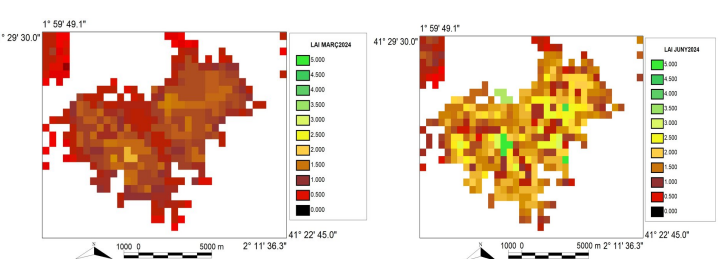


Setembre 2019

Gràfic sobre les estadístiques de LAI l'any 2019

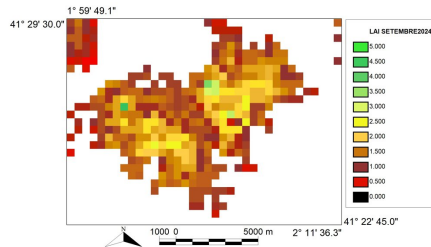


Gràfic sobre les estadístiques del LAI l'any 2019



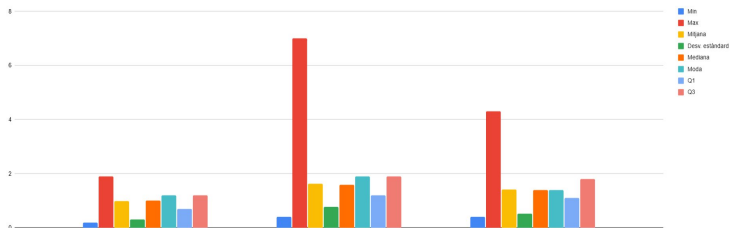
Març 2024

Juny 2024



Setembre 2024

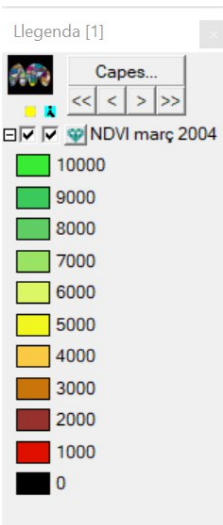
Gràfic sobre les estadístiques de LAI l'any 2024



Gràfic sobre les estadístiques del LAI l'any 2024

A3. LLEGENDA DEL NDVI I DEL LAI

Aquesta imatge mostra la llegenda del NDVI.



Llegenda del NDVI, extreta del mapa de març de 2004

La següent imatge mostra la llegenda del LAI.



Llegenda del LAI, extreta del mapa de setembre de 2004

A4. TAULA RESUM DE LES ESTADÍSTIQUES

Aquesta primera taula resum mostra les estadístiques del NDVI.

TAULA RESUM DE LES ESTADÍSTIQUES EXTRETES SOBRE EL NDVI									
Any	Mes	Min	Max	Mitjana x10	Desv. estàndard	Mediana	Moda	Q1	Q3
2004	Març	0,0806	0,813	0,4305	0,2125	0,4153	0,3532	0,2418	0,6357
2004	Juny	0,1118	0,8389	0,4684	0,2035	0,4489	0,1817	0,2852	0,6592
2004	Setembre	0,0324	0,7411	0,4023	0,1755	0,3835	0,6728	0,2523	0,5672
2009	Març	0,0665	0,8122	0,4199	0,2084	0,3872	0,7514	0,2402	0,6221
2009	Juny	0,1032	0,8882	0,4508	0,1960	0,4292	0,1635	0,2769	0,6257
2009	Setembre	0,1081	0,7905	0,4322	0,1874	0,4087	0,3378	0,2668	0,6148
2014	Març	0,0719	0,8267	0,4531	0,2113	0,4371	0,7441	0,2729	0,6606
2014	Juny	0,0931	0,8489	0,4676	0,1916	0,4519	0,199	0,3019	0,6508
2014	Setembre	0,094	0,862	0,4599	0,1903	0,4515	0,6753	0,3017	0,6266
2019	Març	0,0673	0,792	0,4529	0,2074	0,4396	0,1383	0,2707	0,661
2019	Juny	0,0888	0,8655	0,4913	0,1961	0,4809	0,4219	0,3193	0,6781
2019	Setembre	0,1179	0,7987	0,4687	0,1780	0,4706	0,6409	0,3203	0,6338
2024	Març	0,0591	0,7365	0,4108	0,1878	0,3996	0,1389	0,2409	0,5943
2024	Juny	0,0646	0,7984	0,4644	0,1831	0,4634	0,297	0,3051	0,6353
2024	Setembre	0,1024	0,7812	0,4809	0,1801	0,4982	0,2629	0,3251	0,6435

Aquesta segona taula resum mostra les estadístiques del LAI.

TAULA RESUM DE LES ESTADÍSTIQUES EXTRETES SOBRE EL LAI									
Any	Mes	Min	Max	Mitjana	Desv. estàndard	Mediana	Moda	Q1	Q3
2004	Març	0,3	4	2,116	0,737	2,2	1,9	1,6	2,6
2004	Juny	0,3	4	2,116	0,737	2,2	1,9	1,6	2,6
2004	Setembre	0,2	6,5	1,756	1,015	1,4	1,2	1,1	2,6
2009	Març	0,2	3,4	1,525	0,634	1,6	2,1	1	2,1
2009	Juny	0,4	5,6	1,946	0,757	2	2	1,5	2,3
2009	Setembre	0,1	7	0,946	0,588	0,9	1	0,5	1,2
2014	Març	0,2	2,8	1,406	0,562	1,4	1,6	1	1,8
2014	Juny	0,4	5,9	2,184	0,85	2,2	2,2	1,7	2,6
2014	Setembre	0,3	3,1	1,156	0,564	1	0,7	0,7	1,4
2019	Març	0,3	3	1,621	0,59	1,6	2,2	1,1	2,2
2019	Juny	0,4	6,4	2,165	0,851	2,2	2,5	1,6	2,7
2019	Setembre	0,3	3,1	1,485	0,516	1,4	1,7	1,2	1,7
2024	Març	0,2	1,9	0,985	0,318	1	1,2	0,7	1,2
2024	Juny	0,4	7	1,632	0,785	1,6	1,9	1,2	1,9
2024	Setembre	0,4	4,3	1,418	0,518	1,4	1,4	1,1	1,8