Universitat de les Illes Balears

Facultat de Filosofia i Lletres

Memòria del Treball de Fi de Grau

Anàlisi de l'efecte de la cobertura arbòria en la temperatura del campus de la UIB

Antoni Pastor Pont

Grau de Geografia

Any acadèmic 2019-20

DNI de l'alumne:[redacted]

Treball tutelat per Enrique Morán Tejeda
Departament de Geografia

	Autor		Tutor	
S'autoritza la Universitat a incloure aquest treball en el Repositori Institucional per a la seva consulta en accés obert i difusió en línia, amb finalitats exclusivament acadèmiques i d'investigació	Sí	No	Sí	No
	■	□	■	□

Paraules clau del treball: microsensors, cobertura arbòria, verd urbà, temperatura, protector de radiació solar, campus de la UIB.

Índex:

1. RESUM 1

2. INTRODUCCIÓ 3

3. ÀREA D'ESTUDI 5

4. METODOLOGIA 6

3.1. Aparells, materials i distribució 6

3.2. Anàlisi estadístic i SIG 9

5. RESULTATS I DISCUSSIÓ 11

5.1 Anàlisi de temperatura mitjana, mitjana de màximes i mitjana de mínimes 11

5.2 Resultats de temperatures i cobertures 13

5.2 Regressions 15

5.4 Distribució de temperatures del campus (interpolació Spline) 18

6. CONCLUSIONS 22

7. AGRAÏMENTS 25

8. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES 26

LLISTA DE FIGURES:

Figura 1. Mapa de localització del campus i distribució dels sensors de temperatura....5
Figura 2. Sensors de temperatura utilitzats al treball. A) Microsensor Tempo Plus amb el soport de silicona. B) Sensor HOBO MX2300.....6
Figura 3. Protector de radiació del sensor HOBO..... 7
Figura 4. Protector de radiació Tempo Plus..... 8
Figura 5. Gràfic de caixa i bigotis de temperatures mitjanes 11
Figura 6. Gràfic de caixa i bigotis de la mitjana de temperatures màximes 12
Figura 7. Gràfic de caixa i bigotis de la mitjana de les temperatures mínimes. 13
Figura 8. Mapa d'interpolació de temperatures mitjanes (UIB) 19
Figura 9. Mapa d'interpolació de temperatures mitjanes màximes (UIB) 20
Figura 10. Mapa d'interpolació de temperatures mitjanes mínimes (UIB)..... 21

ÍNDEX DE TAULES:

Taula 1. valors de mitjana, max, mín, CV i cobertures..... 14
Taula 2. Regressions 16

LLISTA D'ACRÒNIMS:

G: gespa
CV: coeficient de variació
UIB: Universitat de les Illes Balears
E: est
NE: nord-est
SE: sud-est
CA: cobertura arbòria
O: oest

1. RESUM:

Aquest estudi tracta sobre l'efecte reductor de les temperatures màximes i mitjanes diàries que causa la cobertura arbòria en un espai urbà com és el Campus de la Universitat de les Illes Balears, a un clima mediterrani. La presa de dades s'ha duit a terme a l'estiu, amb 9 microsensors ibutton amb protectors de radiació fets amb materials comuns, i un sensor HOBO amb el protector de radiació de fàbrica, tots han estat col·locats en arbres amb una major o menor cobertura arbòria al seu voltant. Entorn de cada sensor s'ha cartografiat la cobertura arbòria i els tipus de sòl per diferents àrees d'influència.

Mitjançant regressions lineals s'ha calculat l'efecte de l'arbrat i el tipus de sòl sobre les temperatures màximes, mitjanes i mínimes diàries registrades per cada sensor. Hem observat una influència significativa en la temperatura mitjana, i destacant en la màxima amb un R^2 de 0,41. Els resultats de la temperatura mitjana, i la mitjana de la màxima presenten una diferència de 4 i 2,3 ºC respectivament, del sensor més càlid al més fred, on la diferència de cobertures és signifcativa i dona suport als resultats.

Els mapes realitzats demostren com les temperatures més elevades es distribueixen per l'oest i el sud-oest del campus coincidint amb les zones amb major nombre d'edificis i per l'est el pàrquing. Les zones més fresques són al SE, NE i al centre del campus, són zones més verdes.

Aquest estudi demostra la importància de la cobertura arbòria en zones urbanes per fer disminuir les temperatures mitjanes i màximes, i és interessant per poder actuar i millorar la qualitat de vida de la població que transita el campus, baixant la probabilitat d'estrès psicològic que poden causar les altes temperatures a les persones.

Paraules clau: microsensors, cobertura arbòria, verd urbà, temperatura, protector de radiació solar, campus de la UIB.

SUMMARY:
This study deals with the reducing effect of the maximum and average daily temperatures of tree cover in an urban space such as the Campus of the University of the Balearic Islands, in a Mediterranean climate. The data collection was carried out in the summer. With 9 ibutton microsensors with radiation protectors made of common materials, and a HOBO sensor with the factory radiation protector, all have been placed in trees with a greater or lesser tree cover around it. Tree cover and soil types have been mapped around each sensor by different influence areas.
Linear regressions calculated the effect of trees and soil type on the maximum, average, and minimum daily temperatures recorded by each sensor. We observed a significant influence on the average temperature, and standing out in the maximum with an R^2 of 0.41. The results of the average temperature and the average of the maximum show a difference of 4 and 2.3 ºC respectively, from the warmest sensor to the coldest, where the difference in coverage is significant and supports the results.
The maps show how the highest temperatures are distributed in the west and the southwest of the campus coinciding with the areas with the hogher concentration of buildings and the parking lot in the east. The coolest areas are SE, NE and in the middle of the campus. They are greener areas.
This study demonstrates the importance of tree cover in urban areas to reduce average and maximum temperatures, and is interesting to be able to act and improve the quality of life of the population that transits the campus, lowering the probability of psychological stress that can cause high temperatures in people.

Keywords: microsensors, tree cover, urban green, temperature, solar radiation protector, UIB campus.

2. INTRODUCCIÓ:

El verd urbà és una forma d'introduir la vegetació a les zones urbanes combinant els edificis amb els arbres i diferent tipus de vegetació. La introducció de la naturalesa a les zones urbanes a part d'embellir el paisatge aporta diversos beneficis, aquest millora la qualitat ambiental, reduint les temperatures, disminueix els contaminants atmosfèrics, redueix el consum energètic dels edificis, aportant ombra a l'estiu i fent de talla-vents a l'hivern i també fa disminuir la contaminació acústica. Per altra banda, aporta diversos beneficis per la societat, millorant la qualitat de vida física i mental, i creant un entorn natural amb el qual la població s'identifica. Finalment també aporta un valor afegit econòmic, reduint les factures del consum d'energia dels edificis (De Canales, 2002).

En aquest estudi en concret ens centrarem en un dels beneficis ambientals indicats, el de la reducció de les temperatures i efectes microclimàtics.

La reducció de les temperatures a les zones urbanes amb cobertura arbòria es produeix perquè aquestes generen ombra i impedeix que la radiació d'ona curta arribi al sòl, i que l'entorn no s'escalfi tant com si no tingués aquest impediment. Amb aquesta pertorbació, les temperatures màximes seran més baixes. En canvi a la nit la cobertura arbòria provoca l'efecte contrari, si aquesta té molta densitat, impedirà escapar la radiació d'ona llarga (infraroja) que emet el sòl cap a l'atmosfera, essent així les temperatures nocturnes i les mínimes més suaus del que serien. A mes els arbres emeten radiació d'ona llarga durant la nit, contribuint al mateix efecte. Per tant, l'oscil·lació tèrmica de les zones amb una densa cobertura arbòria serà més baixa que les zones que no en tenen. Cal afegir que la mateixa transpiració dels arbres refrigera les temperatures diürnes del seu entorn (Wang et al., 2015)

Al llarg del dia a les zones urbanes hi transita una gran part de la població, per això s'ha de tenir cura de la qualitat de l'entorn, i la temperatura és un dels factors dels quals s'ha de tenir presents. Quan aquesta és molt elevada, pot generar estrès psicològic a una gran part de la població, per això, el verd urbà atenuant les temperatures màximes diàries ajuda a millorar la qualitat de vida. (De Canales, 2002)

Diversos estudis han analitzat el paper microclimàtic de la vegetació en zones urbanes. Als Països Baixos, Wang et al (2015) varen observar que a l'estiu, les zones amb cobertura arbòria presenten de mitja durant el dia aproximadament 1 ºC menys que les zones sense cobertura arbòria. McPherson et al (1989) i Park et al (2012) demostren com les zones amb major cobertura arbòria refresquen de mitjana la temperatura 0,9 – 2 ºC. Al nostre cas la hipòtesi a demostrar és que aquelles zones del campus de la UIB

amb major cobertura arbòria seran aquelles en les quals les temperatures màximes i les mitjanes són més baixes.

A la Comunitat Autònoma de les Illes Balears només hi tenim un sol centre universitari. Aquest reuneix les facultats al Campus de la Universitat de les Illes Balears als afores de Palma. Al ser un espai on s'hi concentren tots els estudis a nivell autonòmic, i interinsular (Menorca, Eivissa i Formentera) i al comptar amb diverses instal·lacions a part de les universitàries com el Campus Sport i la residència, s'hi concentra un gran nombre de població, estudiants, treballadors i altres persones que volen disfrutar dels events, concentracions o de practicar esport en aquestes instal·lacions. Si sumam que en l'àrea d'estudi hi tenim un clima mediterrani el qual es caracteritza per tenir unes temperatures estivals força elevades, és de vital importància conèixer la distribució de la temperatura d'aquesta zona, per poder millorar la qualitat de tot el personal que transita aquestes instal·lacions públiques.

L'objectiu d'aquest treball experimental és analitzar la distribució de les temperatures del campus durant un període determinat que es concentra principalment al juliol, i demostrar l'efecte que produeix la cobertura arbòria sobre les temperatures del seu entorn. L'ideal d'aquest estudi seria poder analitzar una sèrie de dades temporal anual, però per les limitacions de temps als crèdits d'un Treball de Fi de Grau conjuntament amb les limitacions de moviment impostes per l'estat d'alarma a causa de la pandèmia COVID-19 hem acotat la presa de dades al juliol, tot i això, és el mes on la diferència de temperatures en les zones amb cobertura arbòria pot ser més significativa.

La presa de dades s'ha duit a terme amb microsensors de tipus ibutton, i amb uns protectors de radiació solars fets a mà, el qual demostra que aquests protectors són vàlids per poder a dur a terme estudis científics de temperatures d'una manera econòmica i vàlida en l'àmbit científic. Es posarà a prova els microsensors i el protector de radiació solar (Hubbart, 2011).

Posteriorment s'ha realitzat una anàlisi estadístic i de SIG per demostrar la hipòtesi. En primer lloc s'han creat amb un software SIG tres buffers per cada sensor i s'han cartografiat la cobertura arbòria i el tipus de sòl. Tot seguit es va realitzar l'anàlisi estadístic calculant les mitjanes, màximes, mínimes i el coeficient de variació, els quals posteriorment es va fer una regressió de les variables per poder demostrar la seva relació.

3. ÀREA D'ESTUDI:

L'àrea d'estudi és el Campus de la Universitat de les Illes Balears, situat a la carretera de Valldemossa, km 7,5, dintre del terme municipal de Palma (07112), Mallorca. Aquest es troba en una àrea rural als peus de la Serra de Tramuntana, amb una extensió aproximada de 50 ha. El terreny del campus és relativament pla durant quasi tota la seva extensió, amb una cota màxima de 107 m d'altura, i un mínim de 80 m que pertanyia a una zona humida assecada.

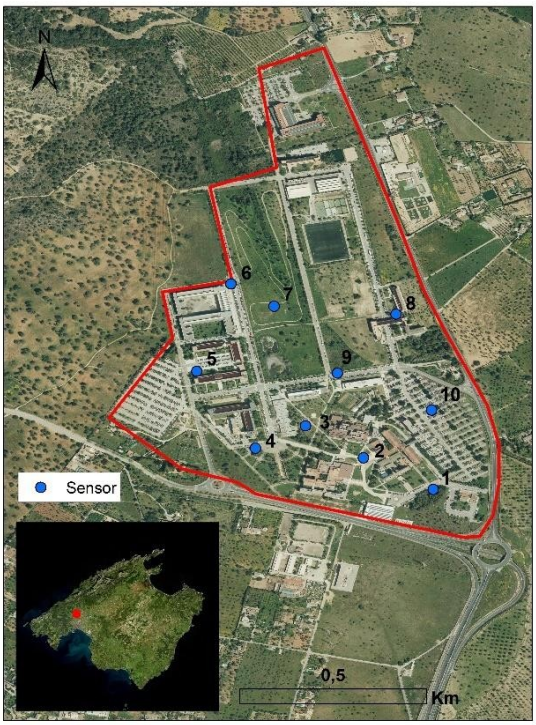

Figura 1. Mapa de localització del campus i distribució dels sensors de temperatura.

Pel que fa a l'estructura urbana, compta amb 11 edificis, dels quals es reparteixen entre diverses facultats de diferents estudis, serveis administratius, biblioteca, Campus Sport i Cas Jai, del límit creat al mapa de localització, la zona edificada compta amb 7 ha. Les zones pavimentades tenen una extensió de 18, 55 ha i finalment les zones verdes 25,88 ha.

Per aquest estudi el clima és important per ser el que determina les temperatures anuals, per la seva localització aquesta àrea presenta un clima mediterrani (Köppen-Geiger). Les precipitacions anuals tenen una mitjana de 453 mm, però la presa de dades s'ha duit a terme la temporada sense precipitació. Els mesos on tenim les precipitacions més abundants és del setembre al novembre

Quant a les temperatures, la mitjana anual és de 16,8 °C. L'agost és quan tenim la temperatura mitjana anual més elevada, amb 24,6 °C que conjuntament amb les baixes

precipitacions, és quan hi tenim major dèficit hídric. Per contra, el mes més fred és el de gener (10,2 °C) ("Clima Palma de Mallorca: Temperatura, Climograma y Temperatura del agua de Palma de Mallorca - Climate-Data.org," n.d.).

4. METODOLOGIA:

4.1. Aparells, materials i distribució:

Els sensors de temperatura que s'han emprat per a la presa de dades han estat 10 en total, 9 són microsensors Blue Maestro Tempo Disc (Figura 2a) que prenen mesures de temperatura, humitat, punt de rosada i de pressió atmosfèrica, dels quals ens quedarem amb les dades de temperatura. Aquests sensors enregistren i emmagatzema les dades en el mateix aparell, les quals s'extreuen posteriorment amb l'aplicació mòbil Tempo Plus 2 a través de Bluetooth, cosa que facilita la descàrrega de dades, amb qualsevol Smartphone es pot dur a terme. La principal qualitat d'aquests sensors és la reduïda dimensió dels aparells, fent 9,5 mm d'ample i 33 mm de llarg .

El sensor HOBO MX2300 (figura 2b) té les mateixes funcions que el dispositiu anterior i el mateix tipus d'ús, canviant l'aplicació de descàrrega (HOBO) i amb unes dimensions de 10,8 x 5,08 x 2,24 cm. Al ser un sensor més professional, s'ha agafat de referència per calibrar els microsensors fent una presa de dades de tots aquests conjuntament amb el HOBO en una zona sense alteracions tèrmiques, una vegada estabilitzades les temperatures hem obert una taula Excel, i durant 3 dies hem anotat les dades en diverses hores aleatòries, hem fet la mitjana i s'ha restat aquesta amb la del HOBO, la diferència és la variació que hem aplicat per calibrar els microsensors.

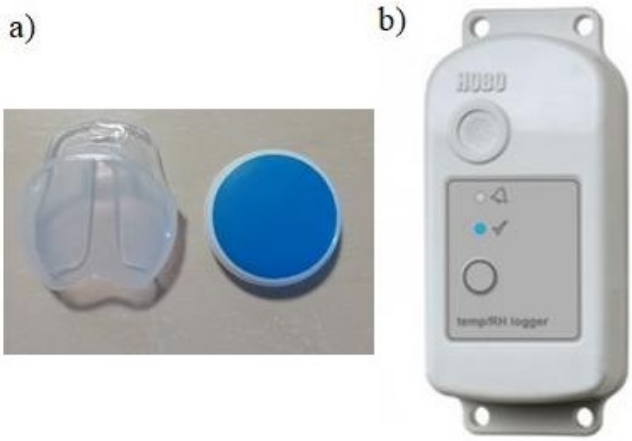

Figura 2. Sensors de temperatura utilitzats al treball. A) Microsensor Tempo Plus amb el soport de silicona. B) Sensor HOBO MX2300

- Construcció del protector de radiació econòmic:

Per a una correcta mesura de les temperatures, és imperatiu l'ús d'un protector de radiació, amb la finalitat de protegir el sensor de la radiació solar i així assegurar que les temperatures són preses a l'ombra, però també protegir-los de les precipitacions i així agafar les dades reals de la temperatura de l'ambient. El protector de radiació solar emprat pel HOBO és el de fàbrica (Figura 3) ("MX2300 Onset Data Loggers," n.d.) i consta d'una estructura formada per 8 plaques de plàstic que deixen un espai al mig per col·locar el suport del sensor, i permet la circulació de l'aire a la vegada que protegeix per complet al sensor de la radiació.

Figura 3. Protector de radiació del sensor HOBO

A diferència del sensor HOBO, els microsensors Blue Maestro no disposaven de protector de radiació, i per reduir costs s'han construït protectors mitjançant l'ús de materials comuns i de baix preu, seguint el mètode de Hubart (2011). Aquests protectors faciliten el desenvolupament d'estudis científics relacionats amb les temperatures a la ciutat i en altres indrets.

En total comptam amb 9 microsensors ibuttons, pels quals hem emprat 18 embuts, 9 de 8 cm (A) de diàmetre que tendran 6 perforacions per tal d'afavorir la circulació d'aire, i 9 de 10 cm (B), tots els embuts són de color blanc perquè el material no s'encalenteixi i reflecteixi la radiació. Per tal de separar l'embut A del B, hem posat enmig un bocí de suro d'un cm de llargària enmig dels dos embuts per tal de tenir-los separats. Els embuts s'uniran amb un fil-ferro, el qual anirà enganxat a l'extrem inferior de l'ibutton, i l'extrem superior anirà a l'arbre.

Els protectors de radiació solar que hem emprat estan aprovats per estudis previs que comproven i comparen la presa de dades microsensors, un amb protector de radiació oficial, l'altre el fet en aquest article i finalment, un sense. Les conclusions d'aquest és

que el protector de radiació solar és important, però no és necessari gastar-se un alt cost en protectors de radiació oficials, per què els creats en aquest article presenten resultats molt similars als homologats en fàbrica, els quals validen poder emprar els protectors de radiació casolans (Hubbart, 2011).

Figura 4. Protector de radiació fet a mà i microsensor Blue Maestro

Figura 4. Microsensor amb protector de radiació instal·lat baix una branca d'un arbre

- Distribució, període i presa de dades:

Els sensors de temperatura es varen instal·lar el 19 de juny del 2020. Aproximadament tots varen començar a enregistrar dades a partir de les 11:30 del matí, fins al 28 de juliol. La idea original era realitzar una presa de dades més extensa, però limitats per l'estat d'alarma per la pandèmia COVID-19, només s'ha pogut en aquestes dates.

Aquests es varen programar perquè cada 10 minuts enregistressin dades de temperatura, el qual fa que durant aquest període sumi un total de 5.612 mostres. Per tal de comprovar el correcte funcionament de la presa de dades, aquestes s'han anat descarregant cada setmana, i s'han passat conjuntament a un full de càlcul.

A la figura 1 es pot observar la distribució dels aparells al llarg de l'àrea d'estudi. Aquests es varen distribuir amb un mostreig estratificat, perquè ocupassin l'extensió més gran possible del campus intentant cobrir zones de pas, les quals tenen variacions pel que fa a la cobertura arbòria i al tipus de sòl. Atès que l'objectiu principal del treball és comprovar l'efecte dels arbres sobre la temperatura ambient, el criteri principal per la instal·lació dels sensors era assegurar-nos que tots tinguessin un grau de cobertura arbòria diferent. S'ha d'indicar que per motius de facilitat, i per homogeneïtzar les condicions d'instal·lació, tots els sensors es van instal·lar davall la branca d'un arbre, el qual és important a l'hora d'interpretar els resultats obtinguts, com es veurà més endavant.

4.2. Anàlisi estadístic i SIG:

- Ompliment de dades:

Una vegada recol·lectades totes les dades i ajuntades en diferents fulls de càlcul pel seu posterior tractament, hem fet una revisió d'aquestes, per comprovar l'existència d'espais buits i en cas d'haver-hi errors dels microsensors, s'han emplenat seguint el mètode de creació de sèries de referència proposta per Easterling i Paterson (1996), de la següent manera:

Primer de tot hem calculat el coeficient de Pearson (R) entre la sèrie de dades del sensor que té dades buides (A), i les sèries de dades dels altres sensors, del qual escollirem la sèrie que presenta un R més elevat (B). A continuació es varen calcular els coeficients que defineixen la recta de regressió entre les sèries: el pendent i l'origen. En aquells registres on existien dades buides es va aplicar l'equació de la regressió amb els coeficients corresponents, obtenint valors que substituiran els espais buits en A.

Els sensors que han necessitat omplir dades, són el 4, el qual ha tengut més dades buides entre el 19/06/2020 fins al 06/07/2020. En segon lloc el sensor 8 del 30/06/2020 al 06/07/2020 i de l'11/07/2020 al 16/07/2020 i finalment el sensor 9 les dates del 03/07/2020 al 06/07/2020.

- Càlcul de cobertura arbòria i sòl (gespa):

Per poder conèixer quina és la cobertura arbòria i el tipus de sòl, hem projectat l'Ortofoto de màxima actualitat de 15 cm/píxel vol GSD18, amb el vol realitzat entre el 18 i el 23 d'abril del 2018. L'ortofoto ha estat extreta del Geoportal d'Infraestructures de Dades Espacials d'Espanya.

A partir de l'ortofoto i un software SIG s'han calculat 3 àrees d'influència (buffer) circulars per cada sensor, de 30 m², de 100 m² i finalment de 500 m². Aquests tres buffers seran útils per observar com a més distància si l'efecte de la cobertura arbòria té més influència o menys.

Per cada àrea d'influència s'han digitalitzat la cobertura arbòria i els tipus de superfície de sòl (paviment, gespa o edifici) i s'ha calculat l'àrea relativa ocupada per cada un. Els resultats posteriorment s'han emprat com a variables independents en models de regressió múltiple per inferir el paper de la cobertura sobre les temperatures.

- Relació cobertura arbòria i sòl amb temperatura:

Una vegada amb totes les dades omplertes, hem calculat per cada sensor la temperatura mitjana diària, la màxima i la mínima, així com el coeficient de variació diari. Per comparar els resultats entre sensors s'han emprat gràfics de caixes i bigotis.

Per tal de poder analitzar la relació entre cobertura arbòria, el tipus de sol i la temperatura es realitzaren regressions lineals múltiples, utilitzant com a variable dependent els diferents índexs de temperatura (mitjana, màxim, mínim i CV), i com variables independents la quantitat de cobertura arbòria i la quantitat de sòl ocupat per gespa dintre de cada una de les àrees d'influència de 30, 100 i 500 m^2 (es descarta l'ús de la quantitat de sòl pavimentat com a variable independent, per què estan inversament correlacionades amb la quantitat de gespa, al ser dues variables complementàries). El mètode d'inclusió de variables independents és el conegut com *step-wise* o pas a pas, segons el qual es van incloent únicament les variables que tenen un paper significatiu (p-valor <0,10) en el model.

Per tal d'obtenir mapes amb els quals puguem observar la distribució de temperatures mitjanes, màximes i mínimes al llarg del campus universitari hem utilitzat el mètode d'interpolació espacial Spline. Aquesta eina utilitza la interpolació dels valors de les estacions, emprant una funció matemàtica la qual minimitza la curvatura general de la superfície, amb variacions suaus de les isolínies, passant exactament pels punts d'estacions ("Cómo funciona Spline—Ayuda | ArcGIS for Desktop," n.d.)

Introduirem els valors de mitjana, màxim i mínim al shapefile de punts on hi ha cada sensor, definirem els contorns i obtindrem un mapa per cada variable.

5. RESULTATS I DISCUSSIÓ:

5.1. Anàlisi de temperatura mitjana, mitjana de màximes i mitjana de mínimes :

Les següents figures són gràfics de caixa i bigotis que ens seran útils per poder resumir gran quantitat d'informació de temperatures en un format visual. A continuació presentarem tres gràfics, el de les temperatures mitjanes, màxims i mínims diàris. Amb aquestes figures podrem analitzar la variabilitat d'aquestes tres variables en cada un dels sensors.

La Figura 6 representa la temperatura mitjana de les dades. Observam com la major part de les mitjanes de cada caixa es situa al mig d'aquest o lleugerament per damunt, aquest resultat ens indica que la distribució de les dades és simètrica, o amb una lleugera distribució asimètrica negativa.

Les temperatures mitjanes més elevades les representa l'ID4 amb aproximadament 28 graus, seguits dels sensors 10 i 5 amb una temperatura mitjana lleugerament inferior als 28 ºC. Els sensors que presenten una mitjana de temperatures més baixa són el 3, el 8 i l'1 amb un valor aproximat de 26 ºC. Quant als valors atípics, només l'ID 8 presenta una mitjana inferior a 22 ºC. S'observa com la longitud de les caixes (rang inter-quartil) és similar, indicant una variabilitat de les temperatures mitjanes durant el període d'estudi similar en tots els sensors. Destaca, no obstant el sensor 8 en el que s'aprecia una menor variació.

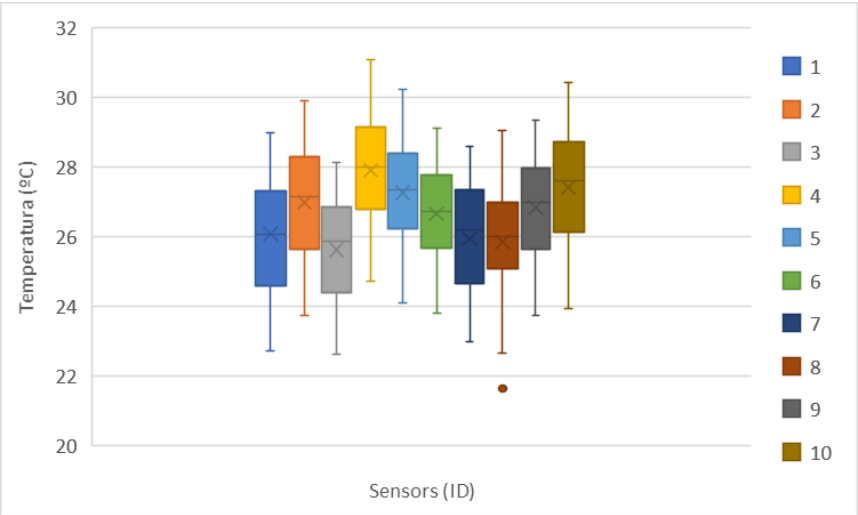

Figura 5. Gràfic de caixa i bigotis de temperatures mitjanes.

La Figura 7 mostra la variabilitat de les temperatures màximes de cada sensor. La mitjana de cada una de les caixes ens indica que aquestes presenten una distribució de dades simètrica, on la majoria dels resultats es situen al mig de la caixa, lleugerament per damunt o per davall.

La temperatura mitjana màxima de l'ID 4 és superior als 36 ºC, seguit del sensor 10 amb un valor lleugerament inferior. Les mitjanes més baixes són les dels sensors 1 i 3, amb 32 ºC, essent lleugerament inferior l'ID 1.

Els que tenen límits inferiors típics més baixos són els sensors 1 i 3 amb aproximadament 27 ºC. Els límits superiors típics més elevats pertanyen al sensor 4, amb una temperatura superior als 4 ºC.

Pel que fa als sensors 4 i 10, a part de que són els que presenten una mitjana més elevada, s'observen valors atípics lleus, situats entorn als 43 ºC, essent lleugerament superior l'ID 4.

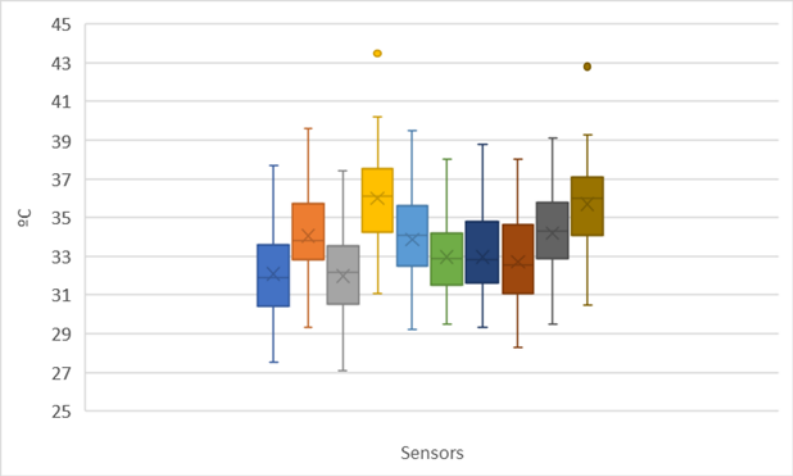

Figura 6. Gràfic de caixa i bigotis de la mitjana de temperatures màximes.

Amb el darrer gràfic de caixa i bigotis (Figura 8) presentem la variabilitat les mínimes. La mitjana de les caixes, com amb els altres gràfics presenta una distribució de dades simètrica amb lleugeres oscil·lacions per damunt i per davall d'aquesta, destacant el sensor 7 amb la mitjana més baixa i amb una distribució asimètrica positiva.

Les temperatures de les mitjanes van des dels 18 ºC de mínima (ID 7), i la màxima l'ID 2 amb 20,5 ºC, seguit dels sensors 4 i 10.

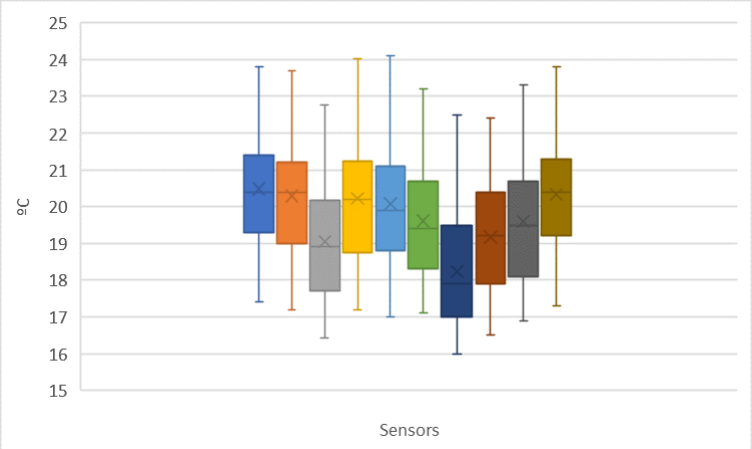

Figura 7. Gràfic de caixa i bigotis de la mitjana de les temperatures mínimes.

Si comparam els resultats de les tres figures de gràfics de caixa i bigotis, podem visualitzar com l'ID 4 és el sensor amb la temperatura mitjana (28 ºC) i la temperatura mitjana màxima (36 ºC) més elevada. Per contra, el sensor 7 és el que presenta la temperatura mitjana més baixa (18 ºC).

La figura 6 i 7 presenten una distribució dels resultats de cada sensor una distribució força semblant. Els sensors 1 i 3, són els que presenten valors de mitjana més baixos i els que la màxima també és la més baixa.

La diferència del màxim de la mitjana amb el seu mínim és de 2ºC (id 4 – id3), el dels valors mitjans màxims és de 4 ºC (id3 – id1) i de la mitjana de mínimes de 2 º C (id 1 – id7).

5.2. Resultats de temperatures i cobertures:

A la següent taula tenim els valors de la mitjana de temperatures de cada sensor, la mitja de la màxima, de la mínima, el CV, la superfície que ocupa la cobertura arbòria (ca) i la gespa (g) en cada un dels 3 buffers (30, 100 i 500 m^2).

Sensor	mitjana	max	min	CV	ca_30	ca_100	ca_500	g_30	g_100	g_500
1	26,085	32,077	20,485	0,157	30,19	94,69	382,674	30,19	93,994	352,48
2	26,994	34,051	20,295	0,181	1,595	1,595	1,595	4,244	22,711	88,384
3	25,627	31,981	19,043	0,184	13,4	69,52	236,94	30,19	98,52	498,76
4	27,910	35,990	20,224	0,197	6,341	19,373	95,896	30,19	79	284,62
5	27,275	33,862	20,074	0,183	13,96	15,481	15,481	20,35	43,94	173,14
6	26,659	32,954	19,613	0,177	1,924	5,580	7,334	9,168	15,171	30,069
7	25,944	32,954	18,236	0,203	17,772	17,772	17,772	30,19	98,52	461,29
8	25,867	32,715	19,169	0,185	25,85	50,59	65,628	30,19	98,52	306
9	26,842	34,203	19,597	0,19	6,729	6,729	33,486	16,49	35,02	222,48
10	27,423	35,705	20,331	0,196	5,389	9,754	31,694	0	0	21,84

Taula 1. valors de mitjana, max, mín, CV i cobertures.

Analitzant els resultats de CA dels buffer amb major superfície d'ombra què són els més representatius, tenim com a resultat que l'ID 1 és el que té major CA (94,69 m^2), seguit de l'ID 3 (69,52 m^2) i el 8 (50,59 m^2). Els valors de g_100 són similars als de ca_100, els ID amb major cobertura de gespa són el 3, 7 i el 8 amb 98,52 m^2 i l'1 (93,99 m^2).

Els ID 1, 3, i 8 són els que presenten major superfície de ca_100 i g_100, aquests són els que de mitjana i de màxima presenten temperatures més baixes. De mitjana tenim valors de 26,08 ºC, 25,62 ºC i 25,86 respectivament, i de màxima 32,07 ºC, 31,98 ºC i 32,71 ºC. L'efecte de la CA es nota sobretot en els valors mitjans màxims.

La diferència de temperatures mitjanes entre el valor més elevat i el més baix és de 2,3 ºC (ID4 – ID3). La mitjana de màximes si restam el valor màxim i el mínim presenten una diferència de 4 ºC (ID4 – ID3), els resultats donen suport a la hipòtesi a què els indrets amb major CA són els que tenen resultats de temperatura més baixa.

Les mitjanes mínimes són força semblants i no segueixen el patró de temperatura mitjana i màxima. Del valor més alt al valor més baix només varia 1,44 ºC. L'ID1 presenta la mitjana mínima més elevada, aquest fet pot ser produït per l'emissió nocturna de radiació dels arbres. Els resultats de les altres mínimes són força semblants i no presenten molta variació.

Els valors de CV dels diferents ID és baix, aquests valors oscil·len entre 0,157 i 0,203. Aquests valors indiquen una dispersió i variació baixa dels resultats de les mostres. El

valor més alt del coeficient pertany a l'ID 7 que compta amb poca CA en el conjunt dels seus tres buffers.

Els resultats d'aquesta taula coincideixen amb els gràfics anteriors, amb resultats de poca variació i dispersió de temperatures, i les diferències de temperatura de cada una de les variables.

Hi ha sensors que tenen major cobertura arbòria que d'altres però tot i això les temperatures són més altes, com és el cas de l'ID 4, que compta amb una ca_100 de 19,73 m^2 i una temperatura mitjana i màxima de 27,9 i 35,9 ºC respectivament. Si comparam aquest sensor amb el 5 que té una ca_100 de 15,48 m^2 i una temperatura mitjana i màxima de 27,27 i 33,86 ºC. Aquest fenomen pot ser causat per les diferents espècies d'arbre que acullen el sensor, on l'evapotranspiració de cada tipus d'arbre és diferent, fent que hi hagi espècies més adaptades per les seves característiques i susceptibilitat a l'estrès urbà i que siguin més eficaces a l'hora de modificar les temperatures (Rahman, et,al. 2015).

Estudis de localització dels arbres en zones urbanes i climes àrids com és a la ciutat de Phoenix, destaquen l'estudi d'un barri, on segons el model, la localització d'arbres en indrets determinats té un benefici de refrigeració de 5,3 ºC (Zhao, et al. 2018)

Als Països Baixos un estudi dels efectes de la localització dels arbres en la temperatura va donar que durant l'estiu les temperatures baixaven 1 ºC a les zones d'ombra enfront de les que no en tenen (Wang et, al 2015).

Tenint en compte el clima mediterrani i la bibliografia consultada, és lògic que durant l'estiu al clima mediterrani les temperatures mitjanes màximes presentin una diferència de 4 ºC de les zones amb ombra dels arbres, a les zones amb menys ombra o poca.

5.3. Regressions:

La següent taula és el resultat de les regressions múltiples de les variables independents (cobertura arbòria i gespa) per cada un dels buffers (30, 100 i 500 m^2) de les variables dependents (temperatura mitjana, mínima, màxima i CV). La taula separa cada una de les variables dependents, amb cada un dels 3 buffers i de les variables independents. S'ha duit a terme la regressió múltiple de les dues variables independents i les variables dependents però cap dels resultats ha estat significatiu, per tant, no surt representat a la taula final.

Finalment la taula també aporta els valors del coeficient Beta, el p-value i R^2. Amb aquests resultats podem obtenir l'equació de cada regressió i sabrem la seva tendència. El resultat d'R^2 ens proporcionarà el percentatge d'explicació de la variable dependent, i el p-value ens indicarà el grau de significació estadística.

variable dependent	buffer	variables independents		Beta coeficient	p-value	R^2
		cobertura	gespa			
T media ·	30 m	sí	no	-0,05	0,051	0,39
T media *	100 m	sí	no	-0,015	0,049	0,4
T media *	500 m	no	sí	-0,002	0,041	0,35
T mínima	30 m	no	no			
T mínima	100 m	no	no			
T mínima	500 m	no	no			
T màxima ·	30 m	sí	no	-0,085	0,063	0,36
T màxima *	100 m	sí	no	-0,028	0,043	0,41
T màxima	500 m	no	no			
CV	30 m	no	no			
CV ·	100 m	sí	no	-0,0002	0,068	0,28
CV ·	500 m	sí	no	-6,58E-02	0,045	0,34

· indica 95% de confiança. * indica99% de confiança. Si/no indica si la variable independent es o no significativa en el model.

Taula 2. Regressions lineals entre els índexs de temperatura i la cobertura arbòria (CA) i la gespa (g).

Les regressions de la taula 2 mostren que la cobertura arbòria és una variable significativa en quasi tots els casos, amb p-values <0,10 (excepte per les temperatures mínimes). Els coeficient beta per la cobertura arbòria són negatius, indicant que a major CA, la temperatura disminueix. Pel contrari observam que la gespa no té un paper significatiu sobre la variabilitat de les temperatures, o almenys, no major que el que exerceix la cobertura arbòria, d'aquí què, excepte un cas (T mitjana en l'àrea d'influència de 500 m) no és inclosa com variable significativa en els models.

Quant a les regressions de la temperatura mitjana, la CA presenta un valor significatiu en el buffer de 30 i 100 m^2 amb un resultat (R^2) de 0,39 i 0,4 respectivament. Aquests valors de R^2 indiquen que el 39 i el 40% de variables de la variabilitat de la temperatura estan explicades per la CA, el 61 i el 60% restant, no s'ha pogut especificar què és el que explica la variació de la temperatura. Els coeficients beta de -0,05 i -0,015 indiquen un augment d'un metre quadrat de superfície arbòria, les temperatures disminuïen 0,05

i 0,015 ºC respectivament en les àrees d'influència de 30 i 100 m^2. Una variable que a priori ens pensàvem podria tenir influència com és el tipus de sòl (gespa) no ens ha aportat els resultats esperats. A la temperatura mitjana, el buffer de 500 m^2 no té una regressió significativa amb la CA, però sí que ho és amb la gespa (R^2=0,35).

Els resultats de les regressions amb les temperatures mínimes no presenten valors significatius amb cap classe de cobertura ni buffer. Així com la CA i temperatura durant el dia i sobretot a les màximes té relació, quan desapareix el factor de radiació, i per tant, l'efecte d'ombra dels arbres.

Els resultats amb les temperatures màximes el valor resultant d'R^2 és significatiu en els 30 m^2 amb un valor de 0,36, i als 100 m^2 hi tenim l'R^2 més elevat amb un resultat de 0,41. Per tant, en les temperatures màximes és quan la cobertura arbòria té més efecte, en el cas dels 30 m^2, un augment de cobertura arbòria de 1 m^2 es tradueix en una disminució de les temperatures màximes de 0,08 ºC. Tot i això els resultats són molt semblants amb les temperatures mitjanes. Amb els 500 m^2 els resultats ja no són significatius.

Les regressions del CV ens mostren valors representatius amb la CA en les àrees d'influència de 100 m^2 (0,28) i de 500 m^2 (0,34). Els beta coeficients són negatius, es a dir, que a major CA, la variació diària de les temperatures és menor, indicant que la CA exerceix una influència estabilitzadora de les temperatures.

La tendència general de les regressions és que els valors de R^2 siguin més elevats amb el buffer de 100 m^2 i no amb els altres. La influència de la CA deu ser més efectiva en aquest espai, i amb els 500 m^2 la influència disminueix.

Per falta d'estructures per poder penjar els sensors al campus, hem hagut de fer-ho directament de les branques dels arbres. Si haguéssim tingut estructures de les quals poder penjar-los, s'haguessin distribuït els sensors d'una manera més dispersa i en zones sense CA i així es podria veure més la diferència en els resultats de la influència de la CA, per què tots els sensors han comptat amb la influència directa de l'ombra de l'arbre en major o menor mesura.

Els valors que hem obtingut de les regressions són representatius per demostrar la hipòtesi plantejada. Tot i això els resultats limitats pel disseny experimental i període de temps no són força elevats (R^2 < 0,5 en tots els casos), cosa que significa què hi ha factors que influeixen en les temperatures que ens escapen. Un dels més probables és la radiació, Wang et al., 2015, per estudiar la variació de temperatures que pot provocar la CA, s'han d'estudiar les condicions del cel, integrant l'índex de claredat, la variació de la intensitat solar i la temperatura màxima de l'aire. Varen arribar a la conclusió que els

dies relativament clars i calorosos, l'efecte refrigerador de l'arbre és dues vegades superior que els dies ennuvolats i freds. En el nostre cas, la radiació solar (i per tant nebulositat) podria haver estat inclosa en les regressions múltiples, i segurament hauria explicat un percentatge important de variància en les temperatures. No obstant això, els sensors de radiació tenen un preu molt elevat, i el seu ús estava per damunt dels objectius i el pressupost per un treball de fi de grau.

5.4. Distribució de temperatures del campus (interpolació Spline)

El mètode Spline ha estat l'escollit d'entre els diversos mètodes d'interpolació per la suavització dels isotermes a l'hora d'executar els càlculs, comparant amb altres mètodes utilitzats, aquest és el que ens ha proporcionat els resultats més òptims.
A la introducció del treball hem esmentat la importància de conèixer la distribució de les temperatures del campus en una zona amb un clima mediterrani on les temperatures a l'estiu són elevades, per millorar el confort de la població que transita per aquestes instal·lacions públiques i poder mitigar la temperatura de les zones més càlides. Amb els mapes d'interpolació hem aconseguit tenir representat en el terreny de forma visual la distribució de les temperatures mitjanes, les màximes i les mínimes durant el període de presa de dades a l'estiu, sempre tenint en compte el paper de la cobertura arbòria indicat línies amunt. Aquests tres mapes ens permetran comparar la variació espacial mitjana de temperatures i saber quins són els indrets més càlids i els més frescs a l'estiu. Finalment, aquest és el resultat dels tres mapes d'interpolació, un mapa de la temperatura mitjana de tota la presa de dades, un mapa de la mitjana de les temperatures màximes, i un mapa de la mitjana de les temperatures mínimes.

El mapa d'interpolació de les temperatures mitjanes (Figura 9) durant el període de presa de dades, presenta una isoterma màxima amb un valor d'entre 29 i 31 ºC. El valor de la isoterma més baix és de 23 – 24 ºC.

Quant a la distribució general de les temperatures d'aquest mapa, observam com l'oest (O) és la part més càlida del campus, en concret, el sur-oest on hi trobam els valors màxims del mapa.

Una segona part més càlida del mapa coincideix amb l'aparcament Est del campus, les isotermes d'aquesta zona presenten valors d'entre 27,16 – 27,97 ºC.

La mitjana de temperatures més elevada del mapa coincideix per l'oest amb una zona on s'hi concentra el nombre més gros d'edificis, i a l'est hi tenim un pàrquing amb una cobertura mixta pavimentada i de cobertura arbòria.

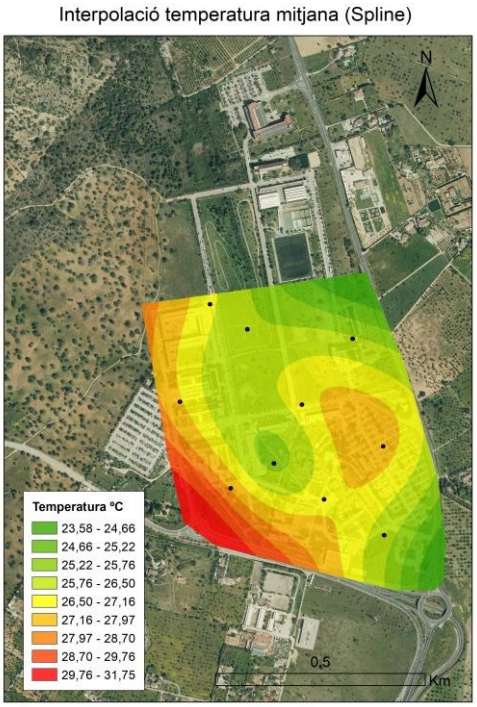

Figura 8. Mapa d'interpolació de temperatures mitjanes (UIB)

Les zones amb una mitja diària més baixa es distribueixen als extrems NE, SE i des del centre del campus cap al Nord. Els extrems NE i SE presenten major cobertura arbòria les quals fan disminuir les temperatures de la zona i també presenten menys densitat de zones edificades, on es concentren menys edificis. La isoterma amb valors més baixos és de 23,58 – 24,66 ºC i es localitza als NE i al SE. L'altra part més fresca del campus, just al centre amb 24,66 – 25,22 ºC tenim una zona verda amb major cobertura arbòria. Si del centre ens dirigim cap al nord del mapa, els valors es situen entre els 25,76 – 26,5 ºC, en aquesta zona no hi tenim edificis, però el sòl és gespa i hi tenim presència dispersa de cobertura arbòria.

El mapa d'interpolació de la mitjana de temperatures màximes (Figura 10) presenta una distribució dels màxims i els mínims molt similar a la figura anterior (Mapa de temperatures mitjanes). Quant a la isoterma amb els valors més elevats té un valor de 39,2 – 42,7 ºC i la isoterma més baixa es situa entre els 27,7 i els 30 ºC.

La zona més càlida del campus és l'extrem SO, l'oest (36,8 – 39,2 ºC) presenta temperatura elevades amb tendència a incrementar cap al sud. Aquesta coincideix amb la zona on hi tenim més edificis del campus.

El segon centre de temperatures més càlid és l'aparcament est, amb uns valors d'entre 35,5 i 36,8 ºC.

Els valors mínims del mapa es situen als extrems NE i SE, amb uns valors d'entre 27,7 i 30 ºC de mitjana.

El centre del campus presenta resultats mitjans, on l'efecte de la cobertura arbòria mitiga els extrems de temperatura, i al centre-nord l'absència d'edificis i la presència de gespa i cobertura arbòria dispersa mitiga les temperatures (32 – 33,2 ºC).

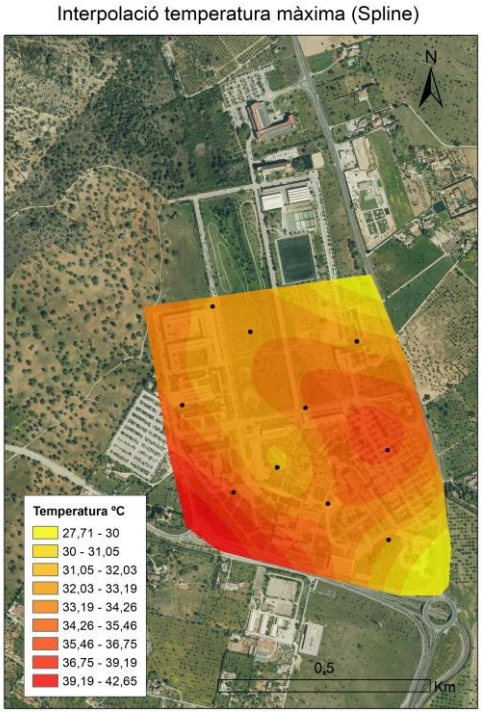

Figura 9. Mapa d'interpolació de temperatures mitjanes màximes (UIB)

Tant els valors de les màximes com els de les mínimes coincideixen amb el mapa de temperatura mitjana, on la distribució dels edificis i de les zones amb major cobertura arbòria destaca amb aquests mapes. Les zones on hi major concentració d'edificis i poca cobertura arbòria són aquelles les quals presenten valors més elevats, i per contra les zones amb major cobertura arbòria i menys edificis són aquelles amb temperatures més baixes.

El mapa d'interpolació de la mitjana de temperatures mínimes (Figura 11) dóna un resultat màxim de 21,34 – 22,3 ºC, i una mínima de 18,04 – 18,6 ºC.

En aquest mapa es pot observar com la distribució de les màximes segueix els patrons anteriors, l'oest i el sud-oest on tenim les màximes de temperatura. Aquesta vegada l'extrem SE s'ajunta amb l'aparcament del campus i és el segon indret amb temperatures més elevades.

Les mínimes es distribueixen d'una manera més homogènia, amb les temperatures més baixes al N-NO i augmentant lleugerament a manera que s'endinsa fins al cor del campus.

Si comparam els tres mapes finals, observam com el mapa d'interpolació de mitjanes de temperatura i el de la mitjana de les màximes tenen una gran coincidència en la distribució de temperatures tant dels màxims, com de les mínimes en cada mapa. Per altra banda, no és exactament així en el mapa de mitjana de temperatures mínimes, el qual el SE venia essent una de les zones més fresques i no és així a les mínimes. La cobertura arbòria emet radiació, per això les temperatures no són tan baixes en aquesta zona.

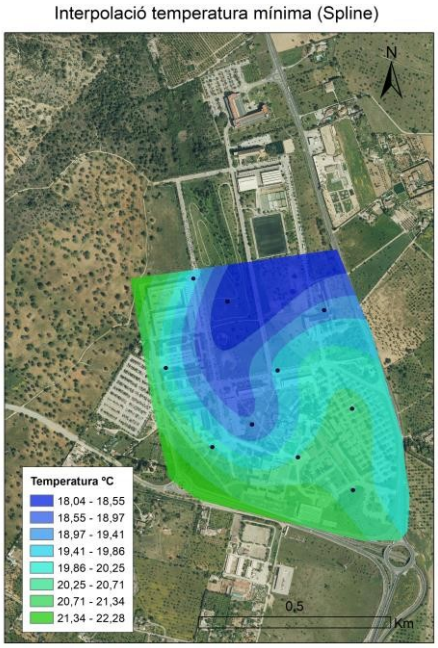

Figura 10. Mapa d'interpolació de temperatures mitjanes mínimes (UIB)

A l'hora d'analitzar la distribució de temperatures dels 3 mapes, observam com els valors de les màximes i les mínimes de cada un d'ells es veu distorsionat per la falta de dades als afores del campus.

Amb sensors fora de l'àrea d'estudi, possiblement s'haguessin atenuat tant les temperatures màximes com les mínimes.

Un altre factor a tenir en compte per la distribució de les temperatures, es que tots els sensors han estat penjats en arbres, és a dir, que ja tenen influència de la cobertura arbòria en major o menor mesura. Estaria bé haver tingut més sensors per poder penjar-los en estructures sense cobertura (per exemple senyals de tràfic, enllumenat...), i així haver fet una comparació entre les temperatures dels sensors penjats en arbres i les temperatures de sensors sense ningun tipus de cobertura. Per futurs treballs es recomana aquest tipus de disseny experimental, sempre que sigui possible comptar amb més sensors, i així tenir una mostra significativa de sensors amb o sense cobertura arbòria. En el nostre cas, el nombre de 10 sensors era baix com per haver tingut dues mostres representatives, i per això es va optar per col·locar-los tots baix la branca d'un arbre, i inferir l'efecte de les temperatures mitjançant regressions lineals amb la quantitat de cobertura arbòria.

6. CONCLUSIONS:

Aquest estudi volia demostrar la utilitat dels microsensors Blute Maestro, i el protector de radiació econòmic fet amb productes de fàcil accés, per Treballs d'investigació en meteorologia urbana. També s'ha volgut demostrar l'efecte de la cobertura arbòria sobre les zones urbanes, en concret, al campus universitari de la UIB i observar quina és la distribució de les temperatures mitjanes, mitjanes màximes i mitjanes mínimes en aquesta zona.

En conclusió, podem afirmar que la nostra àrea d'estudi (campus UIB) amb un clima típicament mediterrani i en el període durant el qual hem pres les dades (estiu) i el seu posterior tractament estadístic i espacial (SIG), ens ha donat com a resultat que les zones amb major CA tenen temperatures més baixes que les zones amb menor superfície de CA. Els microsensors iButton i el protector de radiació solar econòmic ens han estat de gran utilitat per la presa de dades.

Els resultats els quals confirmen la hipòtesi i és que la diferència entre el sensor més càlid i el més fred de temperatures mitjana diària és de 2,3 ºC i la diferència de la temperatura mitjana de màximes és de 4 ºC. Els resultats de la mitjana de mínims de temperatura són més dispersos i no segueixen la mateixa tendència que els sensors de la mitjana diària i la mitjana de màximes. Aquest fet pot ser causat per l'evapotranspiració nocturna dels arbres al vespre, i que el vespre la CA no fa efecte d'ombra, al contrari, si és molt densa impedeix escapar la radiació d'ona llarga que ha acumulat el sòl.

Les regressions realitzades ens confirmen la hipòtesi, s'observa com la CA té major influència significativa sobre les temperatures: en concret, s'ha observat que l'efecte de la cobertura arbòria és de una disminució d'entre 0,015 i 0,08 ºC per cada m^2 de cobertura arbòria addicional, essent les temperatures màximes les que responen en major mesura a l'existència de CA.

S'han aconseguit els objectius amb uns resultats satisfactoris, tot i això, l'R^2 més elevat té un resultat de 0,41, això significa que un 41% de les temperatures mitjanes màximes és explicat per la ca_100, però se'ns escapa el 39% restant que expliqui que influencia a la temperatura.

Són diversos els factors que hem pogut passar per alt a l'hora de realitzar l'estudi, i els resultats han estat limitats al model que hem aplicat. Els possibles factors que es poden tenir en compte propers estudis, són diversos. En primer lloc el tipus d'arbre és molt important, les zones amb major CA que d'altres ens han presentat valors més elevats,

això és per què no tots els arbres tenen la mateixa densitat foliar, evapotranspiració i el mateix efecte refrigerador de les temperatures, hi ha arbres que aguanten millor l'estrès urbà. Seria interessant classificar la topologia d'arbres que enrevolta cada sensor, i veure les diferències de temperatures entre cada un d'ells, per saber quins arbres són més efectius per refrigerar l'ambient. La seva localització estratègica també és clau, una zona descoberta si hi col·locam en un indret determinat, pot fer baixar fins a 5,3 ºC la temperatura de l'ambient.

La disposició d'estructures per poder penjar els sensors en indrets que no fossin arbres ens hauria aportat uns resultats més clars per poder comparar les zones sense i amb CA. El fet d'haver penjat en arbres tots els sensors ja ha proporcionat una ombra.

Si haguéssim comptat amb un sensor de radiació hagués estat interessant observar el factor de la nuvolositat, i com afecta a la temperatura els dies amb núvols, i observar si disminueix l'efecte de la CA sobre les temperatures.

La limitació de presa de dades per l'estat d'alarma imposat per la crisi sanitària de la COVID-19, ens ha impedit que la mostra sigui més extensa. També hem estat limitats pels crèdits (6) i per l'època en la qual es cursa l'assignatura de Treball de Fi de Grau. L'ideal seria fer una presa de dades de tot un any, per així observar quin efecte té la CA en la temperatura al llarg de les diferents èpoques de l'any. Tot i això les dades s'han pres a l'estiu, que és quan la CA pot tenir major incidència en les temperatures.

La distribució de les temperatures que hem obtingut amb els programes SIG segueix la distribució dels resultats estadístics. Amb el mapa d'interpolació de la temperatura mitjana (Figura 9) es pot observar com els extrems NE i SE són els més frescs, seguit del centre del campus. Aquests coincideixen amb espais sense edificis i zones on tenim els sensors amb major CA, per contra, a l'oest i en concret el SO són les zones més càlides, que és allà on s'hi concentren la majoria d'edificis i els sensors tenen menor CA. El pàrquing també és un indret relativament càlid per què no hi tenim gran quantitat de vegetació o CA. Els resultats del mapa de temperatures mitjana màxima (Figura 10) segueix una distribució força semblant al mapa anterior, amb les isotermes del pàrquing més elevades.

La distribució de les mínimes és diferent dels altres dos mapes, on les màximes s'estenen del O-SO cap a l'E. Com hem esmentat anteriorment l'efecte nocturn de la CA és diferent durant el dia que a la nit.

Els resultats dels mapes serien més òptims amb la instal·lació de sensors fora de l'àrea d'estudi per tenir major precisió de les isotermes del campus. Tot i això els resultats són útils per observar la distribució de temperatures a l'estiu al llarg del dia amb la mitjana,

els màxims i els mínims, i així poder saber on són les zones més fresques del campus i les més càlides on s'hi hauria d'actuar per millorar la qualitat de vida de la població que transita al campus.

Aquest estudi obri les portes a posteriors investigacions més elaborades, amb majors recursos i disposició de temps per millorar la qualitat del verd urbà i de l'efecte refrigerador de les temperatures dels entorns urbans.

7. AGRAIMENTS:

En primer lloc volia agrair al tutor, Enrique Morán Tejeda, per l'ajuda durant el TFG i pels coneixements que ens ha transmès al llarg de les assignatures que ens ha impartit al grau, i pels aparells de mesura que m'ha deixat per fer possible aquest estudi.
En segon lloc agrair a tots els professors que s'han involucrat en l'aprenentatge actiu dels estudiants i ens han fet adquirir coneixements de gran valor, que ens han fet desenvolupar tant com a professionals, com a persones. També agrair als companys de classe per fer aquests 4 anys més bons de dur, i per l'ajuda mútua que hem rebut un de l'altra amb els possibles dubtes que ens han sorgit. Tot i ser persones molt diferents, hem creat un nou cercle d'amistats.
Finalment, agrair a la meva família, parella i amics, per tot el suport durant aquests anys, i per creure amb mi en els moments més difícils.

8. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

Campus - Localización - La UIB - Universitat de les Illes Balears. (s. f.). Recuperat 10 d'agost de 2020, de https://www.uib.es/es/lauib/localitzacio/Campus/

Clima promedio en Palma de Mallorca. (s. f.). Recuperat 12 d'agost de 2020, de https://es.weatherspark.com/y/47114/Clima-promedio-en-Palma-de-Mallorca-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o

Cómo funciona Spline—ArcGIS for Desktop. (s. f.). Recuperat 10 d'agost de 2020, de https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-spline-works.htm

Easterling, D. R., Peterson, T. C., & Karl, T. R. (1996). On the development and use of homogenized climate datasets. *Journal of climate*, *9*(6), 1429-1434.

Hubbart, J. A. (2011). An inexpensive alternative solar radiation shield for ambient air temperature micro-sensors. *Journal of Natural & Environmental Sciences*, *2*, 9-14.

McPherson, E. G., Simpson, J. R., & Livingston, M. (1989). Effects of three landscape treatments on residential energy and water use in Tucson, Arizona. *Energy and Buildings*, *13*(2), 127-138.

MX2300 Landing Page | Onset Data Loggers. (s. f.). Recuperat 10 d'agost de 2020, de https://www.onsetcomp.com/mx2300/

Palma de Mallorca Clima (España). (s. f.). Recuperat 12 d'agost de 2020, de https://es.climate-data.org/europe/espana/islas-baleares/palma-de-mallorca-3575/

Priego González de Canales, C. (2002). Beneficios del arbolado urbano.

Rahman, M. A., Armson, D., & Ennos, A. R. (2015). A comparison of the growth and cooling effectiveness of five commonly planted urban tree species. *Urban Ecosystems*, *18*(2), 371-389.

Taha, H., Akbari, H., & Rosenfeld, A. (1991). Heat island and oasis effects of vegetative canopies: micro-meteorological field-measurements. *Theoretical and Applied Climatology*, *44*(2), 123-138.

Tempo DiscTM Bluetooth Temperature, Humidity and Dew Point Sensor Beacon and Data Logger. (s. f.). Recuperat 10 d'agost de 2020, de https://bluemaestro.com/products/tempo-disc-bluetooth-temperature-humidity-sensor-beacon-logger

Wang, Y., Bakker, F., de Groot, R., Wortche, H., & Leemans, R. (2015). Effects of urban trees on local outdoor microclimate: synthesizing field measurements by numerical modelling. *Urban Ecosystems*, *18*(4), 1305-1331.

Wolch, J. R., Byrne, J., & Newell, J. P. (2014). Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'. *Landscape and urban planning*, *125*, 234-244.

Zhao, Q., Sailor, D. J., & Wentz, E. A. (2018). Impact of tree locations and arrangements on outdoor microclimates and human thermal comfort in an urban residential environment. *Urban Forestry & Urban Greening*, *32*, 81-91.